



Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pasca Bakar dan Pasca Bakar pada Suhu 400°C, 500°C, 600°C

Dayu Apriansyah¹, Yudia Pratidina.P², Elsa Rati Hariza³

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH Bengkulu

dayuapriansyah25@gmail.com¹, yudhiainfras@gmail.com², elsaratihariza@gmail.com³

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh suhu tinggi terhadap kuat lentur balok beton bertulang yang mengalami pembakaran pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Beton bertulang merupakan material utama dalam konstruksi, namun memiliki keterbatasan dalam ketahanan terhadap suhu ekstrem. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental di laboratorium menggunakan 12 benda uji balok beton bertulang berukuran 150×150×600 mm. Balok tersebut direndam dalam air selama 28 hari sebelum dilakukan pembakaran selama 30 menit pada suhu yang ditentukan. Uji kuat lentur dilakukan untuk masing-masing suhu serta satu kelompok kontrol (tanpa pembakaran). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat lentur beton menurun secara signifikan seiring peningkatan suhu. Balok kontrol memiliki kuat lentur rata-rata 27,566 MPa, sementara balok pasca pembakaran mengalami penurunan menjadi 24,910 MPa (400°C), 23,110 MPa (500°C), dan 20,284 MPa (600°C). Penurunan ini menunjukkan degradasi sifat mekanik akibat pengaruh suhu tinggi terhadap mikrostruktur beton dan baja tulangan. Penelitian ini memberikan gambaran penting terkait penilaian kelayakan dan keamanan struktur pasca kebakaran serta kontribusi terhadap pengembangan metode perkuatan beton bertulang di lingkungan ekstrem.

Kata kunci: Kuat Lentur, Beton Bertulang, Suhu Tinggi, Pembakaran, Durabilitas, Kebakaran, Perkuatan Struktur.

1. Pendahuluan

Beton bertulang merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan dalam konstruksi struktur bangunan, jembatan, dan infrastruktur lainnya karena mempunyai kekuatan yang baik dan relatif ekonomis. Namun salah satu kelemahan beton bertulang adalah kekuatannya menurun secara signifikan jika terkena suhu tinggi, seperti saat terjadi kebakaran. Paparan suhu tinggi dapat menyebabkan perubahan sifat fisik dan mekanik beton dan baja sehingga pada akhirnya menurunkan kapasitas lentur struktur beton bertulang. Menurut (Purinur and Walujodjati 2022) Beton bertulang sering dipakai pada elemen struktur bangunan salah satunya balok. Balok merupakan bagian dari sistem yang menahan gaya lateral biasanya merupakan komponen horizontal dalam rangka momen yang berfungsi untuk menahan lentur dan geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi.

Memaskan beton dengan api dapat menyebabkan perubahan mendasar pada sifat-sifatnya. Beton dapat retak, mengelupas, dan kehilangan kekuatannya. Hilangnya kekuatan karena perubahan bertahap pada komposisi kimia bubuk semen. Kebakaran dapat menimbulkan kekhawatiran akan runtuhnya bangunan karena bangunan tersebut tidak lagi dibangun dengan aman. Oleh karena itu, tulangan balok beton perlu diperkuat dengan memasang tambahan batang baja secara lateral untuk meningkatkan kuat lenturnya dan mengurangi resiko peningkatan retak. Pada suhu tinggi beton dapat mengalami degradasi akibat eksposur terhadap suhu tinggi, seperti yang terjadi dalam kebakaran. Penelitian yang sudah dilakukan oleh (Suryanita, Rahmadhan, and Kamaldi 2019) bahwa beton akan menjadi lemah dan mudah terdeformasi ketika terjadinya peningkatan temperatur. Beton yang terbakar hingga temperatur 300°C masih mempunyai kekuatan yang tersedia 82% dan pada temperatur 600°C kekuatan beton yang tersisa adalah 30%.

Beberapa peneliti sebelumnya telah mempelajari kekuatan lentur balok bertulang yang mengalami pembakaran suhu tinggi. Namun pengetahuan yang ada saat ini masih terbatas mengenai perbandingan kuat lentur balok dengan batang baja yang telah dibakar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat lentur balok beton bertulang melintang sebelum dan sesudah pembakaran pada suhu 400°C dan 500°C 600°C serta membandingkan kuat lentur balok beton bertulang dari uji laboratorium dan uji analitik. Fokus pengujian meliputi pengaruh kuat

lentur balok bertulang setelah terpapar kondisi ekstrem tersebut, dan apakah masih memenuhi persyaratan kelayakan penggunaan berdasarkan standar (SNI 2847: 2019)

2. Metode Penelitian

2.1.Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di **UPTD Laboratorium Pengujian Konstruksi dan Bangunan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Provinsi Bengkulu**. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang menunjukkan posisi laboratorium berdasarkan citra satelit dari Google Earth. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas pengujian beton yang memadai, termasuk tungku pembakaran berkapasitas tinggi, peralatan uji mekanis, serta area penyimpanan dan perawatan (curing) benda uji yang sesuai dengan standar pengujian.

2.2.Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data sekunder dan data primer.

1. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui studi literatur yang mencakup dokumen Standar Nasional Indonesia (SNI) yang relevan, jurnal penelitian terdahulu, serta referensi dari buku-buku teknik sipil. Data ini digunakan untuk memperkuat dasar teori, mendukung pembahasan, dan membandingkan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya.

2. Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung melalui serangkaian pengujian di UPTD Laboratorium. Proses pengambilan data primer dilakukan dengan menyiapkan, membuat, merawat, membakar, dan menguji sampel balok beton bertulang pada tiga variasi suhu pembakaran, yaitu 400°C, 500°C, dan 600°C. Data ini digunakan untuk menjawab hipotesis mengenai perubahan sifat mekanik beton akibat paparan suhu tinggi.

2.3.Persiapan Alat dan Bahan

2.3.1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Cetakan benda uji balok
- Timbangan digital
- Wadah dan kuas pembersih
- Batang pengaduk dan ayakan agregat
- Sendok semen
- Concrete mixer
- Saringan agregat
- Bak perendaman (curing tank)
- Tungku pembakaran kapasitas hingga 600°C
- Termometer dan thermokopel
- Blower pengatur suhu
- Dial LVDT dan load cell untuk pengujian lentur

2.3.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan terdiri dari:

- Semen Portland merek Gresik kemasan 50 kg, berfungsi sebagai pengikat agregat.
- Agregat kasar dari toko bangunan sekitar laboratorium, ukuran maksimum 19 mm.
- Agregat halus berupa pasir dari Sebelat, Bengkulu Utara.
- Air bersih yang diambil langsung dari fasilitas laboratorium.

2.4.Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Benda uji yang dibuat adalah balok beton bertulang berukuran 150 mm × 150 mm × 600 mm sebanyak 12 sampel untuk mengantisipasi kegagalan pengujian. Beton dicetak sesuai rancangan campuran (mix design) yang telah ditentukan.

Prosedur pembuatan benda uji:

1. Menimbang dan mencampur bahan sesuai mix design.
2. Menuangkan beton ke dalam cetakan dan memadatkan hingga homogen.
3. Membiarkan beton dalam cetakan selama 24 jam sebelum dilepaskan.
4. Melakukan perawatan (curing) dengan merendam balok beton dalam air bersih selama 28 hari.

Proses curing dilakukan dengan membungkus balok menggunakan karung basah dan menyiramnya setiap hari, untuk memastikan hidrasi semen berlangsung optimal. Setelah 28 hari, balok siap diberi perlakuan pembakaran.

2.5. Perlakuan Pembakaran

Pembakaran dilakukan di tungku pembakaran laboratorium yang dapat mencapai suhu 600°C, menggunakan termokopel untuk memantau suhu dan blower untuk mengatur sirkulasi panas.

- Suhu pembakaran: 400°C, 500°C, dan 600°C.
- Jumlah sampel per suhu: 3 balok beton bertulang.
- Lama pembakaran: 30 menit setelah suhu target tercapai.

Perlakuan ini bertujuan mensimulasikan kondisi kebakaran nyata, sehingga sifat mekanik beton setelah pembakaran dapat dianalisis secara representatif.

2.6. Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan satu hari setelah pembakaran untuk mengukur kemampuan balok dalam menahan beban lentur hingga patah. Pengujian dilakukan dengan metode pembebanan dua titik (two-point loading) sesuai standar (LENTUR, 1997).

Langkah-langkah pengujian:

1. Mengeringkan balok selama 24 jam setelah perendaman.
2. Membersihkan permukaan balok dari kotoran.
3. Menempatkan balok secara simetris di atas dua tumpuan.
4. Memasang dial LVDT dan load cell.
5. Memberikan pembebanan secara bertahap sambil merekam lendutan dengan data logger.
6. Mencatat beban maksimum dan mengamati pola retakan.

Kuat lentur dihitung dengan rumus:

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2} \quad \sigma_1 = \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2}$$

Keterangan:

- σ_1 = kuat lentur benda uji (MPa)
- PPP = beban maksimum (ton)
- lll = panjang bentang (mm)
- bbb = lebar balok (mm)
- hhh = tinggi balok (mm)

2.7. Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan Microsoft Excel untuk memperoleh hubungan antara suhu pembakaran dengan penurunan kuat lentur beton. Hasil analisis dibandingkan dengan literatur dan standar yang relevan, kemudian dibahas untuk menarik kesimpulan ilmiah.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Hasil Uji Material

Pada penelitian ini dilakukan pengujian material sebelum dilakukan proses mix design. Pengujian material ini dilakukan di Uptd Laboratorium Pengujian Konstruksi Dan Bangunan DPUPR Provinsi Bengkulu.

3.1.1. Analisis Saringan Butiran Agregat Kasar

Dalam proses saringan butiran agregat kasar dilakukan proses. Dalam proses yang dilakukan sebelum pemeriksaan agregat kasar melakukan proses ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis curah, berat jenis

kering muka (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air pada agregat kasar. Dari hasil yang di dapatkan, maka dapat di gunakan unruk mencari nilai berat jenis semu, berat jenis jenuh kering di permukaan dan penyerapan air persamaan-persaman berikut:

Tabel 4 1 Berat jenis peresapan ageregat kasar

Golongan	1A (IA)	2A (IIA)	3A (IIIA)	4A (IVA)	5A (VA)	6A (VIA)	7A (VIIA)	8A (VIIIA)
Periode 1	H							He
Periode 2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Periode 3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
Periode 4	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Periode 5	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Periode 6	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

Sumber : Pengolahan data 2025

$$\text{Berat jenis} = \frac{Bk}{Bj - Ba}$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{Bj}{Bj - Ba}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{BK}{BK - Ba}$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Dimana :

Bk = berat benda uji kering oven (gram).

Bj = berat benda uji jenuh kering permukaan (gram).

Ba = berat benda uji jenuh kering permukaan dalam air (gram).

3.1.2. Pemeriksaan Agregat Halus

Dalam proses yang di lakukan sebelum pemeriksaan agregat halus melakukan proses ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis curah, berat jenis kering muka (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air pada agregat halus.

