

KAJIAN KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG PASCA PEMBAKARAN BERDASARKAN VARIASI MUTU DAN SUHU

Yeyen Kurnia Sandy¹⁾, Yoke Lestyowati²⁾, M. Yusuf³⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak

^{2,3)} Dosen Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak

[Email : yeyenkurniasandy@gmail.com](mailto:yeyenkurniasandy@gmail.com)

ABSTRAK

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang harus diwaspadai karena banyak menimbulkan kerugian bagi pemilik maupun orang yang berada di sekitar bangunan. Pemanasan yang dialami beton akibat terbakar akan mengakibatkan perubahan mendasar dari sifat-sifat beton. Beton akan mengalami retak, terkelupas (spalling), dan kehilangan kekuatan, sehingga akan mengakibatkan penurunan kapasitas lentur. Tujuan dalam penelitian ini adalah mengetahui perubahan kuat lentur balok beton bertulang dengan pembakaran 500°C dan 750°C, dengan variasi mutu $f_c' = 25$ MPa, $f_c' = 30$ MPa, dan $f_c' = 35$ MPa. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa Kuat lentur balok beton bertulang pasca pembakaran pada suhu 500°C dan 750°C untuk $f_c' = 25$ MPa mengalami penurunan dari 105,73 MPa menjadi 70,84 MPa dan 49,63 MPa, sehingga persentase penurunannya sebesar 33,00% dan 79,18%. Untuk balok beton bertulang $f_c' = 30$ MPa pada pembakaran suhu 500°C dan 750°C mengalami penurunan dari 138,32 MPa menjadi 94,85 MPa dan 66,02 MPa, sehingga persentase penurunannya sebesar 31,43% dan 76,23%. Untuk balok beton bertulang $f_c' = 35$ MPa pada pembakaran suhu 500°C dan 750°C mengalami penurunan dari 144,40 MPa menjadi 120,98 MPa dan 69,67 MPa, sehingga persentase penurunannya sebesar 16,22% dan 61,77%.

Kata kunci: Beton bertulang; Kebakaran; Kuat lentur; Mutu; Suhu

ABSTRACT

Fire is a disaster that must be watched because it causes a lot of harm to the owner and the people around the building. The heating experienced by the concrete due to burning will result in a fundamental change in the properties of the concrete. The concrete will experience cracks, spalling, and lose strength, which will result in a decrease in flexural capacity. The purpose of this study was to determine changes in the flexural strength of reinforced concrete beams with combustion of 500°C and 750°C, with quality variations of $f_c' = 25$ MPa, $f_c' = 30$ MPa, and $f_c' = 35$ MPa. The results of the study showed that the flexural strength of reinforced concrete beams after combustion at temperatures of 500°C and 750°C for $f_c' = 25$ MPa decreased from 105.73 MPa to 70.84 MPa and 49.63 MPa, so the percentage reduction was 33.00% and 79.18%. For reinforced concrete beams $f_c' = 30$ MPa at combustion temperatures 500°C and 750°C decreased from 138.32 MPa to 94.85 MPa and 66.02 MPa, so the percentage reduction was 31.43% and 76.23%. For reinforced concrete beams $f_c' = 35$ MPa at combustion temperatures 500°C and 750°C decreased from 144.40 MPa to 120.98 MPa and 69.67 MPa, so the percentage reduction was 16.22% and 61.77%.

Key Words: Reinforced concrete; Fire; Flexural strength; Quality; Temperature

I. PENDAHULUAN

Pembangunan di Indonesia pada saat ini telah mengalami perkembangan pesat dibidang konstruksi. Pembangunan yang dilaksanakan ini diharapkan memenuhi sarana dan prasarana yang sangat dibutuhkan masyarakat. Sarana dan prasarana yang banyak dibutuhkan antara lain jalan, jembatan, bangunan gedung dan rumah tinggal. Jenis-jenis konstruksi yang biasa digunakan adalah konstruksi baja, beton dan kayu.

Beton bertulang merupakan jenis struktur yang paling banyak digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat maupun bangunan struktur lainnya. Sebagai bahan konstruksi, beton bertulang dalam perencanaannya harus mampu menahan beban-beban dan pengaruh dari sifat beton bertulang tersebut ketika difungsikan. Salah satu pengaruh tersebut adalah suhu tinggi yang terjadi ketika gedung mengalami kebakaran. Kebakaran merupakan salah satu bencana yang harus diwaspadai karena banyak menimbulkan kerugian bagi pemilik maupun orang yang berada di sekitar bangunan. Ditinjau dari jenis bangunan yang terbakar maka bangunan tempat tinggal merupakan kejadian paling sering terjadi. Salah satu faktor penyebabnya adalah kelalaian, baik kelalaian pada tahap perencanaan, pelaksanaan maupun pemanfaatan.

