

# PERUBAHAN KUAT TARIK BELAH DAN *MODULUS OF RUPTURE* BETON MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR PECAHAN GENTENG BERSERAT ALUMINIUM PASCA BAKAR DENGAN VARIASI WAKTU RENDAMAN AIR

Tandya Afilda Milad<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) 3)</sup>Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No.36A Surakarta 57126.Telp: 0271647069.

Email : tandyaafilda@gmail.com

## **Abstract**

*Many buildings used again after a fire it is necessary to study reverses - restored strength structural elements . One way to restore the strength of the structure of post- combustion treatment is carried out by soaking water . The new innovation of coarse aggregate use tile fragments instead of gravel and the addition of aluminum to load the structure of the fiber itself becomes smaller and concrete tensile strength values greater than normal concrete . Methods of research done on treatment ( curing ) of the post- combustion test object is by soaking the specimen for 28x24 hours , 42x24 hours , and 56x24 hours . In the curing process , CSH which decomposes when burning test specimen will gradually recover with H<sub>2</sub>O that was being filled evaporate during combustion . The results show that the addition of fiber -added aluminum affects the strength beyon with maximum increase in value to the value of 27.66 % split tensile strength and modulus of rupture of 16% . At the time of the test object burned a little decline in strength after water immersion treatment of post- combustion concrete strength continues to increase , the maximum increase occurred at age hour immersion 56x24 32.56 % for the tensile strength of normal concrete sides , 17.31 % for fiber concrete tensile strength of aluminum , 56.00 % for the modulus of rupture of normal concrete , and . 37.93 % for the modulus of rupture of concrete fiber aluminium .*

**Keywords:** *aluminium, tile fragment, post burning, water curing, modulus of rupture, and split tensile strength.*

## **Abstrak**

Masih banyaknya gedung yang dipergunakan kembali setelah mengalami kebakaran maka diperlukan penelitian untuk memulihkan kerusakan material penyusun yang terjadi pada elemen-elemen struktur bangunan. Salah satu cara pemulihan kekuatan struktur pasca bakar ialah perawatan yang dilakukan dengan perendaman air. Adanya inovasi baru penggunaan agregat kasar pecahan genteng sebagai pengganti kerikil dan penambahan serat aluminium agar beban struktur itu sendiri menjadi lebih kecil dan beton memiliki nilai kuat tarik yang lebih besar daripada beton normal. Metode penelitian yang dilakukan pada perawatan (*curing*) terhadap benda uji pasca bakar yaitu dengan merendam benda uji selama 28x24 jam, 42x24 jam, dan 56x24 jam. Pada proses *curing*, CSH yang terdekomposisi saat benda uji terbakar akan berangsur-angsur pulih kembali dengan terisinya H<sub>2</sub>O yang sempat menguap pada saat pembakaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan bahan tambah serat aluminium mempengaruhi kekuatan beton dengan nilai peningkatan maksimum untuk nilai kuat tarik belah 27,66 % dan *modulus of rupture* 16%. Pada saat benda uji dibakar sempat terjadi penurunan kekuatan setelah perawatan perendaman air beton pasca bakar kekuatannya terus meningkat, peningkatan maksimum terjadi pada umur perendaman 56x24 jam 32,56% untuk kuat tarik belah beton normal, 17,31% untuk kuat tarik beton serat aluminium, 56,00% untuk modulus of rupture beton normal, dan 37,93% untuk modulus of rupture beton serat aluminium.

