

SIMULASI DURABILITAS BETON NORMAL TERHADAP PENGARUH SUHU TINGGI AKIBAT PROSES PEMBAKARAN

Ramlan Rammadon¹, Indra Syahrul Fuad^{2*}, Yules Pramona Zulkarnain², Ade Dharma Wiranata¹, Irwandra Septiadi², Edlin Al Khuzaifah Hasbi², Ammar Asyraf²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti, Palembang

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti, Palembang

*Corresponding author e-mail: indrasf@univ-tridinanti.ac.id

ABSTRAK: Beton adalah bahan bangunan yang populer digunakan karena mampu menahan beban dengan sangat baik dan ketahanannya terhadap lingkungan. Namun, paparan suhu tinggi seperti pada kebakaran dapat menurunkan kekuatan mekaniknya. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh durasi pembakaran terhadap kekuatan beton melalui pengujian kuat tekan, kuat lentur, dan *hammer test*. Variasi mutu beton yang digunakan adalah $f'c$ 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa untuk menganalisis pengaruh tingkat kekuatan awal terhadap perubahan sifat mekanik setelah terpapar panas. Benda uji dibuat sesuai standar dan diuji pada umur 28 hari. Pembakaran dilakukan dalam *furnace* selama 1, 2, dan 3 jam, kemudian beton didinginkan sebelum diuji. Berdasarkan hasil penelitian, kekuatan tekan beton mengalami penurunan signifikan seiring bertambahnya durasi pembakaran, dengan penurunan tertinggi pada beton $f'c = 35$ MPa sebesar 54,22% setelah 180 menit. Pada uji kuat lentur, penurunan terbesar juga terjadi pada $f'c = 35$ MPa sebesar 64,58%, sedangkan $f'c = 25$ MPa hanya 10,67%. Hasil *hammer test* menunjukkan bahwa beton $f'c = 30$ MPa dan 35 MPa memiliki nilai rata-rata lebih tinggi dari mutu rencana. Secara keseluruhan, durasi pembakaran berpengaruh terhadap penurunan kekuatan beton.

Kata Kunci: Beton, durasi pembakaran, kuat tekan, kuat lentur, hammer test

ABSTRACT: Concrete is widely used in construction because it offers excellent compressive strength and durability under various environmental conditions. However, exposure to elevated temperatures, such as during fire incidents, can significantly reduce its mechanical performance. This study investigates the effect of heating duration on the mechanical properties of concrete through compressive strength, flexural strength, and hammer test analyses. Three concrete grades, $f'c$ 25 MPa, 30 MPa, and 35 MPa, were used to evaluate the influence of initial strength on mechanical degradation after high-temperature exposure. The specimens were prepared following standard procedures and tested at 28 days of curing. Heating was carried out in a furnace for 1, 2, and 3 hours, followed by cooling before testing. The results indicated a substantial decrease in compressive strength with longer heating durations, with the highest reduction of 54.22% observed in 35 MPa after 180 minutes. Similarly, flexural strength decreased most significantly in 35 MPa by 64.58%, while 25 MPa showed the smallest decline of 10.67%. Hammer test results revealed that 30 MPa and 35 MPa concretes exhibited rebound values higher than their design strengths. Overall, the duration of heating significantly affects the mechanical strength and stability of concrete..

Keywords: Concrete, heating duration, compressive strength, flexural strength, hammer test

1 Pendahuluan

Beton menjadi salah satu material konstruksi yang paling umum dimanfaatkan karena memiliki kekuatan tekan yang besar serta ketahanan tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Di antara banyak jenis material bangunan, beton menempati posisi paling dominan secara global berkat performa mekanisnya yang stabil, durabilitas yang

tinggi, dan kemudahan dalam proses pembentukan maupun penerapannya di lapangan. [1]. Meski demikian, beton memiliki kelemahan berupa penurunan kekuatan yang cukup drastis saat mengalami paparan temperatur tinggi seperti pada kondisi kebakaran. [2]. Kondisi ini dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan struktur beton dalam menahan beban, bahkan hingga mengalami kegagalan struktural. Elemen struktural seperti balok, kolom,

maupun pelat yang mengalami kebakaran akan menunjukkan penurunan kapasitas momen [3]. Oleh karena itu, evaluasi terhadap perilaku beton setelah terpapar suhu tinggi menjadi hal penting dalam menentukan langkah penanganan dan perbaikan yang tepat pada bangunan pasca kebakaran.

SNI 2847:2013 menyatakan bahwa beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus berupa pasir, agregat kasar seperti batu pecah, air, serta bahan tambahan (*admixture*). Beton umumnya mencapai kekuatan tekan puncaknya pada usia 28 hari, tetapi sifat mekanis tersebut dapat mengalami penurunan yang cukup besar ketika terpapar suhu tinggi. Kondisi tersebut dapat merusak struktur mikro beton terutama pada pasta semen dan zona transisi antar agregat.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh durasi pembakaran terhadap kekuatan beton melalui pengujian kuat tekan, kuat lentur, dan *hammer test*. Umumnya, evaluasi pascabakar dilakukan berdasarkan nilai kuat tekan beton. Pada penelitian kali ini dilakukan juga pengujian terhadap *hammer test* yang merujuk pada studi sebelumnya, dimana pengujian *hammer test* diterapkan pada elemen bangunan yang terpapar langsung oleh suhu tinggi akibat kebakaran sebagai metode cepat untuk menilai kerusakan permukaan beton [3]. Kondisi bangunan setelah mengalami kebakaran menunjukkan penurunan yang nyata sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian. Temuan penelitian terdahulu juga menjelaskan bahwa kekuatan struktur kolom berkurang dengan hasil pengujian UPV berada pada kisaran 5.42–27.77 MPa dan *hammer test* berkisar 23.58–36.82 MPa [11].