Pemanasan yang dialami beton akibat terbakar akan mengakibatkan perubahan mendasar dari sifat-sifat beton. Beton akan mengalami retak, terkelupas (spalling), dan kehilangan kekuatan, sehingga akan mengakibatkan penurunan kapasitas lentur. Penurunan kapasitas lentur diakibatkan oleh pemanasan terhadap beton yang berfungsi membungkus tulangan baja mengalami kerusakan dan temperatur panas itu masuk melalui pori-pori beton sehingga baja mendapat perlakuan panas yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan struktur tersebut. Besar penurunan kapasitas lentur beton bertulang juga dipengaruhi oleh besarnya suhu dan mutu dari karakteristik beton tersebut. Sehingga menyebabkan perubahan kekuatan struktur setelah proses pembakaran berbeda-beda pula.

Berdasarkan keterangan di atas, maka perlu diteliti mengenai kekuatan struktur beton bertulang tersebut akibat pembakaran sehingga perlu diketahui kekuatan struktur tersebut dapat diperkirakan apabila akan dipakai dan dipergunakan kembali. Untuk itu diadakan penelitian mengenai perubahan-perubahan yang terjadi dari kuat lentur beton bertulang dengan pemodelan sampel balok beton bertulang $f_c' = 25$ MPa, $f_c' = 30$ MPa, dan $f_c' = 35$ MPa yang dibakar dengan suhu 500°C dan 750°C .

II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang telah dijadikan perbandingan antara lain:

Tabel 1. Data penelitian terdahulu (Sumber : Anas Ibadilhaq, 1998)

No.	Peneliti (judul)	Benda Uji	Hasil Penelitian
1	Anas Ibadilhaq dan Isnaini Jauhari (Pengaruh pembakaran terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan variasi tebal selimut beton), 1998	Peneliti menggunakan benda uji balok beton bertulang dengan variasi tebal penutup beton (2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm) yang dibakar dalam tungku pada suhu 400°C , 500°C dan 600°C dengan lama pembakaran 3 jam.	Hasil dari penelitian tersebut yaitu penurunan kuat lentur benda uji yang dibakar pada temperatur 400°C adalah $12,9502\%$., $5,1927\%$, $0,8698\%$ dan $0,0185\%$. Dengan temperatur 500°C kekuatan lentur yang terjadi turun sebesar $12,4042\%$. Sedangkan pada temperatur 600°C dengan tebal selimut yang sama, kekuatan lenturnya turun sebesar $14,0608\%$.
2	Muhammad Abdul Aziz (Tinjauan kuat lentur balok beton bertulang dengan tambahan tulangan baja menyilang pasca bakar dengan variasi waktu), 2015	Perencanaan dengan berdasarkan perbandingan antara semen, pasir, dan kerikil adalah $1:2:3$ yang menghasilkan $f_c' = 16,26$ MPa. Faktor air semen (f.a.s) yang digunakan adalah $0,5$. Dalam penelitian ini, variasi waktu pembakaran adalah 0, 30, 60, 90, 120 menit.	Momen kapasitas balok beton bertulang tanpa pembakaran sebesar $15,532$ kN.m, dengan pembakaran selama 30, 60, 90 dan 120 menit yaitu $14,531$ kN.m, $12,495$ kN.m, $8,859$ kN.m, $7,207$ kN.m
3.	Lilis Indriani, ST,MT dan Ahmad Tohir,ST	Benda uji yang digunakan adalah balok skala penuh dengan ukuran	Hasil Penelitian menunjukkan pada suhu 200°C mengalami penurunan kuat

(Kuat Lentur Balok Komposit Baja-Beton Pasca Bakar.), 2016

(14x18x200) cm, dibuat sebanyak delapan buah dengan perlakuan dibakar selama 3 jam pada suhu 200°C, 300°C dan 400°C.

luluh sebesar 10% dan penurunan nilai kekakuan sebesar 20,08%. Pada suhu 300°C mengalami penurunan kuat luluh sebesar 20% dan penurunan nilai kekakuan sebesar 30,77%. mengalami penurunan kekuatan sebesar 20% dan penurunan nilai kekakuan sebesar 23,94%.

4. Koresj B. Peneliti Sirait (Kajian perilaku beton bertulang pasca bakar), 2003
- B. Peneliti menggunakan benda uji balok beton bertulang berukuran 15 x 25 x 320 cm, mutu K-300, dan dilakukan proses pembakaran setelah balok berumur 60 hari dimulai dari 30, 60, 90 dan 120 menit.
- Hasil uji pembebanan balok menunjukkan hasil sebagai berikut : untuk lama pembakaran 120 menit diperoleh beban kritis P_{cr} sebesar 7,2 t, 6,75 t, 6,20 t, dan 5,65 t.