Tabel 4 2 berat jenis agregat halus

No	Sifat Koligatif Larutan	ΔP (Tekanan Uap)	ΔTf (Titik Beku)	ΔTb (Titik Didih)	π (Tekanan Osmotik)
1	Ditentukan oleh jumlah partikel zat terlarut, bukan jenisnya	✓	✓	✓	✓
2	Makin besar konsentrasi zat terlarut, makin besar perubahan sifat koligatif	✓	✓	✓	✓
3	Berlaku untuk larutan ideal (pelarut + zat terlarut tidak saling bereaksi)	✓	✓	✓	✓
4	Makin besar jumlah partikel zat terlarut, makin besar penurunan tekanan uap	✓			
5	Makin besar jumlah partikel zat terlarut, makin besar penurunan titik beku		✓		
6	Makin besar jumlah partikel zat terlarut, makin besar kenaikan titik didih			✓	
7	Makin besar jumlah partikel zat terlarut, makin besar tekanan osmotik				✓

Sumber : Pengolahan data 2025

$$\text{Berat jenis} = \frac{Bk}{Bj - Ba}$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{Bj}{Bj - Ba}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{BK}{Bk - Ba}$$

$$\text{Penyerepan air} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Dimana :

Bk = berat benda uji kering oven (gram).

Bj = berat benda uji jenuh kering permukaan (gram).

Ba = berat benda uji jenuh kering permukaan dalam air (gram).

3.2.Mix Design

Pada penelitian ini untuk perencanaan campuran beton normal (Mix design) menggunakan acuan SNI (Nasional 2000) perencanaan campuran beton normal (Mix design) bertujuan untuk mendapatkan proporsi bahan material beton yang sesuai dengan nilai kuat lentur rencananya. Pada penelitian ini menggunakan nilai kuat lentur rencana 25 fs dengan pengujian dilakukan pada umur 28 hari

3.2.1. Nilai tambah (M)

Dalam proses perancangan dan pengujian campuran beton SNI-03-2838-2000 menetapkan deviasi standar sebesar 8,5, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4 3 nilai tambah

Kuat lentur yang disyaratkan f'_c (MPa)	Nilai tambah (MPa)
<21	7,0
21- 35	8,5
>35	10,0

Sumber : SNI-03-2838-200

Deviasi standar ini di tentukan berdasarkan nilai kuat lentur rencana awal yaitu 25 MPa.

3.2.2. Rencana kuat lentur

Rencana pengujian kuat lentur beton rata-rata adalah dengan menambahkan kuat lenturan beton yang direncanakan dan nilai tambahan (M) untuk mendapatkan target kuat lentur beton rata-rata yang diharapkan.

$$\text{Rumus : } f'_c = f'_c + M$$

$$f'_c = 25 + 8,5 = 33,5 \text{ MPa} = 403 \text{ Kg/cm}^2$$

Keterangan :

f'_c = Kuat lentur beton rata – rata (MPa)

f'_c = Kuat lentur beton rencana (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

3.2.3. Faktor Air Semen

Koefisien rasio air semen (FAS) diketahui kekuatan rata-rata beton yaitu 33,5MPa, kemudian masukan data pada gambar 4.1 diperkirakan kuat lentur beton sebesar 403 Kg/cm^2 dapat dicapai pada umur 28 hari dengan penggunaan semen tipe I, menghasilkan Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,46. Sesuai dengan persyaratan SNI-03-2834-2000 untuk berbagai jenis beton dalam lingkungan khusus, nilai maksimum FAS yang ditetapkan adalah 0,60.

3.2.4. Berat Jenis Agregat Campuran

Hasil pengujian di laboratorium UPTD laboratorium pengujian konstruksi dan bangunan menunjukkan bahwa berat jenis agregat halus dalam kondisi SSD adalah sebesar 2,63, sedangkan agregat kasar dalam kondisi SSD bernilai 2,74. Untuk menghitung berat jenis dari campuran agregat, dapat digunakan persamaan berikut.

Rumus :

$$\begin{aligned} \text{Bj Campuran} &= \frac{P}{100} \times Bj \text{ Ah} + \frac{K}{100} \times Bj \text{ AK} \\ &= \frac{30}{100} \times 2,741 + \frac{70}{100} \times 2,63 \\ &= 2,663 \end{aligned}$$

Keterangan :

BJ Campuran = Berat jenis agregat campuran.
Bj AH = Berat jenis agregat halus.
BJ AK = Berat jenis agregat kasar.
P dan K = Presentas agregat halus dan kasar terhadap campuran.

3.2.5. Berat Jenis Basah Beton

Perkiraan berat jenis beton basah ditunjukkan pada gambar 4.3. Nilai ini dapat dihitung berdasarkan kadar air bebas, kadar semen, serta berat jenis agregat campuran. Berdasarkan perhitungan, berat jenis beton basah diperkirakan sebesar 2360 Kg/cm³.