Para peneliti mulai melakukan penelitian dengan membuat benda uji beton yang kemudian dibakar langsung atau dalam oven maupun tungku [4]. Namun pada penelitian ini pembakaran menggunakan *furnace* sebagai media pemanas dengan variasi waktu yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Setelah proses pembakaran, beton didinginkan hingga mencapai suhu normal sebelum dilakukan pengujian mekanis. Harapan dari penelitian ini agar memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perubahan sifat mekanik pada beton akibat paparan lingkungan bersuhu tinggi, terutama menentukan mutu beton yang memiliki ketahanan terbaik terhadap efek pasca kebakaran.

2 Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Beton Universitas Tridinanti palembang. Seluruh proses meliputi pembuatan, perawatan, pembakaran, dan pengujian benda uji.

Perencanaan campuran beton disusun berdasarkan metode American Concrete Institute (ACI) dengan variasi mutu beton (f'_c) yang direncanakan yaitu 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa, di mana setiap mutu beton menggunakan 3 benda uji. Sebelum proses pencampuran beton, dilakukan pengujian terhadap bahan penyusun untuk memastikan kualitas agregat yang digunakan memenuhi standar. Agregat berfungsi sebagai pemberi kekuatan pada beton, sedangkan semen memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan bahan pengikat lainnya. Air berperan sebagai media pencampur yang memungkinkan tercapainya sifat homogen pada komposisi material bangunan. [5]. Pengujian agregat halus dan agregat kasar meliputi:

- (1) Berat jenis (SSD) dan berat isi agregat,
- (2) Analisis saringan agregat halus dan kasar,
- (3) Keausan agregat,
- (4) Modulus kehalusan (*fineness modulus*), dan
- (5) Kadar lumpur agregat.

Seluruh pengujian dilakukan mengacu pada standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Benda uji yang digunakan terdiri dari:

- (1) Silinder beton berukuran 15 cm × 30 cm untuk pengujian kuat tekan.
- (2) Balok beton berukuran 15 cm × 60 cm untuk pengujian kuat lentur.
- (3) Silinder beton 15 cm × 30 cm dan balok beton 15 cm × 60 cm untuk pengujian *hammer test*.

Pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan ketentuan dalam SNI 03-2834-2000 mengenai prosedur perancangan campuran beton normal. Setelah dicetak, benda uji dirawat (*curing*) selama 28 hari agar beton dapat mencapai kekuatan optimumnya. Benda uji yang telah melewati masa perawatan kemudian dibakar menggunakan *furnace* dengan suhu pembakaran yaitu 300°C. Identifikasi terhadap suhu tersebut merupakan batas beton mulai kritis yaitu sekitar 300°C - 350°C. [3] Variasi durasi pembakaran yang dilakukan yaitu selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Setelah proses pembakaran berakhir, benda uji didinginkan hingga mencapai suhu ruang sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, kuat lentur, dan *hammer test* pada kondisi pasca bakar. Hasil pengujian ini digunakan untuk menganalisis pengaruh durasi pembakaran terhadap kekuatan mekanik beton pada berbagai mutu, serta menentukan tingkat ketahanan beton terhadap suhu tinggi.

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Tridinanti Palembang. Sebelum menganalisis pengaruh penambahan variasi serat kawat bendrat pada beton, dilakukan pengujian terhadap material penyusunnya guna memastikan bahwa sifat fisiknya memenuhi persyaratan [6].

3.1 Hasil Uji Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Tanjung Raja. Pengujian yang dilakukan meliputi kadar lumpur, berat jenis, berat isi, serta kadar air. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji material agregat halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar lumpur	1 %
2	Berat jenis keadaan kering	2.47 gr/cm ³
3	Nilai Berat Jenis SSD	2.51 gr/cm ³
4	Nilai Berat Jenis Semu	2.57 gr/cm ³
5	Kepadatan isi	1.35 gr/cm ³
6	Tingkat kandungan air	7.5%
7	Uji bahan organik	Kuning (No.1)
8	Penyerapan Air	1.57 %

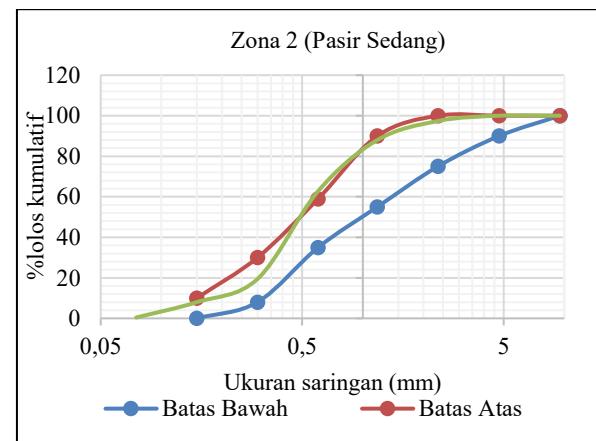
Berdasarkan hasil pengujian diatas, agregat halus mempunyai berat jenis SSD sebesar 2.57 gr/cm³ dan penyerapan air sebesar 1.57%. Agregat halus tersebut juga diketahui tidak mengandung banyak bahan organik seperti yang ditunjukkan oleh hasil pengujian laboratorium.