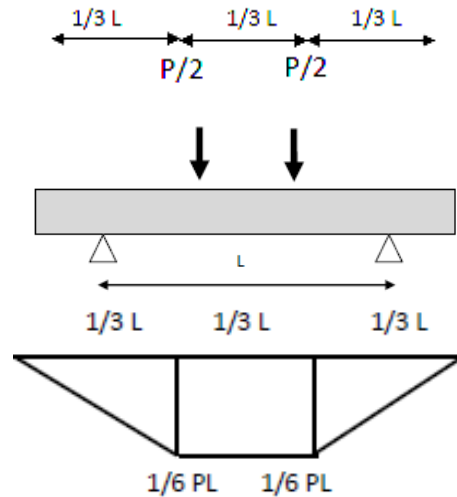
Beton Pasca Bakar

Menurut Sumardi (2000), kebakaran merupakan reaksi kimia dari bahan mudah terbakar dengan oksigen yang dikenal dengan reaksi pembakaran yang menghasilkan panas. Panas hasil pembakaran ini diteruskan ke massa beton/mortar dengan dua macam mekanisme yakni pertama secara radiasi yaitu pancaran panas diterima oleh permukaan beton sehingga permukaan beton menjadi panas. Kedua secara konveksi yaitu udara panas yang bertiup/bersinggungan dengan permukaan beton/mortar sehingga beton menjadi panas.

Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya tiap satuan luas. Lentur pada balok maupun pelat diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar.

Apabila beban bertambah maka struktur akan mengalami deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak disepanjang bentang balok atau pelat. Bila beban semakin bertambah, akhirnya terjadi keruntuhan pada elemen struktur.



Gambar 1. Bidang momen pada dua titik pembebanan (Sumber : SNI 4431:2011)

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan adalah:

- a. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak didaerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \frac{PL}{bh^2} \dots \dots \dots (1)$$

- b. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada diluar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antar titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \frac{Pa}{bh^2} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- σ_1 = kuat lentur benda uji (MPa)
- P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (kN)
- L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan
- B = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
- h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
- a = jarak rata-rata antara tumpang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahapan dari pelaksanaan penelitian ini meliputi pembuatan sampel, pembakaran dan pengujian hingga analisis data yang akan dibuat sebagai berikut:

1. Tahap persiapan, yaitu mempersiapkan material yang digunakan meliputi semen, pasir, batu, baja tulangan dan air, dan juga mempersiapkan alat seperti timbangan, wadah, gelas ukur, cetakan, oven dan saringan.
2. Tahap pengujian mutu material sebagai berikut:
 - a. Pemeriksaan berat jenis agregat kasar dan halus
 - b. Pemeriksaan kadar air agregat kasar dan halus
 - c. Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus
 - d. Pemeriksaan modulus kehalusan agregat kasar dan halus
 - e. Pemeriksaan gradasi agregat kasar dan halus.
3. Tahap analisa campuran beton. Pada tahap ini merencanakan mix design dengan mutu beton yang berbeda yaitu $f_c' = 25$ MPa, $f_c' = 30$ MPa, dan $f_c' = 35$ MPa. Jumlah benda uji silinder 48 buah dan balok sebanyak 18 buah.
4. Tahap pembuatan benda uji untuk pengujian kuat lentur menggunakan benda uji balok dimensi 15 x 15 x 60 cm. Tulangan yang digunakan adalah tulangan rangkap dengan menggunakan besi polos mutu baja f_y 240 Mpa. Tulangan tarik yang digunakan diameter 12 mm dan tulangan geser yang digunakan diameter 8 mm.



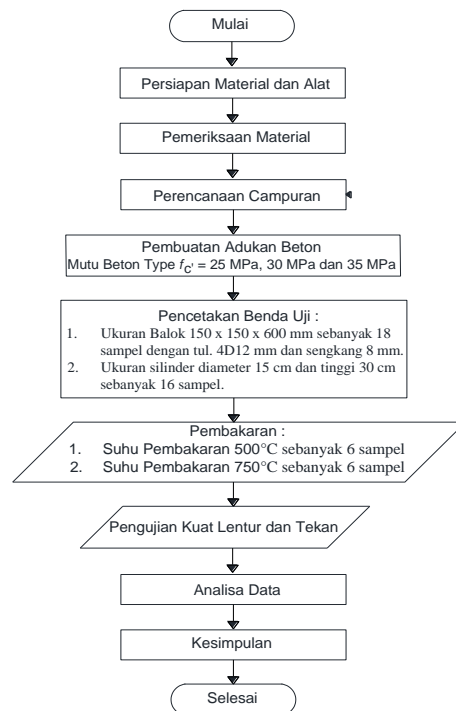
Gambar 2. Pembuatan benda uji balok (Sumber Hasil Penelitian, 2019)

5. Tahap pengeringan beton. Sehari setelah pengecoran dilakukan, beton di keluarkan dari cetaknya.
6. Tahap perawatan / perendaman beton. Dilakukan perendaman di dalam bak berisi air yang berfungsi untuk menjaga suhu beton agar tetap stabil.
7. Pembakaran benda uji. Benda uji balok beton yang sudah berumur 28 hari kemudian dilakukan proses pembakaran.