3.2.6. Kadar Agregat Halus Dan Agregat Kasar

1. Kadar agregat campuran

Rumus :

$$\begin{aligned} W \text{ Ag Camp} &= B_j \text{ beton} - W \text{ Semen} - W \text{ Air} \\ &= 2380 - 445,43 - 204,90 \\ &= 1729,67 \end{aligned}$$

Keterangan :

W Ag Camp = Berat agregat campuran (Kg/m³)
Bj beton = Berat jenis beton (Kg/m³)
W semen = Kadar semen (Kg/m³)
W air = Kadar air (l/m³)

2. Kadar agregat halus

Rumus :

$$\begin{aligned} \text{Ag halus} &= \frac{30}{100} \times W \text{ Ag camp} \\ &= \frac{30}{100} \times 1729,67 = 726,459 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Keterangan :

W Ag Camp = Berat jenis agregat campuran (Kg/m³)
Ag halus = Kadar agregat halus (Kg/m³)

3. Kadar agregat kasar

Rumus :

$$\begin{aligned} \text{Ag kasar} &= \frac{70}{100} \times W \text{ Ag camp} \\ &= \frac{70}{100} \times 1729,67 = 1003,21 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Keterangan :

W Ag Camp = Berat jenis agregat campuran (Kg/m³)
Ag kasar = Kadar agregat kasar (Kg/m³)

1. Untuk komposisi campuran beton untuk 3 balok

Tabel 4 4 komposisi kebutuhan 3 balok

Komposisi (tiga benda uji)	
Air	9,1283 liter
Semen	19,8441 kg/m ³
Agregat halus (pasir)	32,3638 kg/m ³
Agregat kasar (batu pecah)	44,6928 kg/m ³
Berat total	35,343

Sumber : Pengolahan data 2025

2. Untuk kebutuhan campuran beton untuk 12 balok

Tabel 4 5 komposisi kebutuhan 12 balok

Komposisi (dua belas benda uji)	
Air	36,5132 liter
Semen	79,3765 kg/m ³
Agregat halus (pasir)	125,455 kg/m ³
Agregat kasar (batu pecah)	178,771 kg/m ³
Berat total	424,372

Sumber : Pengolahan data 2025

Keterangan :

V = volume (m³)

P = panjang (mm)

L = lebar (mm)

T = tinggi (mm)

3.3.Hasil Uji Kuat Lentur

Penelitian ini bertujuan mengkaji kekuatan tekan beton berdasarkan (SNI-LENTUR 1997-2011). Metode yang digunakan adalah pengujian kuat tekan beton, dengan fokus membandingkan nilai kuat lentur beton setelah terpapar air laut dan pembakaran pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C. Studi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana beton mampu mempertahankan durabilitasnya di bawah kondisi lingkungan ekstrem.

Pengujian dilakukan pada 12 sampel beton berbentuk balok berukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm yang diuji pada umur 30 hari. Beton yang digunakan memiliki mutu rencana f's sebesar 25 MPa. Total ada tempat jenis spesimen yang diuji, di mana masing-masing jenis terdiri atas tiga sampel. Berikut ini hasil pengujian kuat lentur beton bertulang yang di peroleh di Uptd Laboratorium Pengujian Konstruksi Dan Bangunan Dpupr Provinsi Bengkulu.

Berdasarkan data hasil pengujian kuat lentur, diperoleh nilai kuat lentur beton yang telah mengalami perlakuan panas. Contoh perhitungan berikut menggunakan data benda uji beton yang telah dibakar pada suhu 400°C dan berumur 28 hari.

Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh nilai kuat lentur beton sebagai berikut:

$$F_s = \frac{P.L}{B.H^2}$$

$$F_s = \frac{1886,482 \times 45}{15.15^2} = \frac{84891,69}{3,375} = 25,15 \text{ MPa}$$

Keterangan:

Fs=Kuat lentur benda uji (MPa)

P=Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (Ton)

L=Jarak antara 2 (dua) garis perlétakan (mm)

B=Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

H=Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

3.3.1. Hasil Pengujian Beton Bertulang Normal

Dari pengujian kuat lentur beton bertulang yang tidak di perlakukan proses pembakaran. Didaptkan hasil rata – rata sebesar 27,566 MPa untuk kuat lentur bertulang. Untuk nilai kuat lentur benda uji balok bertulang pada table berikut:

Tabel 4 6 kuat lentur Normal

No	Tanggal		Umur	Berat	Isi	Luas	Slump	Kuat lent	Beban	Kuat lentur
	Dibuat	Ditest	Hari	(Gr)	(Cm ³)	(Cm ²)	(Cm)	(Kn)	(Kg)	(Mpa)
1	20-Apr	19-May	28	29.400	13.400	900	7	20,5	209.042	27.800
2	20-Apr	19-May	28	29.500	13.500	900	7	20,5	209.042	27.800
3	20-Apr	19-May	28	29.500	13.500	900	7	20	2039,44	27.100

Sumber : Pengolahan data 2025

Dari tabel yang disajikan, terlihat bahwa nilai kuat lentur beton normal untuk setiap benda uji pada umur 28 hari adalah sama, yaitu 27,556 MPa. Namun, perlu dicatat bahwa mutu beton ini memenuhi mutu rencana awal yaitu F_s 25 MPa.