Tabel 2. Hasil uji saringan material agregat halus

Lubang Ayakan	Berat Tertahan	Kum Berat Tertahan (gr)	%kum. Tertahan	%kum. Lolos
9.5	0	0	0	100
4.75	0	0	0	100
2.36	13	13	2.6	97.4
1.18	47	60	12	88
0.6	126	186	37.2	62.8
0.3	217	403	80.6	19.4
0.15	57	460	92	8
0.075	38	498	99.6	0.4
-	2	500	-	-
Total	500			

Pengujian analisis saringan agregat halus dilakukan menggunakan saringan mencakup ukuran 3/8 dan seri saringan No.4 hingga No.200 (No.8, No.16, No.30, No.50, No.100). Hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan berat tertahan pada setiap saringan, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung kumulatif berat tertahan dan persentase kumulatif lolos guna menentukan gradasi agregat halus.

Gambar 1 menunjukkan hasil analisis saringan terhadap material agregat halus, di mana distribusi gradasi butirannya berada pada Zona 2 yang termasuk kedalam kategori pasir sedang berdasarkan ketentuan SNI 03-2834-2000 serta ASTM C-33. Terlihat bahwa agregat halus yang digunakan memiliki karakteristik gradasi yang sesuai untuk digunakan dalam campuran beton



Gambar 1. Hasil gradasi agregat halus

3.2 Hasil Uji Material Agregat Kasar

Berdasarkan standar pengujian menurut ASTM pengujian yang dilakukan berupa uji pada berat jenis, pengujian keausan agregat, dan gradasi material agregat kasar. Hasil dari analisis material agregat kasar disajikan di dalam Tabel 3.

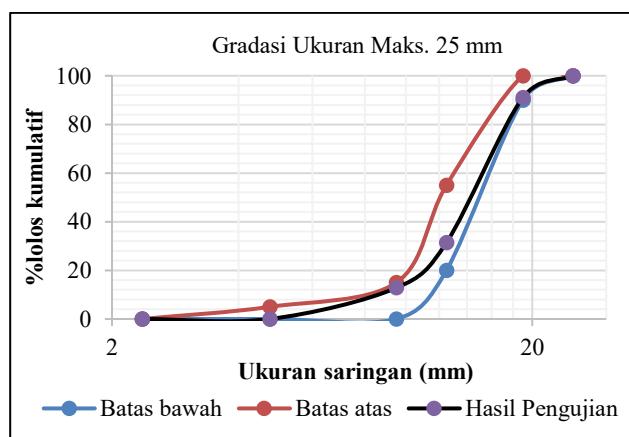
Tabel 3. Hasil uji material agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Berat jenis keadaan kering	2.44 gr /cm ³
2	Nilai Berat Jenis SSD	2.51 gr /cm ³
3	Nilai Berat Jenis Semu	2.62 gr /cm ³
4	Berat Semu	2.51 gr /cm ³
5	Keausan	11.25 %
6	Penyerapan Air	2.83 %

Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki berat jenis SSD sebesar 2.44 gr/cm³ dengan penyerapan air 2.83%. Nilai ini menandakan bahwa agregat kasar tersebut memenuhi standar sebagai material penyusun beton yang baik. Pengujian analisis saringan terhadap agregat kasar dilakukan menggunakan saringan meliputi ukuran 1, No.3/4, No.1/2, No.3/8, serta saringan No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200, dan pan."Hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4 menunjukkan distribusi berat tertahan pada setiap saringan. Data tersebut digunakan untuk menghitung kumulatif berat tertahan dan persentase kumulatif tertahan, sehingga diperoleh persentase kumulatif lolos yang menggambarkan gradasi agregat kasar.

Tabel 4. Hasil uji saringan material agregat kasar

Lubang Ayakan	Berat Tertahan	Kum Berat Tertahan (gr)	%kum. Tertahan	%kum. Lolos
25	0	0	0	100
19	780	780	15.6	84.4
12.5	2650	3430	68.6	31.4
9.5	930	4360	87.2	12.8
4.75	640	5000	100	0
2.36	0	5000	100	0
1.18	0	5000	100	-
0.6	0	5000	100	-
0.3	0	5000	100	-
0.15	0	5000	100	-
0,075	0	5000	100	-
-	0	5000	-	-
Total	5000			



Gambar 2. Hasil gradasi agregat kasar

Berdasarkan hasil analisis saringan agregat kasar pada Gambar 2 dan ketentuan batas gradasi menurut SNI 03-2834-2000 (Tabel 4), material agregat kasar yang dipakai tergolong dalam batas gradasi yang disyaratkan dengan ukuran maksimum 25 mm.