**Kata Kunci :** aluminium, pecahan genteng, pasca bakar, rendaman air, *modulus of rupture*, dan kuat tarik belah

## **PENDAHULUAN**

Beton merupakan suatu material struktur yang umum digunakan dalam sebuah konstruksi. Beton terbentuk dari campuran air, semen, agregat halus, dan agregat kasar dengan atau bahan tambahan lain (yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia, tambahan serat, sampai bahan bangunan non kimia) dengan perbandingan tertentu. Dalam struktur bangunan yang menggunakan beton keuntungan yang diberikan, antara lain bahan pembentuknya yang relatif mudah diperoleh, mudah dibentuk, mampu memikul beban yang berat, relatif tahan terhadap temperature yang tinggi, serta biaya pemeliharaan yang kecil dibanding umur pemakaiannya. Beton juga memiliki kelemahan antara lain beton mempunyai sifat yang getas, susut (*shrinkage*) dan kuat tarik yang sangat rendah. Nilai kuat tarik beton dapat mengalami peningkatan dengan penambahan serat pada campuran beton yang ditandai dengan beton yang retak pada bagian serat akan mengalami tarik sebelum akhirnya beton itu runtuh. Serat aluminium dapat digunakan sebagai alternatif pilihan serat dalam penambahan campuran beton mengingat berat serat aluminium yang kecil maka tidak akan berpengaruh besar terhadap beban struktur dari sebuah bangunan. Untuk mereduksi beban struktur dari sebuah bangunan dapat pula mengganti agregat kasar yang biasanya menggunakan kerikil diganti dengan pecahan genteng karena pecahan genteng memiliki berat volume yang lebih

ringan daripada kerikil dan dapat memenuhi syarat dalam gradasi agregat kasar sehingga dapat digunakan sebagai agregat pengganti.

Suatu pendekatan umum untuk menggambarkan sebuah konstruksi yang baik dapat ditinjau dari keamanan dan kenyamanan, keamanan dapat dinilai dari kekuatan suatu konstruksi dan kenyamanan dapat dinilai dari kestabilan suatu konstruksi. Kekuatan dan kestabilan berpengaruh dalam kekakuan suatu konstruksi dan beberapa pengujian yang dapat memberikan parameter penilaian kekakuan suatu konstruksi adalah pengujian kuat tarik belah dan *modulus of rupture*. Kuat tarik belah adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari hasil pembebanan benda uji yang diletakkan secara mendatar dengan menggunakan mesin uji desak. *Modulus of rupture* adalah nilai kekuatan lentur maksimum yang bekerja pada struktur sebelum mengalami keruntuhan dari pembebanan balok beton pada tumpuan sederhana dengan perletakan berupa sendi rol.

Masih banyaknya gedung yang dipergunakan kembali setelah mengalami kebakaran maka diperlukan penelitian untuk memulihkan kekuatan elemen-elemen strukturnya. Salah satu cara pemulihan kekuatan struktur pasca bakar ialah perawatan yang dilakukan dengan perendaman air. Ketika beton mengalami kenaikan temperature pada suhu 300°C air dari pori-pori akan menguap dan mengakibatkan dekomposisi unsur C-S-H pada beton yang berpengaruh dalam penurunan kekuatan beton. Saat beton pasca bakar direndam oleh air maka H<sub>2</sub>O yang masuk kedalam beton akan membentuk kembali unsur C-S-H yang telah terurai pada saat beton terbakar dan kekuatan beton berangsur-angsur akan meningkat kembali. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada beton setelah terbakar dan setelah mendapat perawatan yang didasarkan pada sisa tegangan pada tiap zona penampang akibat temperatur yang dikenakannya dengan menggunakan data-data fisik dan mekanik hasil penelitian di laboratorium.

### Tinjauan Pustaka

Beton banyak digunakan secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan nonkimia) pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut apabila dituangkan dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan (Tjokrodimuljo, 1996).

Beton yang mempunyai berat jenis rendah disebut dengan beton ringan. Untuk memproduksi beton dengan berat jenis rendah ada beberapa cara yang dapat dilakukan. Salah satu cara yang digunakan adalah dengan cara reduksi berat jenis agregat kasar. Karena pada dasarnya, beton ringan memiliki campuran sama dengan beton normal pada umumnya, namun agregat kasar yang menempati 60% dari seluruh komponen, direduksi berat jenisnya. Reduksi ini dilakukan dengan menggantinya dengan *artificial lightweight coarse aggregate (ALWA)* semisal *bloated clay*, *crushed bricks* atau *fly ash based coarsed aggregate* yang diperoleh dengan pada *rotary kiln*, batu tulis, sisa bara yang berbusa, dan batu apung (Ali, et.al, 1989).