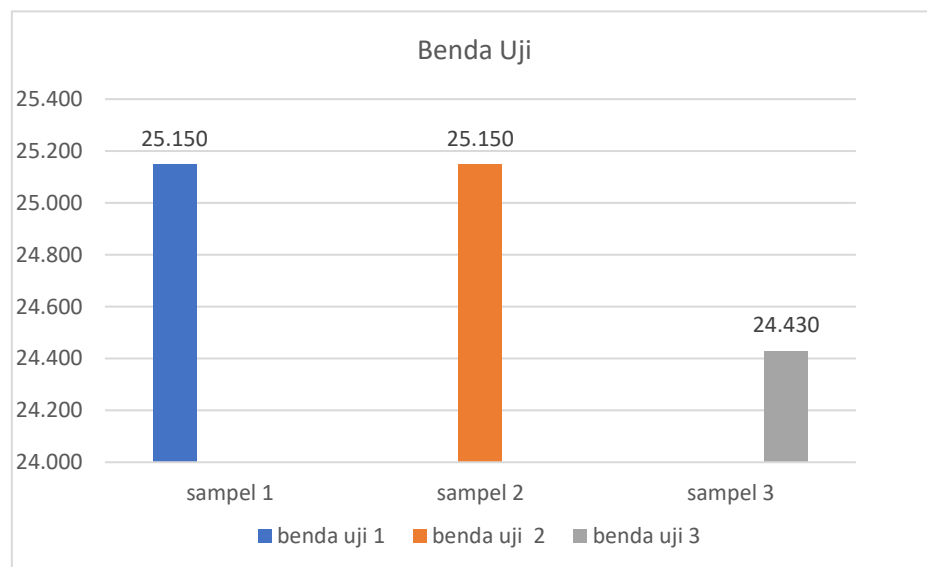
3.3.2. Hasil Pengujian Beton Bertulang Pasca Bakar Pada Suhu 400°C

Dari pengujian kuat lentur beton bertulang yang dilakukan proses pembakaran pada suhu 400°C. Didapatkan hasil rata – rata sebesar 24,910 MPa untuk kuat lentur bertulang. Untuk nilai kuat lentur benda uji balok bertulang pada tabel berikut:

Tabel 4.7 Hasil uji kuat tekan beton pasca bakar pada suhu 400°C

No	Sifat Koligatif Larutan	ΔP (Tekanan Uap)	ΔT_f (Titik Beku)	ΔT_b (Titik Didih)	π (Tekanan Osmotik)
1	Ditentukan oleh jumlah partikel zat terlarut, bukan jenisnya	✓	✓	✓	✓
2	Makin besar konsentrasi zat terlarut, makin besar perubahan sifat koligatif	✓	✓	✓	✓
3	Berlaku untuk larutan ideal (pelarut + zat terlarut tidak saling bereaksi)	✓	✓	✓	✓
4	Makin besar jumlah partikel zat terlarut, makin besar penurunan tekanan uap	✓			
5	Makin besar jumlah partikel zat terlarut, makin besar penurunan titik beku		✓		
6	Makin besar jumlah partikel zat terlarut, makin besar kenaikan titik didih			✓	
7	Makin besar jumlah partikel zat terlarut, makin besar tekanan osmotik				✓

Sumber : Pengolahan data 2025



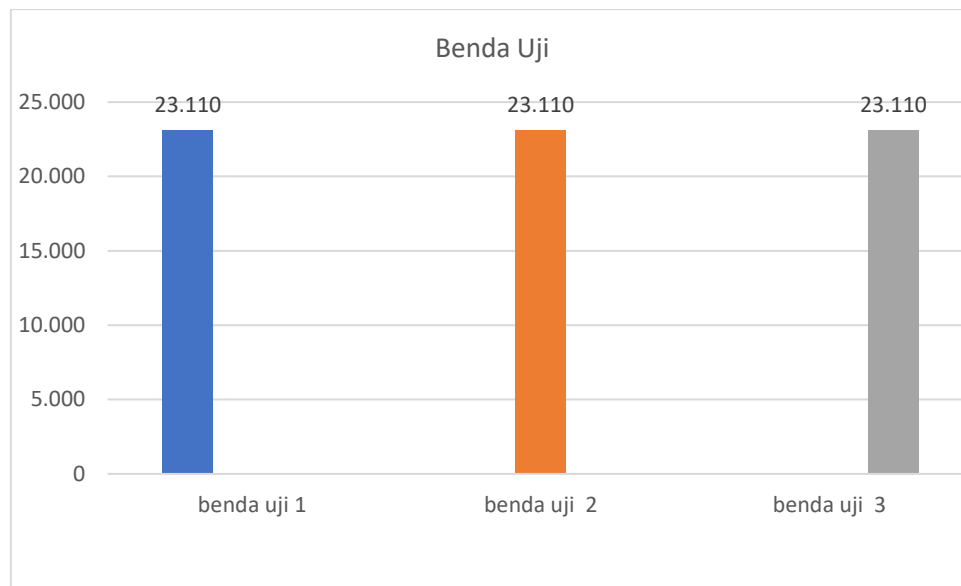
Gambar 4. 1 Grafik hasil uji kuat tekan beton pasca bakar pada suhu 400°C

Sumber : Pengolahan data 2025

Dari tabel dan grafik yang disajikan, terlihat bahwa nilai kuat lentur beton normal untuk setiap benda uji pada umur 28 hari adalah sama, yaitu 24,910 MPa. Namun, perlu dicatat bahwa mutu beton ini memenuhi mutu rencana awal yaitu F_s 25 MPa.

3.3.3. Hasil Pengujian Beton Bertulang Paska Bakar 500°C

Dari pengujian kuat lentur beton bertulang yang di perlakukan proses pembakaran pada suhu pada 500°C.