Gambar 3. Pembakaran benda uji (Sumber : Hasil Penelitian, 2020)

8. Pendinginan dan pemeriksaan beton setelah pembakaran. Mendinginkan beton dengan cara didiamkan selama 1 hari dan mengamati hasil setelah proses pembakaran.
9. Pengujian benda uji dibagi beberapa jenis yaitu pengujian benda uji silinder untuk kuat tekan umur 7, 14, 21 dan 28 hari di tes menggunakan *Compression Test Machine (CTM)* dan pengujian benda uji balok dilakukan pengujian kuat tekan dengan *hammer test* menggunakan alat *Proceq Digi-Schmidt* dan pengujian kuat lentur beton menggunakan *Hydraulic Concrete Beam Testing*.
10. Analisis data hasil pengujian.
11. Penyusunan laporan.



Gambar 4. Diagram alir penelitian. (Sumber : Yeyen, 2019)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Campuran Beton Normal $f_c' = 25$ MPa

Berdasarkan perencanaan komposisi campuran beton normal menggunakan metode SNI 03-7856-2012 dan sesuai material yang telah dilakukan pemeriksaan, dapat di perlihatkan hasil perhitungan kebutuhan per $1 \text{ m}^3 f_c' = 25$ MPa yaitu:

Tabel 2. Komposisi campuran beton normal $f_c' = 25$ MPa (Sumber : Analisis Data, 2019)

No	Material	per m^3	benda uji	benda uji + 15%
1	Semen	394,509	65,402	75,212
2	Air	168,841	27,990	32,189
3	Agregat kasar	1057,168	175,257	201,546
4	Agregat halus	679,210	112,599	129,489

Komposisi Campuran Beton Normal $f_c' = 30$ MPa

Berdasarkan perencanaan komposisi campuran beton normal menggunakan metode SNI 03-7856-2012 dan sesuai material yang telah dilakukan pemeriksaan, dapat di perlihatkan hasil perhitungan kebutuhan per $1 \text{ m}^3 f_c' = 30$ MPa yaitu:

Tabel 3. Komposisi campuran beton normal $f_c' = 30$ MPa (Sumber : Analisis Data, 2019)

No	Material	per m^3	benda uji	benda uji + 15%
1	Semen	455,339	75,486	86,809
2	Air	168,869	27,995	32,194
3	Agregat kasar	1057,168	175,257	201,546
4	Agregat halus	617,65	102,394	117,753

Komposisi Campuran Beton Normal $f_c' = 35$ MPa

Berdasarkan perencanaan komposisi campuran beton normal menggunakan metode SNI 03-7856-2012 dan sesuai material yang telah dilakukan pemeriksaan, dapat di perlihatkan hasil perhitungan kebutuhan per $1 \text{ m}^3 f_c' = 35$ MPa yaitu:

Tabel 4. Komposisi campuran beton normal $f_c' = 35$ MPa (Sumber : Analisis Data, 2019)

No	Material	per m^3	benda uji	benda uji + 15%
1	Semen	455,339	75,486	86,809
2	Air	168,869	27,995	32,194
3	Agregat kasar	1057,168	175,257	201,546

4	Agregat halus	617,65	102,394	117,753
---	---------------	--------	---------	---------

Pembakaran Benda Uji Beton

Pembakaran benda uji dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran keramik di SMK N 6 Pontianak. Pembakaran dimulai dari temperatur ruangan (± 31) sampai mencapai suhu yang ditargetkan yaitu 500°C dan 750°C . Pencatatan kenaikan temperatur dilakukan setiap 10 menit dengan menggunakan *pyrometer/thermocouple digital* yang berada di samping tungku.

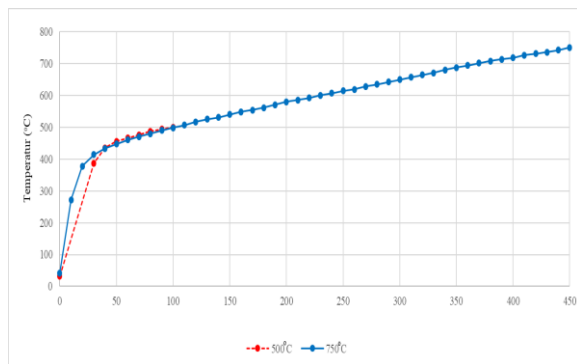
Tabel 5. Kenaikan temperatur tungku pada pembakaran benda uji suhu 500°C (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

No	Waktu	T_{body}	T_{pintu}
1	10.00	32	32
2	10.30	387	344
3	10.40	435	437
4	10.50	456	473
5	11.00	466	491
6	11.10	476	503
7	11.20	487	510
8	11.30	494	517
9	11.37	500	523

Tabel 6. Kenaikan temperatur tungku pada pembakaran benda uji suhu 750°C (Sumber Hasil Penelitian 2020)

No.	Waktu	T_{body}	T_{pintu}	No.	Waktu	T_{body}	T_{pintu}
1	10.45	42	62	24	14.35	600	616
2	10.55	272	238	25	14.45	607	622
3	11.05	378	368	26	14.55	614	629
4	11.15	414	423	27	15.05	619	635
5	11.25	433	451	28	15.15	628	644
6	11.35	447	470	29	15.25	635	649
7	11.45	460	486	30	15.35	642	656
8	11.55	470	497	31	15.45	649	662
9	12.05	480	508	32	15.55	657	669
10	12.15	490	516	33	16.05	664	674
11	12.25	498	523	34	16.15	671	682
12	12.35	507	530	35	16.25	680	690
13	12.45	517	539	36	16.35	687	696