3.3 Perencanaan Komposisi Campuran Beton (*Job Mix Formula* / *JMF*)

Perhitungan komposisi campuran adukan beton menggunakan standar SNI (Standar Nasional Indonesia) 03-2834-2000 dengan perhitungan yang didapat berupa kebutuhan bahan per 1 m³. *JMF* yang dirancang dalam penelitian ini dengan mutu beton (*f'c*) yaitu 25 MPa, 30 MPa dan 35 MPa. *JMF* atau perancangan campuran beton adalah tahap penentuan bahan yang tepat dan komposisinya untuk memperoleh beton yang hemat biaya namun tetap memenuhi syarat pengujian, termasuk kuat tekan, kuat lentur, workabilitas, dan durabilitas. Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7 menyajikan rancangan campuran (*JMF*) beton normal dengan mutu (*f'c*) 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa.

Tabel 5. *Job mix formula* beton normal *f'c* = 25 MPa

Material	Kebutuhan	Perbandingan
Semen	401.91 kg/m ³	1.00
Agregat halus (pasir)	504.91 kg/m ³	1.26
Agregat kasar	1178.12 kg/m ³	2.93
Air	205 kg/m ³	0.51

Tabel 6. *Job mix formula* beton normal *f'c* = 30 MPa

Material	Kebutuhan	Perbandingan
Semen	445.65 kg/m ³	1.00
Agregat halus (pasir)	475.41 kg/m ³	1.07
Agregat kasar	1163.93 kg/m ³	2.61
Air	205 kg/m ³	0.46

Tabel 7. *Job mix formula* beton normal *f'c* = 35MPa

Material	Kebutuhan	Perbandingan
Semen	488.09 kg/m ³	1.00
Agregat halus (pasir)	447.13 kg/m ³	0.92
Agregat kasar	1149.77 kg/m ³	2.36
Air	205 kg/m ³	0.42

Hasil perancangan menunjukkan bahwa kebutuhan semen meningkat dari 401.91 kg/m³ pada *f'c* = 25 MPa menjadi 488.09 kg/m³ pada *f'c* = 35 MPa, sedangkan untuk rasio air-semen menurun dari 0.51 menjadi 0.42. Hal ini

menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton dicapai dengan menurunkan kadar air relatif terhadap jumlah semen untuk memperoleh kekuatan yang lebih tinggi.

3.4 Hasil Uji *Slump Test*

Setelah proses pengadukan selesai, dilakukan pengujian *slump test* untuk mengetahui tingkat kelecahan atau kekentalan adukan beton yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji, seperti terlihat pada Gambar 3. Nilai *slump* yang lebih tinggi menunjukkan beton lebih encer dan mudah dikerjakan, sedangkan nilai *slump* yang rendah menandakan beton lebih kental dan sulit diolah. [7].



Gambar 3. Hasil *slump test* beton normal dan bakar

Tabel 8 menunjukkan hasil pengujian *slump* beton normal dengan mutu ($f'c$) yaitu 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa pada setiap umur beton.

Tabel 8. Uji *slump test* beton normal

Mutu Beton	Umur (Hari)	Hasil Slump (cm)
F'c 25	3	7
	7	7
	14	7
	21	7
	28	7
F'c 30	3	6.5
	7	6.5
	14	6.5
	21	6.5
	28	6.5
F'c 35	3	6
	7	6
	14	6
	21	6
	28	6

Nilai *slump* beton cenderung konstan pada setiap umur pengujian, yaitu 7 cm untuk beton $f'c = 25$ MPa, 6.5 cm untuk beton $f'c = 30$ MPa, dan 6 cm untuk beton $f'c = 35$ MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton diikuti oleh penurunan nilai *slump*, yang mengindikasikan bahwa beton dengan kuat tekan lebih tinggi memiliki tingkat *workabilitas* yang lebih rendah.

3.5 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal dan Pasca bakar

Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, beton berbentuk silinder berukuran 150 mm \times 300 mm harus melakukan proses perawatan dengan cara perendaman didalam air (*curing*) selama beberapa periode waktu, yaitu 3, 7, 14, 21, dan 28 hari (Gambar 4).



Gambar 4. Proses *curing*

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan ketika diberi gaya tekan tertentu oleh mesin uji [8]. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan alat uji tekan beton (*compression test machine*) untuk memperoleh beban maksimum (P_{max}), yaitu beban saat beton mengalami kehancuran akibat tekanan. Benda uji silinder dapat dilihat pada Gambar 5. Data kuat tekan beton diperoleh dengan membandingkan beban maksimum yang diterima saat pengujian dengan luas penampang benda uji. [4]. Adapun hasil kuat tekan rata – rata dapat dilihat pada Tabel 9 yang merupakan uji kuat tekan rata-rata untuk umur 3 – 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton pada berbagai umur menunjukkan peningkatan kekuatan seiring bertambahnya waktu pengerasan. Beton mutu 25 MPa mengalami peningkatan kuat tekan dari 9.43 MPa pada hari ke-3 menjadi 19.43 MPa pada hari ke-28, menunjukkan bahwa proses hidrasi semen berjalan baik. Beton mutu 30 MPa juga mengalami peningkatan dari 17.54 MPa pada 3 hari menjadi 22.64 MPa pada 28 hari, dengan pertumbuhan kekuatan yang lebih stabil dibanding

mutu lainnya. Sementara itu, beton mutu 35 MPa menunjukkan fluktuasi nilai kuat tekan, dengan peningkatan signifikan hingga 23.77 MPa pada umur 14 hari, kemudian sedikit menurun menjadi 22.26 MPa pada 28 hari. Secara keseluruhan, seluruh mutu beton menunjukkan tren peningkatan kekuatan seiring waktu, di mana laju pertumbuhan paling tinggi terjadi pada umur awal akibat proses hidrasi yang intensif, kemudian melambat mendekati umur 28 hari.