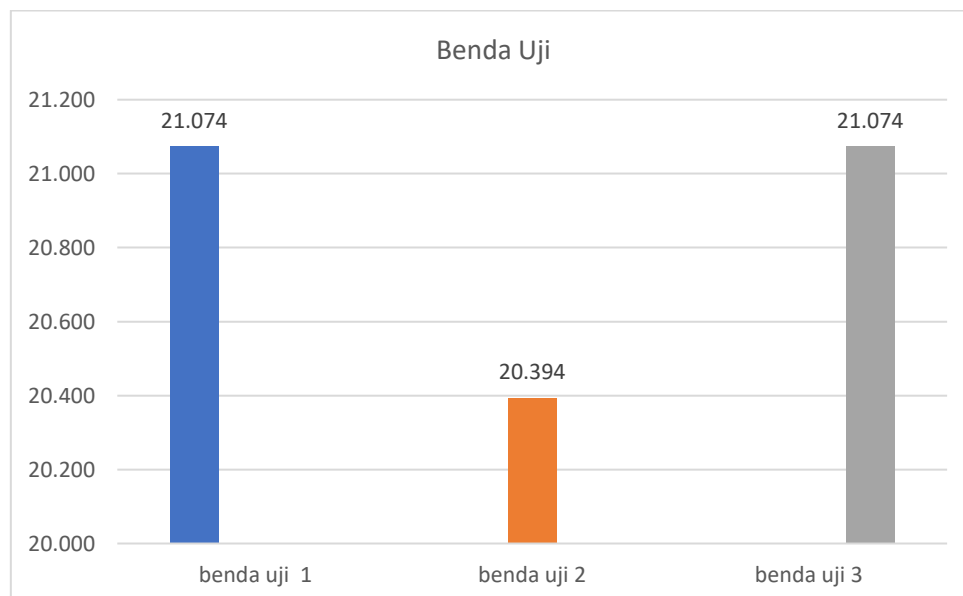


Gambar 4 1 Grafik hasil uji kuat lentur beton pasca bakar pada suhu 500°C
Sumber : Pengolahan data 2025

Dari grafik yang disajikan, terlihat bahwa nilai kuat lentur beton normal untuk setiap benda uji pada umur 28 hari adalah sama, yaitu 23,110 MPa. Namun, perlu dicatat bahwa mutu beton ini tidak memenuhi mutu rencana awal yaitu F_s 25 MPa.

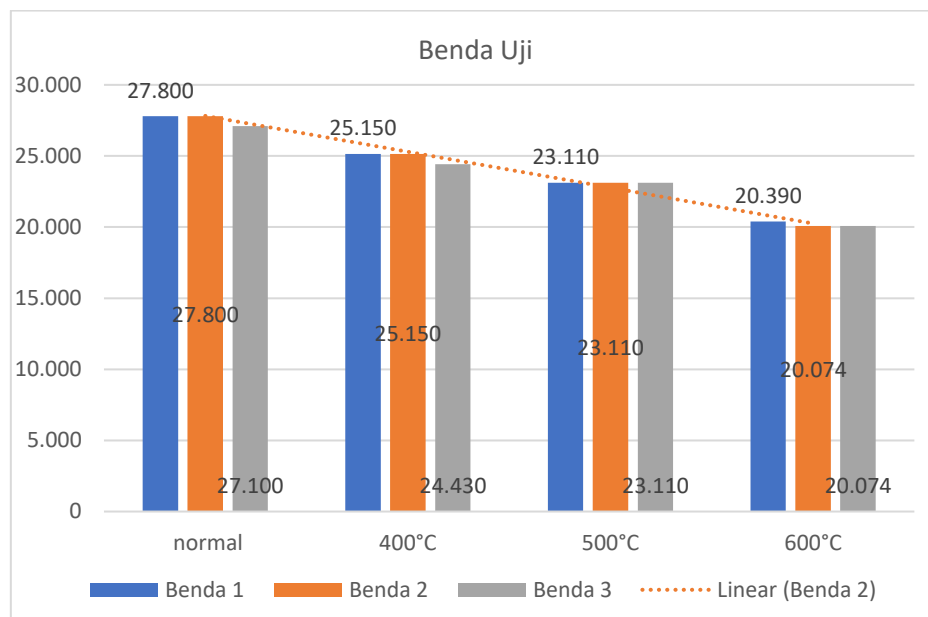
3.3.4. Hasil Pengujianbeton Bertulang Paska Bakar 600°C

Dari pengujian kuat lentur beton bertulang yang di perlakukan proses pembakaran pada suhu pada 600°C. Didaptkan hasil rata – rata sebesar 20,284 MPa untuk kuat lentur bertulang.



Gambar 4 2Grafik hasil uji kuat lentur beton pasca bakar pada suhu 600°C
Sumber : Pengolahan data 2025

3.3.5. Perbandingan Kuat Lentur



Gambar 4 3 Grafik Perbandingan Kuat lentur Beton

Sumber : Pengolahan data 2025

Berdasar hasil yang sudah dapat kuat lentur beton bertulang di dapat kan nilai rata – rata sebagai berikut : beton normal sebesar 27,566 MPa , di suhu bakar 400°C sebesar 24,910 MPa , di suhu bakar 500°C sebesar 23,110 , di suhu bakar 600°C sebesar 20,284 MPa

Berdasarkan nilai-nilai tersebut, grafik persentase penurunan mutu yang terjadi pada masing-masing spesimen disajikan sebagai berikut:



Gambar 4 4 Grafik Persentase Penurunan Kuat lentur Beton

Sumber : Pengolahan data 2025

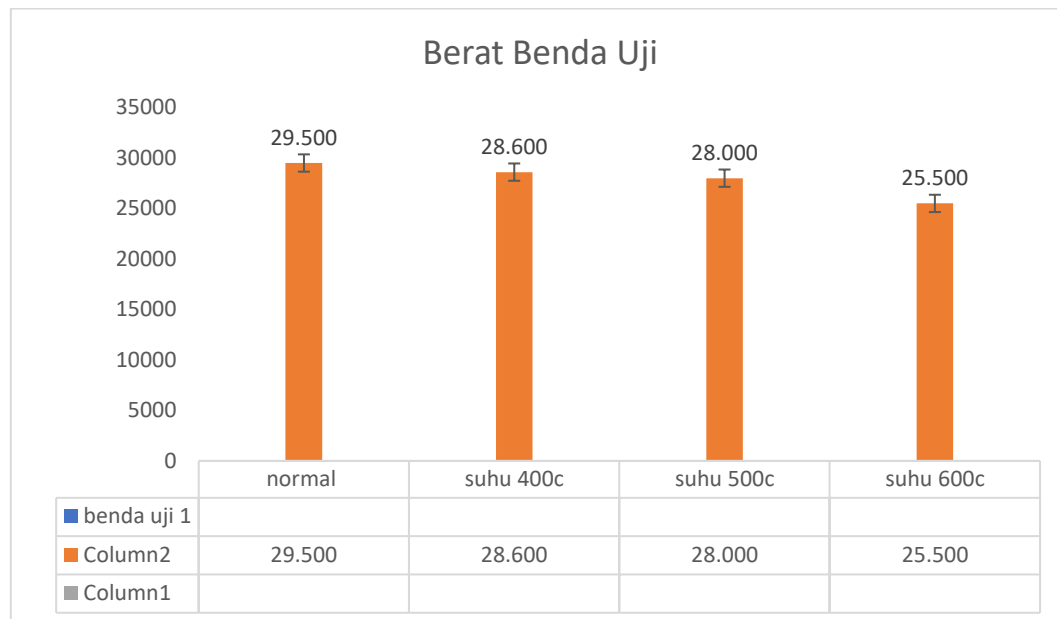
Berdasarkan grafik tersebut beton bertulang terbakar di suhu 400°C mengalami penurunan kuat tekan sebesar 10%, suhu bakar 500c mengalami penurunan kuat tekan sebesar 16%, suhu bakar 600c mengalami penurunan kuat tekan sebesar 26%.

3.4. Hasil Berat Benda Uji

Berdasarkan berat jenis ukuran kepadatan beton yang dihasilkan dari perbandingan antara massa beton dengan volume yang ditempati. Dari pengujian yang dilaksanakan di Uptd Laboratorium Pengujian Konstruksi Dan Bangunan Dpupr Provinsi Bengkulu, hasil beton yang didapatkan adalah sebagai berikut :

No	beton (kg/cm ³)			
	Normal	suhu 400c	suhu 500c	suhu 600c
1	29,500	28,600	28,000	25,500

Sumber : Pengolahan data 2025



Gambar 4 5 Grafik Nilai Beton

Sumber : Pengolahan data 2025

Berdasarkan tabel dan grafik, kuat lentur beton normal yang tidak terpapar suhu panas tercatat sebesar 29.500 kg/cm³. Sementara itu, beton yang terpapar suhu 400°C menunjukkan tercatat sebesar 28,600 kg/cm³, Sementara itu, beton yang terpapar suhu 500°C menunjukkan tercatat sebesar 28,000 kg/cm³, Sementara itu, beton yang terpapar suhu 600°C menunjukkan tercatat sebesar 25,500 kg/cm³.

3.5. Analisis Durasibilitas

Dalam penelitian ini, durabilitas beton normal dikaji setelah melewati dua tahapan perlakuan perendaman dalam air selama 28 hari, dan pembakaran selama 30 menit pada suhu 400°C, 500°C, serta 600°C. Analisis difokuskan pada dua indikator utama kuat lentur dan berat jenis beton. Berikut hasil dari kuat lentur dan berat jenis beton :

3.5.1. Analisa Kuat Lentur

Beton bertulang menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat lentur rata-rata 27.800 MPa. Namun, setelah diberi perlakuan perendaman air 28 hari dan pembakaran, nilai kuat lentur mengalami perubahan signifikan, seperti yang dapat dilihat pada data berikut:

1. 400°C: 24,910 MPa (penurunan 10%)
2. 500°C: 23,110 MPa (penurunan 16%)
3. 600°C: 20,284MPa (penurunan 26%)

Seiring dengan peningkatan suhu pembakaran, kuat lentur beton mengalami penurunan yang signifikan. Fenomena ini menegaskan bahwa suhu tinggi menjadi faktor pemicu utama percepatan kerusakan pada beton.

3.5.2. Analisa Penurun Berat Beton

Melalui hasil pengujian berat beton, dapat diamati bahwa nilai-nilai yang dicatat, Diliat dibahwa sebagai berikut:

1. Normal: 29,800 kg/cm³

2. 400°C : 28,600 kg/cm³
3. 500°C : 28,000 kg/cm³
4. 600°C : 25,500 kg/cm³

Penurunan pada suhu 400°C di sebabkan akan melihat penurunan berat yang moderat di sebabkan pengupuan air bebas dan mulai terjadi retaka kecil, pada suhu 500°C dan 600°C pelepasan air terikat serta kerusakan gel C-S-H yang berperan sebagai pengikat utama pada semen, menyebabkan pelepasan massa tanpa pengurangan volume yang sebanding, sehingga berat menurun.

3.6.Dampak Suhu Tinggi pada Durabilitas Beton

Untuk mendapat Durabilitas beton mengacu pada kemampuannya untuk mempertahankan kualitasnya secara signifikan saat terpapar lingkungan agresif. Dalam penelitian ini, kami menguji durabilitas beton diuji berdasarkan dua indikator utama, kuat lenturnya dan berat benda. Pengujian dilakukan setelah beton direndam dalam air selama 28 hari, kemudian dibakar selama 30 menit pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C.