No.	Waktu	T _{body}	T _{pinu}	No.	Waktu	T _{body}	T _{pinu}
14	12.55	525	547	37	16.45	694	702
15	13.05	531	553	38	16.55	701	709
16	13.15	540	560	39	17.05	708	714
17	13.25	548	569	40	17.15	713	718
18	13.35	554	573	41	17.25	718	723
19	13.45	561	580	42	17.35	726	730
20	13.55	571	588	43	17.45	731	733
21	14.05	580	594	44	17.55	736	737
22	14.15	585	601	45	18.05	742	743
23	14.25	592	607	46	18.15	750	750



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu dan temperatur tungku pembakaran (Sumber : Analisis Data, 2020)

Hasil Pemeriksaan Berat Benda Uji

Pemeriksaan berat benda uji dilakukan dengan cara menimbang masing-masing benda uji sebelum pembakaran dan setelah pembakaran.

Tabel 7. Pemeriksaan berat beton pasca pembakaran 500 °C (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

Kode	Berat		Penurunan	
	Sebelum	Sesudah	kg	%
$f_c' = 25$ MPa	35,25	33,65		
$f_c' = 25$ MPa	34,65	33,10	1,58	4,51
Rata-rata	34,95	33,38		
$f_c' = 30$ MPa	34,70	32,90		
$f_c' = 30$ MPa	34,25	33,10	1,48	4,28
Rata-rata	34,48	33,00		
$f_c' = 35$ MPa	35,25	33,65		
$f_c' = 35$ MPa	34,80	33,05	1,68	4,78
Rata-rata	35,03	33,35		

Tabel 8. Pemeriksaan berat beton pasca pembakaran 750 °C (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

Kode	Berat		Penurunan	
	Sebelum	Sesudah	kg	%
$f_c' = 25$ MPa	34,9	32,15		
$f_c' = 25$ MPa	34,55	32,05	2,63	7,56
Rata-rata	34,73	32,10		
$f_c' = 30$ MPa	34,45	31,8		
$f_c' = 30$ MPa	34,2	31,5	2,68	7,79
Rata-rata	34,33	31,65		
$f_c' = 35$ MPa	34,6	31,7		
$f_c' = 35$ MPa	34,9	32,25	2,78	7,99
Rata-rata	34,75	31,98		

Hasil Pemeriksaan Perubahan Warna

Pengamatan perubahan warna dilakukan dengan melihat warna beton pada balok beton setelah dibakar sebagai berikut:



Gambar 6. Perubahan warna beton pasca pembakaran 500 °C (Sumber : Hasil Penelitian 2020)



Gambar 7. Perubahan warna beton pasca pembakaran 750 °C (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

Tabel 9. Perubahan warna beton pembakaran 500 °C (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

Kode	Perubahan warna
$f_c' = 25$ MPa	Putih kekuningan
$f_c' = 25$ MPa	Putih kekuningan
$f_c' = 30$ MPa	Putih kekuningan
$f_c' = 30$ MPa	Putih kekuningan
$f_c' = 35$ MPa	Putih kekuningan

$f_c' = 35$ MPa Putih kekuningan

Tabel 10. Perubahan warna beton pembakaran 750 °C (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

Kode	Perubahan warna
$f_c' = 25$ MPa	Abu-abu kekuningan
$f_c' = 25$ MPa	Abu-abu kekuningan
$f_c' = 30$ MPa	Abu-abu kekuningan
$f_c' = 30$ MPa	Abu-abu kekuningan
$f_c' = 35$ MPa	Abu-abu kekuningan
$f_c' = 35$ MPa	Abu-abu kekuningan

Perubahan warna pada beton terjadi mulai dari pembakaran 500 °C dari warna abu-abu menjadi warna putih kekuning-kuningan atau jika dilihat dari indikator yang disediakan berada di antara 400 - 600 °C, sehingga warna beton tersebut tampak menjadi hangus. Sedangkan pada pembakaran 750 °C beton berubah menjadi Abu-abu kekuningan atau jika dilihat dari indikator yang disediakan berada di antara 400 - 600 °C. Indikator menunjukkan warna yang berbeda dengan hasil pengamatan karena pada penelitian ini proses pembakaran dilakukan dengan cara pembakaran secara tidak langsung dengan api, sehingga menunjukkan hasil yang berbeda dengan indikator yang telah disediakan.