Akibat kebakaran atau kenaikan suhu pada beton akan merubah komposisi kimianya, retak, lepas dan kehilangan kekuatan. Kehilangan kekuatan terjadi karena perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya. Retak diakibatkan adanya perbedaan perubahan volume antara pasta semen dengan butir-butir agregat. Mengelupasnya bagian luar akibat perbedaan perubahan volume antara luar beton yang panas dan bagian dalam beton yang masih dingin (Tjokrodimuljo, 1996). Beton yang dibakar pada temperatur tinggi mengakibatkan penurunan kekuatan, pengelupasan, dan retak-retak pada beton (Nugraha, 2007).

Dari hasil pembakaran pada temperature 300, 400°C dan 500°C, beton ringan mengalami penurunan nilai kuat tarik belah dan MOR terhadap suhu kamar. Setelah dilakukan perawatan (*curing*) pada beton ringan yang dibakar pada suhu 500°C, beton ringan tersebut mengalami kenaikan nilai kuat tarik belah dan MOR, mencapai 120% untuk kuat tarik belah dan 33,33% untuk pengujian MOR (Mediyanto, 2009).

Nilai kuat tekan dan kuat tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture* adalah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik bahan beton juga ditentukan melalui pengujian *split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik beton bertulang yang sebenarnya (Istimawan, 1999).

## Dasar Teori

Beton ringan pada dasarnya memiliki campuran yang sama dengan beton normal, namun agregat kasar yang menempati 60% dari seluruh komponen, direduksi berat jenisnya. Reduksi ini dilakukan dengan menggantinya dengan *artificiall lightweight coarse aggregate (ALWA)* semisal bloated clay, crushed bricks atau fly ash based coarsed aggregate yang diperoleh dengan pembuatan pada rotary kiln, batu tulis, sisa bara yang berbusa, dan batu apung (Ali, et.al, 1989).

Serat aluminium yang dipakai mempunyai berat jenis sebesar 2,12 t/m<sup>3</sup> dengan tegangan tarik maksimum sebesar 100 MPa dan perpanjangan maksimum sebesar 11%. Koefisien muai panas sebesar 23x10<sup>-6</sup>/°C dan titik cair/lelehnya adalah 660 °C (Callister, 97).

Daya tahan terhadap api didefinisikan sebagai lamanya bahan bertahan terhadap kebakaran standar sebelum titik kritis akhir pertama dicapai. Sifat-sifat baja dan beton akan dipengaruhi oleh faktor lingkungan, antaranya adalah suhu. Pada suhu yang sama dengan suhu kebakaran, kekuatan dan modulus elastis berkurang. Selain itu sifat beton pada suhu tinggi dipengaruhi juga (dalam batas tertentu) oleh agregat. Pengaruh agregat karbonat, agregat silikat, dan agregat alikat ringan akan memberikan pengaruh yang berbeda pada sifat-sifat beton (dan tulangan baja) selama kebakaran atau pasca bakar (Gustafarro,1987).

Gambaran umum proses *recovery* yaitu Pembakaran beton dengan suhu 500°C – 700°C selain akan mengalami kerusakan dan penurunan kekuatan, beton tersebut juga akan berubah menjadi semen kembang. Ketika beton terbakar dengan suhu 300°C air dari pori-pori beton akan menguap. Pada temperatur 450°C hingga 550°C senyawa Ca (OH)<sub>2</sub> terurai menjadi CaO dan H<sub>2</sub>O. Saat temperatur mencapai 600°C – 700°C senyawa CSH akan terurai menjadi butiran semen dengan kata lain beton kembali ke bentuk awal sebagai semen. Levi (2004) secara mikroskopis membuktikan adanya butiran semen dan retakan-retakan didalam beton. Berapa pun umur beton didalamnya tetap terdapat butiran semen yang belum bereaksi. Hal inilah yang memungkinkan dilakukan pemulihan beton dengan menyiramnya dengan air. *Treatment* penyiraman air pada proses pemulihan kekuatan beton terbakar bertujuan agar air meresap ke dalam beton dan bereaksi dengan senyawa C<sub>2</sub>S pada semen akibat beton terbakar. Hasil dari reaksi ini adalah CSH dan Ca(OH)<sub>2</sub>.