Pada Gambar 5 dapat dilihat hasil pengujian kuat tekan yang menunjukkan seluruh mutu beton mengalami penurunan kekuatan setelah pembakaran dibandingkan kondisi awal.



Gambar 5. Benda uji silinder kuat tekan beton

Tabel 9. Hasil rata-rata uji kuat tekan beton normal

Mutu Beton	Umur (Hari)	Hasil Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
F'c 25	3	9.43
	7	12.54
	14	17.73
	21	16.13
	28	19.43
F'c 30	3	17.54
	7	17.64
	14	17.35
	21	16.41
	28	22.64
F'c 35	3	16.98
	7	16.22
	14	23.77
	21	22.16
	28	22.26

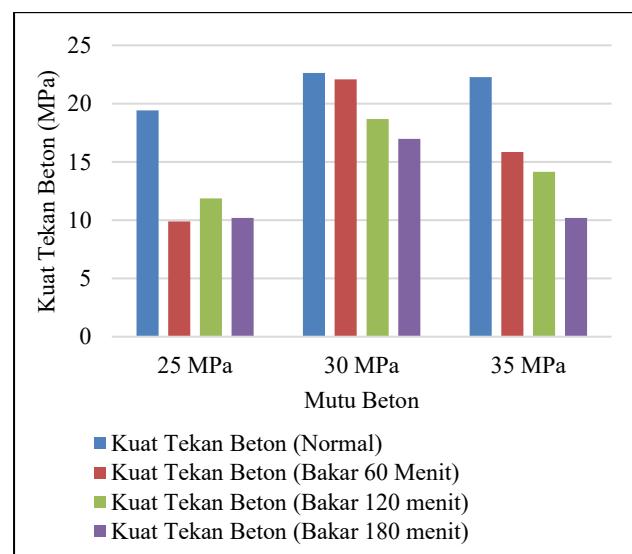
Pada beton mutu 25 MPa, penurunan kuat tekan berkisar antara 38.86% hingga 49.05%, menunjukkan degradasi signifikan akibat paparan suhu tinggi. Beton mutu 30 MPa

mengalami penurunan yang lebih kecil, yaitu antara 2.52% hingga 25.00%, menandakan ketahanan yang lebih baik terhadap panas. Sementara itu, beton mutu 35 MPa menunjukkan penurunan tertinggi, mencapai 28.84% hingga 54.22%, terutama setelah pembakaran selama 180 menit.

Tabel 10.Uji kuat tekan beton pasca bakar

Mutu Beton	Waktu Pembakaran	Kuat Tekan Beton (MPa)	% Penurunan
F'c 25	60 menit	9.90	49.05
	120 menit	11.88	38.86
	180 menit	10.19	47.56
F'c 30	60 menit	22.07	2.52
	120 menit	18.67	17.54
	180 menit	16.98	25.00
F'c 35	60 menit	15.84	28.84
	120 menit	14.15	36.43
	180 menit	10.19	54.22

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan visual nilai kuat tekan pada beton normal dan beton yang telah melalui proses pembakaran. Hasil tersebut menunjukkan penurunan disebabkan oleh kerusakan mikrostruktur beton pada suhu tinggi, seperti dehidrasi gel C–S–H, pelemahan zona transisi agregat–pasta, perbedaan ekspansi termal, serta pembentukan retak akibat tekanan uap, sehingga kekuatan beton berkurang secara signifikan.

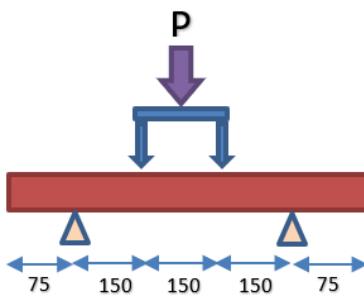


Gambar 6. Hasil kuat tekan beton silinder Normal vs Pembakaran

Adapun penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Dewi S.U. (2021) menunjukkan kuat tekan beton pascapembakaran 3 jam untuk mutu f'_c 25 MPa adalah 15.76 MPa dan f'_c 30 MPa sebesar 16.82 MPa. Sementara itu, penelitian makalah ini memperoleh nilai 10.19 MPa pada mutu f'_c 25 MPa dan 16.98 MPa pada mutu f'_c 30 MPa. Melihat perbandingan dengan hasil penelitian terdahulu, kuat tekan mutu 25 MPa pada penelitian ini lebih rendah sekitar 35%, sedangkan mutu 30 MPa menunjukkan peningkatan kecil sekitar 1%. Perbedaan ini diantaranya dipengaruhi variasi kualitas material, karakteristik campuran, serta kondisi pemanasan yang dapat memengaruhi tingkat kerusakan termal pada beton.

3.6 Hasil Uji Kuat Lentur Beton Normal dan Pasca bakar

Uji kuat lentur dilaksanakan pada benda uji balok berukuran $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ yang telah dirawat selama 28 hari. Proses pengujian memanfaatkan alat uji tekan (*compression machine*) untuk menentukan besarnya kuat lentur beton berdasarkan hubungan antara beban maksimum yang diterima oleh balok dan momen lentur yang terjadi. Seperti skema pengujian pada Gambar 7, nilai P_{\max} yang diperoleh dari mesin uji tekan digunakan untuk menentukan kuat lentur masing-masing benda uji.