Hasil Pengujian Tarik Baja

Data hasil pengujian dapat dilihat dari tabel data hasil pengujian tarik baja yang ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 11. Hasil Pengujian Tarik Baja (Sumber : Analisis Data, 2020)

No	Kode	Upper Yield Strength (U_{ys})(Mpa)	Tensile Strength (σ_{maks}) (Mpa)	Elongation After Fracture (ϵ)(%)	Reduction of Area (Z)(%)
I. Tanpa Bakar					
1	Baja \emptyset 12 Polos	378,45	575,81	22,67	38,33
2	Baja \emptyset 12 Polos	368,28	571,74	24,00	33,33
3	Baja \emptyset 12 Polos	374,38	577,85	24,67	33,33
	Rata-rata	373,70	575,13	23,78	35,00
II. Pembakaran 500°C					

1	Baja \emptyset 12 Polos	376,42	588,02	25,33	37,5
2	Baja \emptyset 12 Polos	368,28	577,85	24,00	30,83
3	Baja \emptyset 12 Polos	370,31	569,71	20,00	33,33
	Rata-rata	371,67	578,53	23,11	33,89

III. Pembakaran 750°C

1	Baja \emptyset 12 Polos	339,79	496,46	28,00	45,83
2	Baja \emptyset 12 Polos	335,72	494,43	30,67	45
3	Baja \emptyset 12 Polos	323,51	498,5	31,33	46,67
	Rata-rata	333,01	496,46	30,00	45,83

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berikut hasil pengujian kuat tekan beton menggunakan *hammer test*.

Tabel 12. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan *Hammer Test* Pembakaran 500°C (Sumber : Analisis Data, 2020)

Kode	Kuat Tekan (Mpa)			
	Sebelum		Sesudah	
	i	ii	i	ii
5B1	34.72	32.75	35.40	32.80
5B2	34.72	35.60	34.70	31.60
Rata-rata	34,45		33,63	
5B3	37.05	38.62	35.60	35.80
5B4	41.41	38.25	38.80	37.20
Rata-rata	38,83		36,85	
5B5	45.64	43.34	41.90	39.50
5B6	41.87	42.07	39.00	40.60
Rata-rata	43,23		40,25	

Tabel 13. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan *Hammer Test* Pembakaran 750°C (Sumber : Analisis Data, 2020)

Kode	Kuat Tekan (Mpa)			
	Sebelum		Sesudah	
	i	ii	i	ii
75B1	35.40	33.83	19.40	21.10
75B2	34.03	35.11	23.10	23.80
Rata-rata	34,59		21,85	
75B3	39.03	36.08	28.20	25.20
75B4	38.86	37.56	24.40	26.90

Rata-rata	37,88	26,18
75B5	42.27	33.70
75B6	40.60	30.90
Rata-rata	41,22	31,70

Dari Tabel 12. terlihat pada kondisi sebelum pembakaran 500°C benda uji $f_c' = 25$ MPa mendapatkan nilai kuat tekan 34,45 MPa, namun setelah pembakaran kuat tekan beton menjadi 33,63 MPa sehingga mendapatkan penurunan sebesar 2,39 %. Benda uji $f_c' = 30$ MPa mendapatkan nilai kuat tekan 38,83 MPa, namun setelah pembakaran kuat tekan beton menjadi 36,85 MPa sehingga mendapatkan penurunan sebesar 5,11 %. Benda uji $f_c' = 35$ MPa mendapatkan nilai kuat tekan 43,23 MPa, namun setelah pembakaran kuat tekan beton menjadi 40,25 MPa sehingga mendapatkan penurunan sebesar 6,89 %.

Selanjutnya dari Tabel 13. terlihat pada kondisi sebelum pembakaran 750°C benda uji $f_c' = 25$ MPa mendapatkan nilai kuat tekan 34,59 MPa, namun setelah pembakaran kuat tekan beton menjadi 21,85 MPa sehingga mendapatkan penurunan sebesar 36,84 %. Benda uji $f_c' = 30$ MPa mendapatkan nilai kuat tekan 37,88 MPa, namun setelah pembakaran kuat tekan beton menjadi 26,18 MPa sehingga mendapatkan penurunan sebesar 30,90 %. Benda uji $f_c' = 35$ MPa mendapatkan nilai kuat tekan 41,22 MPa, namun setelah pembakaran kuat tekan beton menjadi 31,70 MPa sehingga mendapatkan penurunan sebesar 23,09 %.

Berdasarkan hasil analisa diatas kuat tekan beton mengalami penurunan pasca pembakaran yang telah dilakukan. Nilai penurunan bervariasi berdasarkan perbedaan mutu dan suhunya, pasca pembakaran 500°C didapat hasil penurunan yang lebih kecil dibandingkan pembakaran pada suhu 750°C.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Balok di uji setelah umur 28 hari dengan perletakan di atas dua tumpuan sederhana dan dibebani secara simetris dua titik pembebanan sehingga terjadi lentur murni. Hasil perhitungan kuat lentur balok beton dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 14. Persentase penurunan kuat lentur terhadap balok normal tanpa pembakaran (Sumber : Analisis Data, 2020)