Pengujian *split cylinder* menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas plat penguji kemudian beban tekan merata ke arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cylinder strength*. Besarnya tegangan tarik pada beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f_{st} = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{1}{2}\pi DL} = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots [1]$$

- dimana:
- $f_{st}$  = kuat tarik belah beton (N/mm<sup>2</sup>)
  - $P$  = beban maksimum yang diberikan (N)
  - $D$  = diameter silinder (mm)
  - $L$  = panjang silinder (mm)
  - $A$  = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Pengertian *modulus of rupture* adalah kuat tarik maksimum yang secara teoritis dicapai pada serat bagian bawah dari sebuah balok uji. Nilainya bergantung pada dimensi dari balok uji dan susunan beban (Neville, 1987). Besar MOR pada beton dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma = MOR = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots [2]$$

## METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen yang dimaksud yaitu penelitian dengan tujuan menyelidiki hubungan sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya.

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian bahan dasar pembentuk beton termasuk bahan tambah abu sekam padi, pengujian kuat tarik belah beton dan pengujian *modulus of rupture* beton.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Tabel 2. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

No	Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan		Berat Lolos		ASTM C-33
		Gram	%	Kumulatif(%)	Kumulatif (%)	
1	9,5	0	0	0	100.00	100
2	4,75	65	2,177	2,177	97,822	95-100
3	2,36	232	7,772	9,950	90,050	80–100
4	1,18	664	22,244	32,194	67,806	50–85
5	0,85	514	17,219	49,414	50,586	25–60
6	0,3	1062	35,578	84,992	15,008	10–30
7	0,15	362	12,127	97,119	2,881	2–10
8	0	86	2,881	100.00	0.00	-
	Jumlah	2985	100	375,846		

Tabel 3. 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

Tabel 4. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

No	Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan		Berat Lolos		ASTM C-33
		Gram	%	Kumulatif(%)	Kumulatif (%)	
1	12,5 mm	1175	39.35	39.35	60.65	90-100
2	9,5 mm	905	30.31	69.66	30.34	40-70
3	4,75 mm	650	21.77	91.43	8.57	0-15.
4	2,36 mm	256	8.57	100.00	0.00	0-5.
5	1.18 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
6	0.6 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
7	0.3 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
8	0.15 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
9	0 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
	Jumlah	2986	100,00	666.55		-

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Aluminium

Kode	Gaya (kgf)	Gaya rerata (kgf)	Berat jenis (t/m <sup>3</sup> )
------	------------	-------------------	---------------------------------

A11	110		2.21
A12	115	112.50	2.21

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.

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

Semen : 400kg  
 Pasir : 634.9 kg  
 Pecahan Genteng : 644.064 kg  
 Air : 160 liter  
 Serat Alumunium : 0.75% dari berat 1 buah benda uji  
 Superplasticizer : 4 kg (1% dari berat semen)

Pada pengujian kuat tarik belah dapat diperoleh kuat tarik belah maksimum beton. Sebagai contoh perhitungan kuat tarik belah diambil data dari benda uji TBA-0.75%-1 perendaman air pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian didapat :

$$P = 200\text{kN} = 200000 \text{ N}$$

$$\pi \times D \times L = \pi \times 150 \times 300 = 141371.67 \text{ mm}^2$$

maka Kuat Tarik Belah :

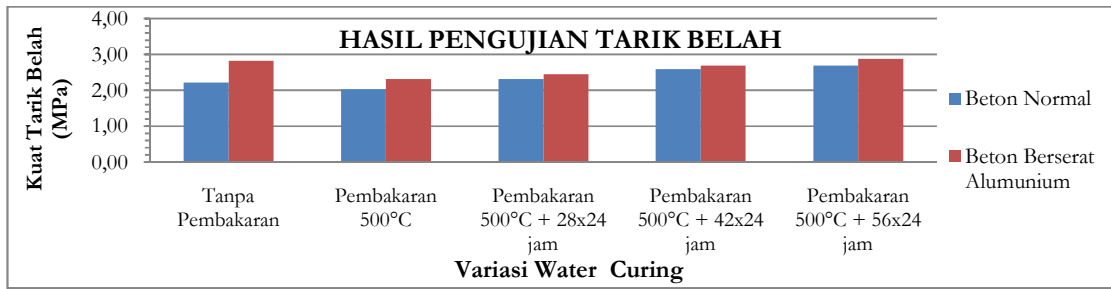
$$f_{st} = \frac{2P}{\pi D L f_d} = \frac{2 \times 200000}{141371.67 \times 1} = 2.12 \text{ MPa}$$