Gambar 7. Skema pengujian kuat lentur beton

Tabel 11. Kuat lentur rata-rata beton normal

Mutu Beton	Umur(Hari)	Hasil Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
f'_c 25	28	2.53
f'_c 30	28	3.33
f'_c 35	28	3.67

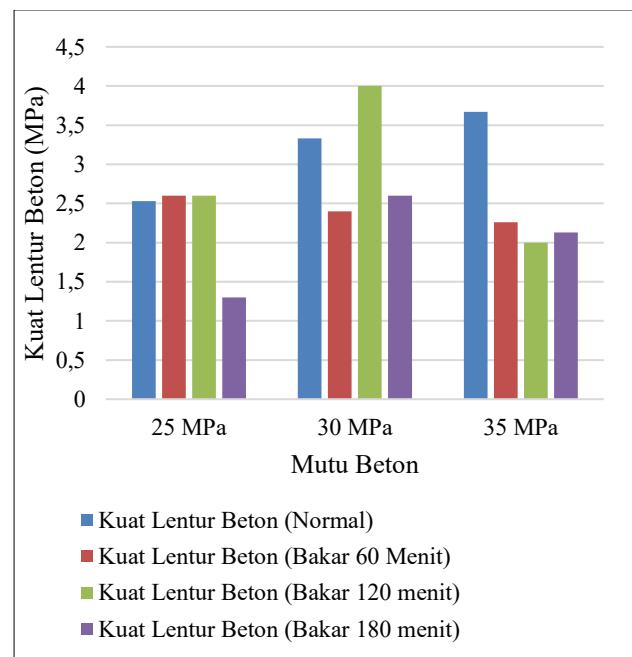
Hasil pengujian kuat lentur yang ditampilkan pada Tabel 11 terlihat nilai rata-rata kuat lentur meningkat seiring dengan peningkatan mutu beton, yaitu 2.53 MPa untuk f'_c

= 25 MPa, 3.33 MPa untuk f'_c = 30 MPa, dan 3.67 MPa untuk f'_c = 35 MPa. Data ini menunjukkan kuat lentur berhubungan langsung dengan kuat tekan beton, di mana mutu beton yang lebih tinggi menghasilkan kemampuan lentur yang lebih baik.

Tabel 12. Hasil kuat lentur beton pasca bakar

Mutu Beton	Waktu Pembakaran	Kuat Lentur Beton (MPa)	% Penurunan
f'_c 25	60 menit	2.6	2.77
	120 menit	2.6	5.14
	180 menit	1.3	10.67
f'_c 30	60 menit	2.4	21.92
	120 menit	4	20.12
	180 menit	2.6	39.94
f'_c 35	60 menit	2.26	64.58
	120 menit	2	29.16
	180 menit	2.13	41.96

Perbandingan data visual berupa grafik batang antara kuat lentur beton normal dan pasca bakar dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil kuat tekan lentur beton Normal vs Pembakaran

Hasil pengujian kuat lentur dapat menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekuatan setelah pembakaran dibandingkan kondisi awal pada semua mutu beton terlihat pada Tabel 12. Pada beton mutu 25 MPa, penurunan kuat lentur berkisar antara 2.77% hingga 10.67%, sedangkan pada mutu 30 MPa penurunan mencapai 21.92% hingga 39.94%. Beton mutu 35 MPa mengalami penurunan paling besar, yaitu antara 29.16% hingga 64.58%. Data tersebut memperlihatkan bahwa semakin tinggi mutu beton dan semakin lama waktu pembakaran, maka persentase penurunan kuat lentur semakin besar akibat kerusakan mikrostruktur.

3.7 Hasil Pengujian *Hammer Test* Beton Normal dan Pasca bakar

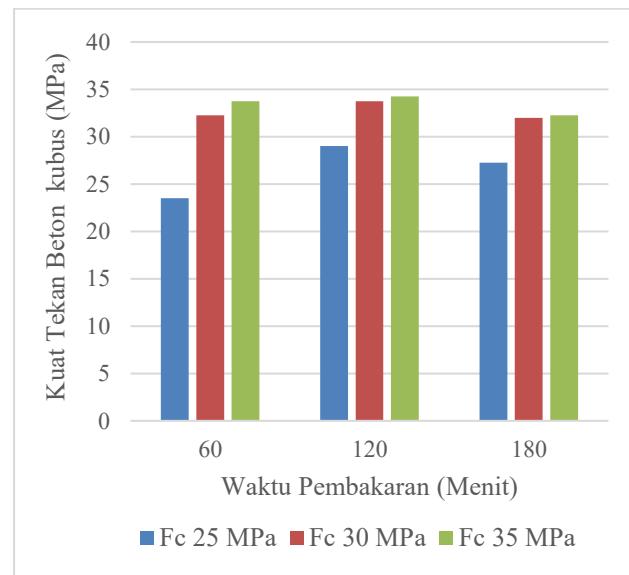
Selanjutnya pengujian dilakukan menggunakan alat *hammer test* pada lapisan permukaan beton. Pengujian ini bertujuan untuk menilai mutu beton setelah mengalami proses pembakaran, baik pada benda uji berbentuk silinder maupun balok. Proses yang sederhana membuat pengujian dengan alat ini berlangsung sangat cepat, sehingga terlihat mampu mencakup area pengujian yang luas dalam waktu singkat [9]. Titik pengujian pada benda uji silinder dilakukan pada bagian sisi atas dan bawah. Sedangkan pada benda uji balok, pengujian dilakukan pada bagian sisi samping di ujung balok untuk memperoleh hasil yang representatif terhadap kondisi permukaan beton pasca pembakaran. Pengujian menilai kekerasan beton dengan mengukur jarak pantulan massa terkalibrasi yang ditembakkan oleh pegas ke permukaan beton. [10].