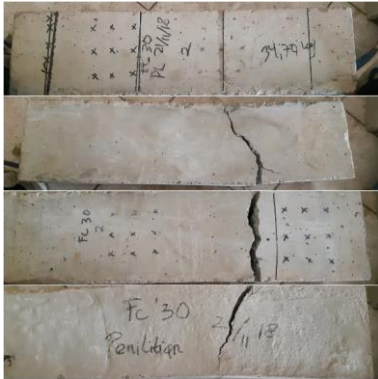
No.	Kode	Kuat Lentur (MPa)	Persentase Penurunan Terhadap Balok Normal (%)	Keterangan
1	BN1	92,46	-	Balok $f_c' 25$ Mpa Tanpa Pembakaran
2	BN2	119,00	-	
3	BN3	137,76	-	Balok $f_c' 30$ Mpa Tanpa Pembakaran
4	BN4	138,89	-	
5	BN5	151,61	-	Balok $f_c' 35$ Mpa Tanpa Pembakaran
6	BN6	137,20	-	
7	5B1	67,80	33,00 %	Balok $f_c' 25$ Mpa Pembakaran 500°C
8	5B2	73,88		
9	5B3	94,12	31,43 %	Balok $f_c' 30$ Mpa Pembakaran 500°C
10	5B4	95,58		
11	5B5	119,99	16,22 %	Balok $f_c' 35$ Mpa Pembakaran 500°C
12	5B6	121,97		
13	75B1	47,49	79,18 %	Balok $f_c' 25$ Mpa Pembakaran 750°C
14	75B2	51,78		
15	75B3	76,65	76,23 %	Balok $f_c' 30$ Mpa Pembakaran 750°C
16	75B4	55,38		
17	75B5	56,50	61,77 %	Balok $f_c' 35$ Mpa Pembakaran 750°C
18	75B6	82,84		



Gambar 8. Pola Retak Benda Uji BN1 (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

Dari pengamatan pengujian dapat dilihat bahwa BN1 mengalami patah didaerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan diperoleh beban maksimum P sebesar 80 kN. Sehingga perhitungan kuat lentur beton bertulang tersebut menggunakan rumus pada SNI 03-4431-2011 pasal 5.1a. Dari perhitungan tersebut didapat kuat lentur untuk BN1, BN2, BN3, BN4, BN5 dan BN6 berturut-

turut adalah 92,46 MPa, 119 MPa, 137,76 MPa, 138,89 MPa, 151,61 MPa dan 137,20 MPa. Sehingga didapat kuat lentur rata-rata untuk benda uji beton $f_c' = 25$ MPa sebesar 105,73 MPa, benda uji beton $f_c' = 30$ MPa sebesar 138,32 MPa dan benda uji beton $f_c' = 35$ MPa sebesar 144,40 MPa. Balok beton bertulang tanpa pembakaran ini dijadikan acuan untuk pembandingan dengan benda uji yang dilakukan proses pembakaran 500°C dan 750°C.



Gambar 9. Pola Retak Benda Uji 5B3 (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

Dari pengamatan pengujian dapat dilihat bahwa 5B3 mengalami patah diluar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka diperoleh beban maksimum P sebesar 68 kN. Pada 5B1, 5B2, 5B4, 5B5 dan 5B6 mengalami patah didaerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan diperoleh beban maksimum P sebesar 54 kN, 53,5 kN, 60 kN, 73 kN dan 85 kN. Sehingga perhitungan kuat lentur 5B3 menggunakan rumus pada SNI 03-4431-2011 pasal 5.1b dan kuat lentur 5B1, 5B2, 5B4, 5B5 dan 5B6 menggunakan rumus pada SNI 03-4431-2011 pasal 5.1a. Dari perhitungan tersebut didapat kuat lentur untuk 5B1, 5B2, 5B3, 5B4, 5B5 dan 5B6 berturut-turut adalah 67,80 MPa, 73,88 MPa, 94,12 MPa, 95,58 MPa, 119,99 MPa dan 121,97 MPa. Sehingga didapat kuat lentur rata-rata untuk benda uji beton $f_c' = 25$ MPa sebesar 70,84 MPa, benda uji beton $f_c' = 30$ MPa sebesar 94,85 MPa dan benda uji beton $f_c' = 35$ MPa sebesar 120,98 MPa.

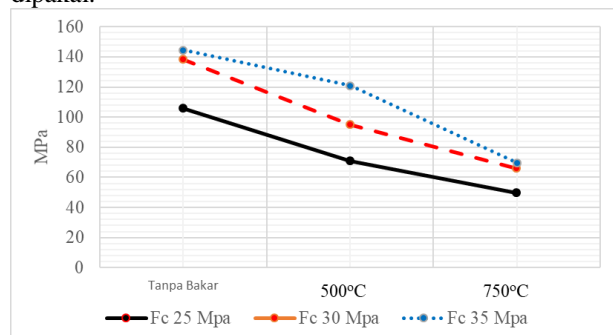
Penurunan kuat lentur pasca pembakaran diakibatkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah terjadinya penurunan kuat tekan beton balok tersebut sebesar 2,39 %, 5,11 % dan 6,89 %.