Dimana :

$P_{\max}$  : Beban Maximum (N)  
 $A$  : Area (Luasan Permukaan) (m<sup>2</sup>)  
 $f_{st}$  : Nilai Kuat Tarik Belah (MPa)  
 $f_d$  : faktor koreksi diameter silinder beton = 1

Tabel 6. Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah antara Beton Normal dengan Beton Berserat Aluminium

No	Variasi	Kode Benda Uji		Rata-Rata Kuat Tarik Belah	
		Normal	Serat Aluminium	Normal (MPa)	Serat Aluminium (MPa)
1	Tanpa Pembakaran	TB1-1	TBA-0.75%-1	2.26	2.83
		TB1-2	TBA-0.75%-2	1.98	2.69
		TB1-3	TBA-0.75%-3	2.41	2.97
2	Pembakaran 500°C	TB2-1	TBB-0.75%-1	2.12	1.91
		TB2-2	TBB-0.75%-2	2.12	2.83
		TB2-3	TBB-0.75%-3	1.84	2.19
3	Pembakaran 500°C curing 28 x 24 jam	TB3-1	TBC-0.75%-1	2.69	2.26
		TB3-2	TBC-0.75%-2	1.70	3.11
		TB3-3	TBC-0.75%-3	2.55	1.98
4	Pembakaran 500°C curing 42 x 24 jam	TB4-1	TBD-0.75%-1	2.83	2.41
		TB4-2	TBD-0.75%-2	2.41	2.12
		TB4-3	TBD-0.75%-3	2.55	3.54
5	Pembakaran 500°C curing 56 x 24 jam	TB5-1	TBE-0.75%-1	2.97	2.69
		TB5-2	TBE-0.75%-2	2.41	2.83
		TB5-3	TBE-0.75%-3	2.69	3.11



Gambar 1. Perbandingan Kuat Tarik Belah Beton Normal dan Beton Serat Aluminium

Pada pengujian modulus pengujian, semua benda uji patah pada bagian bentang tengah efektif sehingga dapat dilakukan perhitungan. Sebagai contoh, diambil perhitungan pada beton normal berikut :

$$P_{maks} = 70 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Luas hidraulik} = \frac{1}{4} \pi \times 4,01^2 = 12,6293 \text{ cm}^2$$

Sehingga :

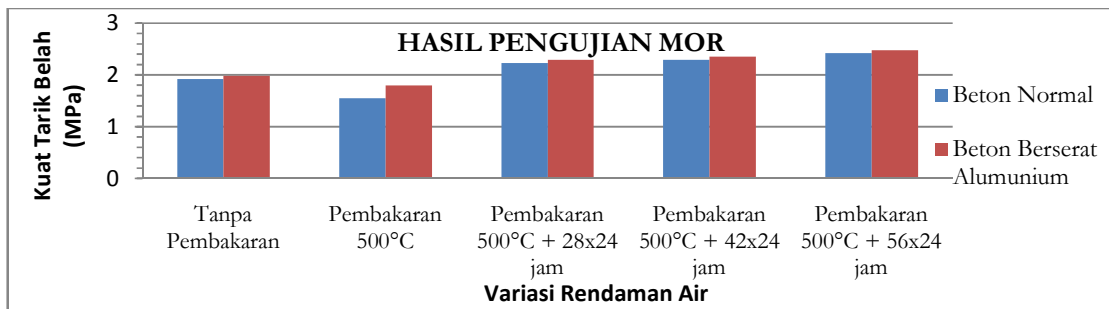
$$P_{maks} = 70 \times 12,6293 \times 9,81 = 8672.53 \text{ N}$$