Tabel 13. Hasil pengujian *hammer test* untuk benda uji balok

Mutu Beton	Waktu Pembakaran	Hammer Test (MPa)
F'c 25	60 menit	23.50
	120 menit	29.00
	180 menit	27.25
F'c 30	60 menit	32.25
	120 menit	33.75
	180 menit	32.00
F'c 35	60 menit	33.75
	120 menit	34.25
	180 menit	32.25

Pada Tabel 13 dapat dilihat hasil uji *hammer test* pada benda uji balok menunjukkan bahwa untuk beton mutu 25 MPa diperoleh nilai rata-rata 23.5 MPa (60 menit), 29 MPa

(120 menit), dan 27.25 MPa (180 menit). Beton mutu 30 MPa memiliki nilai 32.25 MPa, 33.75 MPa, dan 32 MPa, sedangkan beton mutu 35 MPa sebesar 33.75 MPa, 34.25 MPa, dan 32.25 MPa untuk durasi yang sama. Pada Gambar 9 terlihat melalui perbandingan grafik batang bahwa beton mutu 25 MPa dan 30 MPa memiliki nilai *hammer test* yang lebih tinggi dari mutu rencana, sedangkan beton mutu 35 MPa mengalami sedikit penurunan akibat paparan suhu tinggi. Hasil tersebut menunjukkan perubahan kekerasan permukaan beton setelah pembakaran, di mana dehidrasi pasta semen, retak mikro, dan pelemahan ikatan agregat–pasta memengaruhi respons pantulan.



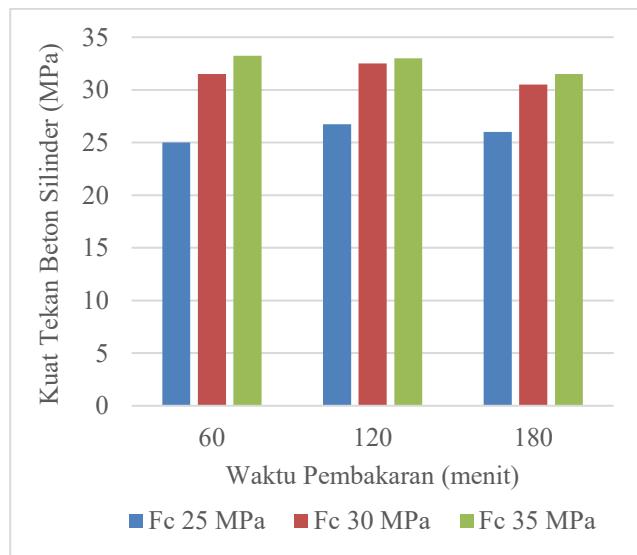
Gambar 9. Hasil pengujian *hammer test* benda uji balok pasca pembakaran

Pada kondisi benda uji silinder seperti yang terlihat pada Tabel 14 menunjukkan bahwa beton mutu 25 MPa memiliki nilai rata-rata 25 MPa (60 menit), 26.75 MPa (120 menit), dan 26 MPa (180 menit). Beton mutu 30 MPa menunjukkan nilai 31.5 MPa, 32.5 MPa, dan 30.5 MPa, sedangkan beton mutu 35 MPa sebesar 33.25 MPa, 33 MPa, dan 31.5 MPa untuk durasi yang sama. Secara keseluruhan, durasi pembakaran yang lebih lama cenderung menurunkan nilai *hammer test*, yang mengindikasikan berkurangnya kekerasan permukaan beton akibat kerusakan mikrostruktur pada suhu tinggi.

Tabel 14. Hasil pengujian *hammer test* untuk benda uji Silinder

Mutu Beton	Waktu Pembakaran	Hammer Test (MPa)
F'c 25	60 menit	25.00
	120 menit	26.75
	180 menit	26.00
F'c 30	60 menit	31.50
	120 menit	32.50
	180 menit	30.50
F'c 35	60 menit	33.25
	120 menit	33.00
	180 menit	31.50

Hasil dari Tabel 14 disajikan dalam bentuk grafik batang seperti Gambar 10 untuk memudahkan visualisasi dan menjelaskan perbandingan nilai *hammer test* pada setiap mutu beton.



Gambar 10. Hasil pengujian *hammer test* benda uji silinder pasca pembakaran

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, kuat lentur, dan hammer test terhadap beton yang mengalami perlakuan pembakaran, didapat kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Kuat tekan beton meningkat hingga umur 28 hari karena hidrasi yang semakin sempurna. Setelah pembakaran 60, 120, dan 180 menit, kuat tekan turun sebesar 38.86%, 47.56%, dan 49.05% (25 MPa); 2.52%, 17.54%, dan 25.00% (30 MPa);

serta 28.84%, 36.43%, dan 54.22% (35 MPa). Penurunan ini terjadi akibat pemuaian berbeda antar material, hilangnya kerapatan pori, dan melemahnya struktur beton pada suhu tinggi.