Gambar 10. Pola Retak Benda Uji 75B1 (Sumber : Hasil Penelitian 2020)

Dari pengamatan pengujian dapat dilihat bahwa 75B1 mengalami patah diluar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka diperoleh beban maksimum P sebesar 36 kN. Sehingga perhitungan kuat lentur 75B1 menggunakan rumus pada SNI 03-4431-2011 pasal 5.1a. Dari perhitungan tersebut didapat kuat lentur untuk 75B1, 75B2, 75B3, 75B4, 75B5 dan 75B6 berturut-turut adalah 47,49 MPa, 51,78 MPa, 76,65 MPa, 55,38 MPa, 56,50 MPa dan 82,84 MPa. Sehingga didapat kuat lentur rata-rata untuk benda uji beton $f_c' = 25$ MPa sebesar 49,63 MPa, benda uji beton $f_c' = 30$ MPa sebesar 66,02 MPa dan benda uji beton $f_c' = 35$ MPa sebesar 69,67 MPa.

Penurunan kuat lentur pasca pembakaran diakibatkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah terjadinya penurunan kuat tekan beton balok tersebut sebesar 36,84 %, 30,90 % dan 23,09 %, dan terjadi penurunan juga pada kuat tarik baja tulangan yang dipakai.



Gambar 11. Grafik penurunan kuat lentur beton bertulang. (Sumber : Analisis Data, 2020)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pada benda uji beton $f_c' = 25$ MPa mengalami penurunan pada pembakaran suhu 500°C sebesar 33%, dan pada pembakaran pada suhu 750°C mengalami penurunan

sebesar 79,18% dari beton normal. Benda Uji beton $f_c' = 30$ MPa mengalami penurunan pada pembakaran suhu 500°C sebesar 31,43 %, dan pada pembakaran pada suhu 750°C mengalami penurunan sebesar 76,23 % dari beton normal. Benda Uji beton $f_c' = 35$ MPa mengalami penurunan pada pembakaran suhu 500°C sebesar 16,22 %, dan pada pembakaran pada suhu 750°C mengalami penurunan sebesar 61,77 % dari beton normal. Sehingga dari data tersebut disimpulkan beton $f_c' = 35$ MPa mengalami penurunan lebih rendah dibandingkan dibandingkan beton $f_c' = 25$ MPa dan $f_c' = 30$ MPa.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan penelitian mengenai pengaruh pembakaran terhadap kuat lentur beton bertulang dengan berbagai variasi mutu dan suhu, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Balok beton bertulang yang dibakar mengalami penurunan kuat lentur yang bervariasi tergantung tingkat temperatur dan mutu beton tersebut. Pada pembakaran 500°C kuat lentur beton bertulang $f_c' = 25$ MPa mengalami penurunan dari balok tanpa pembakaran sebesar 105,73 MPa menjadi 70,84 MPa, kuat lentur beton bertulang $f_c' = 30$ MPa mengalami penurunan dari balok tanpa pembakaran sebesar 138,32 MPa menjadi 94,85 MPa, dan kuat lentur beton bertulang $f_c' = 35$ MPa mengalami penurunan dari balok tanpa pembakaran sebesar 144,40 MPa menjadi 120,98 MPa. Pada pembakaran 750°C kuat lentur beton bertulang $f_c' = 25$ MPa mengalami penurunan dari balok tanpa pembakaran sebesar 105,73 MPa menjadi 49,63 MPa, kuat lentur beton bertulang $f_c' = 30$ MPa mengalami penurunan dari balok tanpa pembakaran sebesar 138,32 MPa menjadi 66,02 MPa, dan kuat lentur beton bertulang $f_c' = 35$ MPa mengalami penurunan dari balok tanpa pembakaran sebesar 144,40 MPa menjadi 69,67 MPa.
2. Balok beton bertulang $f_c' = 25$ MPa mengalami penurunan kuat lentur pada suhu 500°C dan 750°C sebesar 33,00% menjadi 79,18%, untuk balok beton bertulang $f_c' = 25$ MPa mengalami penurunan kuat lentur pada suhu 500°C dan 750°C sebesar 31,43% menjadi 76,23%, sedangkan untuk balok beton bertulang $f_c' = 25$ MPa mengalami penurunan kuat lentur pada suhu 500°C dan 750°C sebesar 16,22% menjadi 61,77%.

REFERENSI

- Aziz. M. A. (2015). *Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Tambahan Tulangan Baja Menyalang Pasca Bakar Dengan Berbagai Variasi Waktu*. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Ibadilhaq. A. (1998). *Pengaruh Pembakaran Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Tebal Selimut Beton*. FTSP Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Indriani. L. (2016). *Jurnal Kuat Lentur Balok Komposit Baja-Beton Pasca Bakar*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Rosita. N. N. (2016). *Kekuatan Tekan Kolom Pendek Pasca Pembakaran*. Bali: Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Sirait. K. B. (2003). *Kajian Perilaku Beton Bertulang Pasca Bakar*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- SNI 03 - 7656 – 2012. *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*.
- SNI 03 – 4431 – 2011. *Metode pengujian kuat lentur dengan dua pembebanan*.