Maka *Modulus of Rupture* :

$$MOR = \frac{PL}{bd^2} = \frac{8672.53 \times 300}{100 \times 100^2} = 2.6 \text{ MPa}$$

Tabel 7. Perbandingan Nilai *Modulus of Rupture* antara Beton Normal dengan Beton Berserat Aluminium

No	Variasi	Kode Benda Uji		MOR	
		Normal	Serat Alumunium	Normal (MPa)	Serat Alumunium (MPa)
1	Tanpa Pembakaran	MO1-1	MOA-0,75%-1	2.04	1.86
		MO1-2	MOA-0,75%-2	1.67	2.04
		MO1-3	MOA-0,75%-3	2.04	2.04
2	Pembakaran 500°C	MO2-1	MOB-0,75%-1	1.30	2.04
		MO2-2	MOB-0,75%-2	1.67	1.67
		MO2-3	MOB-0,75%-3	1.67	1.67
3	Pembakaran 500°C curing 28 x 24 jam	MO3-1	MOC-0,75%-1	2.42	2.04
		MO3-2	MOC-0,75%-2	2.04	2.60
		MO3-3	MOC-0,75%-3	2.23	2.23
4	Pembakaran 500°C curing 42 x 24 jam	MO4-1	MOD-0,75%-1	2.23	2.23
		MO4-2	MOD-0,75%-2	2.23	2.42
		MO4-3	MOD-0,75%-3	2.42	2.42
5	Pembakaran 500°C curing 56 x 24 jam	MO5-1	MOE-0,75%-1	2.42	2.60
		MO5-2	MOE-0,75%-2	2.42	2.42
		MO5-3	MOE-0,75%-3	2.42	2.42

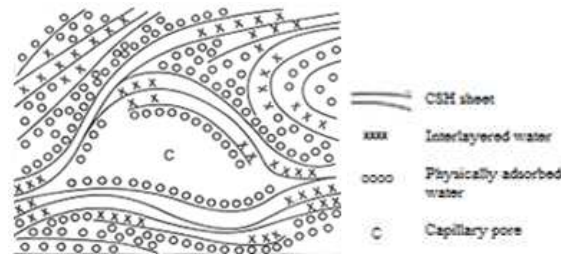


Gambar 2. Perbandingan *Modulus of Rupture* Beton Normal dan Beton Serat Aluminium

Berdasarkan hasil perbandingan beton normal dan beton berseerat aluminium pada kekuatan nilai kuat tarik belah dan *modulus of rupture* dapat dilihat bahwa beton serat aluminium memberikan nilai kekuatan yang lebih tinggi daripada beton normal. Serat aluminium sebagai tulangan mikro dalam membantu mengikat beton sehingga dapat memberikan kekuatan lebih pada beton tersebut. 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 dan kuat tarik beton.

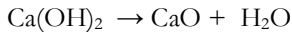
Setelah dilakukan pembakaran pada suhu ruang 500°C, nilai kuat tarik belah dan mor beton menurun. Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 dapat diketahui bahwa nilai modulus of rupture dan kuat tarik belah beton normal mengalami penurunan yaitu -19,35 % dan -8,51 % untuk beton berseerat aluminium mengalami penurunan -9,38% dan -18,33%. Hal ini dapat diasumsikan 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.

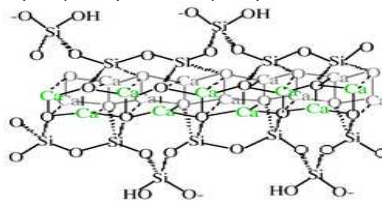
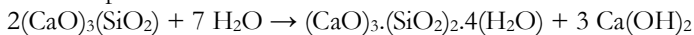


**Gambar 3.** CSH Model oleh Feldman dan Sereda (1968)

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.