- (2) Kuat lentur beton juga meningkat hingga umur 28 hari, namun menurun setelah pembakaran. Penurunan berturut-turut adalah 2.77%, 5.14%, 10.67% (25 MPa); 21.92%, 20.12%, 39.94% (30 MPa); dan 29.16%, 41.96%, 64.58% (35 MPa). Hal ini disebabkan oleh hilangnya air terikat, melemahnya ikatan semen-agregat, dan retak termal.
- (3) Uji *hammer test* pada balok dan silinder menghasilkan nilai pantulan 23.5–34.25 MPa, dengan pola peningkatan awal lalu penurunan pada durasi pembakaran lebih lama. Fluktuasi ini terjadi karena perubahan kekerasan permukaan beton, sementara *hammer test* hanya mengukur lapisan luar, bukan kekuatan internal.
- (4) Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama durasi pembakaran, semakin besar kerusakan partikel beton yang terjadi, sehingga kemampuan beton dalam mempertahankan kestabilan struktural pada kondisi suhu ekstrim semakin menurun.
- (5) Durasi dan intensitas paparan panas merupakan faktor kritis yang harus diperhatikan dalam perancangan beton pada lingkungan bersuhu tinggi agar performa dan durabilitas material tetap optimal.

Daftar Pustaka

- [1] S. Arjuna, Y. P. P, and E. Rati, "Uji durabilitas beton normal setelah perendaman dalam air laut dan pembakaran pada suhu tinggi," vol. 8, no. 2, pp. 66–72, 2025.
- [2] D. Apriansyah, E. R. Hariza, and J. T. Sipil, "Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pasca Bakar dan Pasca Bakar pada," vol. 4, no. 3, pp. 3564–3576, 2019.
- [3] A. Latip, "Analisa Kinerja Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran," *INTEK J. Penelit.*, vol. 3, no. 2, pp. 91–101, 2016, doi: 10.31963/intek.v3i2.58.
- [4] K. Kadriani, J. Jasman, and M. Mustakim, "Studi Karakteristik Beton Pasca Kebakaran," *J. Konstr.*, vol. 22, no. 2, pp. 40–49, 2024, doi: 10.33364/konstruksi.v22-2.1634.
- [5] S. U. Dewi, F. H. Jaya, and M. A. Khairil, "Analisis Sifat Fisik Dan Mekanis Beton Pasca Bakar," *TAPAK*

- (*Teknologi Apl. Konstr. J. Progr. Stud. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 1, p. 74, 2021, doi: 10.24127/tp.v11i1.1796.
- [6] C. D. Agnantasya, Q. Qomariah, and A. D. Lestari, “Pengaruh Serat Kawat Bendrat Pada Beton Normal Terhadap Performa Beton (Kuat Tekan Dan Kuat Lentur),” *J. Online Skripsi Manaj. Rekayasa Konstr.*, vol. 5, no. 3, pp. 118–124, 2024, doi: 10.33795/josmrk.v5i3.4289.
 - [7] M. Bohori and S. Wiyono, “Analisis Struktur Pasca Bakar Menggunakan Flex Tape Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Beton FC ’ 20 MPA,” *Univ. Islam Riau*, vol. 01, pp. 37–48, 2024.
 - [8] S. asria Nanda, D. Sarana, and M. Z. Yaqin, “Pengaruh Substitusi Pasir Pozzolan Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Pasca Bakar Dengan Dan Tanpa Perendaman,” *Teras J. J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 391–400, 2019, doi: 10.29103/tj.v8i2.162.
 - [9] V. S. Karundeng, S. E. Wallah, and R. Pandaleke, “Penerapan Metode Schmidt Hammer Test Dan Core Drilled Test Untuk Evaluasi Kuat Tekan Beton Pada Ruang Igd Rsgm Unsrat Guna Alih Fungsi Bangunan,” vol. 3, no. 4, pp. 221–227, 2015.
 - [10] W. I. Dharmawan, D. Oktarina, and M. Safitri, “Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton Menggunakan Hammer Test dan Compression Testing Machine terhadap Beton Pasca Bakar,” *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 22, no. 1, p. 35, 2016, doi: 10.14710/mkts.v22i1.12404.
 - [11] Aminuddin, K. M., Albimanzura, R. F. S., Wijaya, A., & Jimmyanto, H. (2022). Kajian Pemeriksaan Kondisi Struktur Bangunan Gedung Kantor Pratama Pajak Lubuk Linggau Pasca Kebakaran. Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER), 15(1), 35-39.
 - [12] Asmawi, B., Fuad, I. S., & Jimmyanto, H. (2023). Analisis Mutu Beton Terhadap Beton Pasca Bakar. *Jurnal Teknik Sipil LATERAL*, 1(1), 53- 59.
 - [13] Agus Setiawan (2016). Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan Ahmad, I.A.,2009, Analisis Pengaruh Temperature Terhadap Kuat Tekan Beton, Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas negeri Makasar
 - [14] Fuad, I. S., & Firda, A. (2013). Pengaruh Penambahan Polypropylene Fibres Terhadap Proses Curing Menggunakan Air Laut Dan Air Tawar Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Pada Mutu Beton K-175. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 1(2).