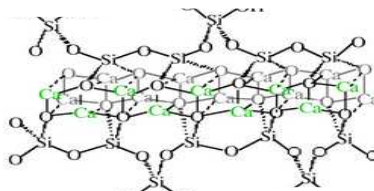
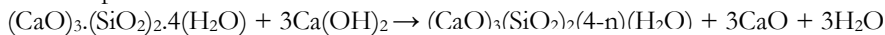


Sebelum pembakaran :



**Gambar 8.** Pemodelan CSH

Sesudah pembakaran :



**Gambar 9.** Pemodelan CSH Setelah Dibakar

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 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.

Water curing dilakukan setelah proses pembakaran pada suhu ruang 500°C. Pada Tabel 6 dan Tabel 7 nilai kuat tarik belah dan *modulus of rupture* pada beton mengalami peningkatan berturut-turut setelah proses perendaman selama 28 hari, 42 hari, dan 56 hari. Hal ini dapat diasumsikan 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. Pemakaian agregat kasar dari pecahan genteng berpengaruh dalam proses *unhydrated* semen karena air yang seharusnya terhidrasi oleh semen akan diserap pecahan genteng tersebut (mencegah genteng adalah material yang sangat porous sehingga dapat menyerap air lebih banyak daripada kerikil). Dilakukannya perawatan ulang dengan metode rendaman air, semen yang belum terhidrasi akan bereaksi dengan air dan dapat menutup celah atau pori yang ada pada beton.

## SIMPULAN

Dari hasil pengujian, analisis data, dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan serat aluminium pada beton dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah dengan peningkatan maksimum 27,66% dan 16,00% untuk nilai *modulus of rupture*.
2. Terjadi penurunan nilai kuat tarik belah dan *modulus of rupture* beton setelah mengalami pembakaran pada suhu ruang 500°C karena menguapnya air dalam pori beton dan CSH. Pada suhu 400°C-500°C kristal *portlandite* akan terdekomposisi atau terurai.
3. Perawatan ulang pada beton normal pasca bakar dapat meningkatkan kuat tarik belah berturut-turut ; curing 28x24 jam, 46 x24 jam dan 58 x24 jam mengalami peningkatan berturut-turut ; 2,31 MPa, 2,59 MPa, dan 2,69 MPa; 13,95%, 27,91%, dan 32,56%. Untuk beton serat aluminium pasca bakar mengalami peningkatan berturut-turut ; 2,45 Mpa, 2,69 Mpa, 2,88 Mpa; 6,12%, 16,33%, dan 17,31%.
4. Perawatan ulang pada beton normal pasca bakar dapat meningkatkan nilai modulus of rupture berturut-turut ; curing 28 hari, 46 hari dan 58 hari mengalami peningkatan berturut-turut ; 2,23 MPa, 2,29 MPa, dan 2,42 MPa; 44,00%, 48,00% dan 56,00%. Untuk beton serat aluminium pasca bakar mengalami peningkatan berturut-turut ; 2,29 MPa, 2,35 MPa, 2,48 MPa; 27,59%, 31,03%, dan 37,93%.

## REFERENSI

- American Society For Testing and Materials C 125-03. 2003. *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. ASTM International. Philadelphia 19428-2959 United States.
- American Society For Testing and Materials. ASTM C 78-02. 2002. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. ASTM International, Philadelphia 19428-2959 United States.
- Gere and Timoshenko. 2000. *Mekanika Bahan*. Jilid I edisi keempat. Erlangga. Jakarta.
- Kencanawati, Ni Nyoman dan Merdana, I Nyoman, 2012. *Perbandingan Penggunaan Pozolan Alami (Abu Sekam Padi) dan Pozolan Buatan (Sika Fume) Pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*. Jurnal Teknik REKAYASA, Volume 13, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Mataram, Mataram.
- Kodoatie & Sjarief. 2010. *Jurnal Abrasi*. UPI : Yogyakarta.
- Mehta, P Kumar, dan Monteiro, PJM. (1993). *Concrete ~ Structure, Properties, and Materials*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Sambowo, Kusno Adi. 2001. *Engineering Properties and Durability Performance of Metakaolin and Metakaolin PFA Concrete*. Thesis. Faculty of Engineering at University of Sheffield. Sheffield.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Arif: Yogyakarta.