Hasil pengujian menunjukkan penurunan signifikan kuat lentur beton setelah perlakuan. Kuat lentur beton normal yang awalnya 27,566 MPa, turun menjadi 24,910 MPa pada suhu 400°C. Penurunan berlanjut hingga 23,110 MPa pada 500°C, dan mencapai 20,284 MPa pada 600°C. Penurunan ini diakibatkan oleh kerusakan ikatan antar partikel semen akibat panas, serta pengaruh ion klorida dari air yang meresap ke dalam beton.

Berat beton juga menurun seiring peningkatan suhu. Beton normal memiliki berat 29,500 g/cm³. Namun, setelah dibakar, beratnya berkurang menjadi 900 g/cm³ pada 400°C, 1,500 g/cm³ pada 500°C, dan 4,000 g/cm³ pada 600°C. Penurunan berat ini menunjukkan hilangnya massa akibat pengupuan air dan kerusakan struktur mikro beton.

Berdasarkan dua indikator, terlihat adanya korelasi negatif antara kombinasi perendaman dalam air dan pembakaran suhu tinggi dengan durabilitas beton. Semakin tinggi suhu pembakaran, semakin besar pula degradasi mekanis dan fisik yang dialami beton.

4. Kesimpulan

Menurut pada di peroleh di Uptd Laboratorium Pengujian Konstruksi Dan Bangunan Dpupr Provinsi Bengkulu dan di Analisa yang dilakukam terhadap durabilitas beton bertulang normal setelah perendaman dalam air selama 28 hari dan pembakaran pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut: 1). Hasil pengujian menunjukkan penurunan signifikan kuat lentur beton setelah perlakuan. Kuat lentur beton normal yang awalnya 27,566 MPa, turun menjadi 24,910 MPa pada suhu 400°C. Penurunan berlanjut hingga 23,110 MPa pada 500°C, dan mencapai 20,284 MPa pada 600°C. Penurunan ini diakibatkan oleh kerusakan ikatan antar partikel semen akibat panas, serta pengaruh ion klorida dari air yang meresap ke dalam beton, 2). Beton normal yang tidak terpapar suhu panas tercatat sebesar 29.500 kg/cm³. Sementara itu, beton yang terpapar suhu 400°C menunjukkan tercatat sebesar 28,600 kg/cm³, Sementara itu, beton yang terpapar suhu 500°C menunjukkan tercatat sebesar 28,000 kg/cm³,Sementara itu, beton yang terpapar suhu 600°C menunjukkan tercatat sebesar 25,500 kg/cm³, 3). Durabilitas atau ketahanan beton terhadap suhu tinggi mulai menurun secara signifikan pada suhu di atas 400°C. Pada suhu 400°C, beton masih mempertahankan kekuatan yang cukup baik, namun pada suhu 500°C dan 600°C, beton mengalami penurunan kuat lentur dan massa yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa sifat mekanik beton sangat dipengaruhi oleh suhu tinggi, 4). Beton yang terpapar suhu 400°C masih dapat dipertimbangkan untuk digunakan kembali setelah dilakukan evaluasi kondisi fisik dan mekanik secara menyeluruh. Beton yang terpapar suhu 500°C dan 600°C menunjukkan degradasi yang signifikan sehingga tidak direkomendasikan untuk digunakan kembali tanpa dilakukan perkuatan atau penggantian komponen structural, 5). Metode eksperimen yang dilakukan dalam penelitian ini, mulai dari proses perawatan (curing), pembakaran, hingga pengujian kuat lentur, telah memberikan hasil yang sesuai dengan fenomena umum degradasi beton akibat suhu tinggi sebagaimana disampaikan dalam literatur dan penelitian terdahulu.

Referensi

1. Badan Standardisasi Nasional. Sni 2847-2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
2. Derlean, Abdullah. (2009). Pengaruh Suhu Dan Lama Pemanasan Terhadap Perubahan Karakteristik Beton Paska Bakar.
3. Hastono, K Budi (2013). Penggunaan Baja Ringan (Cold-Formed) Type Hollow Sebagai Tulangan Pada Balok Beton Bertulang Dalam Memikul Beban Lentur. Jurnal Teknik Sipil KERN.
4. Indonesia, S. N. (1997). Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Nomor 03-4431-1997. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
5. Indonesia, S. N. (2013). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Sni, 2847, 2013.
6. PAMUNGKAS, A. F. A. (2021). Pengaruh Penggunaan Wiremesh Bentuk Persegi Terhadap Kuat Lentur Dan Geserbeton Bertulang.

7. Pangestuti, E. K., & Prihanantio, J. (2008). ANALISIS KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN CARBON FIBER WRAP. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 10(1), 13-20.
8. PBI (1997). Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
9. Pekerjaan, Menteri Dan, Umum Rakyat, Perumahan (2020). PENGGUNAAN SEMEN NON ORDINARY PORTLAND CEMENT PADA PEKERJAAN KONSTRUKSI DI KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT. INSTRUKSI MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT NOMOR: 04/IN/M/2020.
10. Prasetyo, T., & Listiyani, S. P. (2000). Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pasca Bakar dengan Perbaikan Pasta Semen.
11. Santoso, Nicodemus Chaidir, Dan Makarim, Anwar (2022). Studi Perbandingan Tekanan Lateral Dan Vertikal di Atas Tanah Sedang Dan Tanah Sangat Lunak. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*,
12. Silaban, R. S. ANALISIS PENGARUH PENINGKATAN TEMPERATUR (PASCA BAKAR) TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL.
13. Siti, R., Purinur, R., & Walujodjati, E. *Pengujian Kuat Lentur dan Geser Balok Beton dengan Bundel Tulangan*.
14. SNI 2847 (2019). Pelaksanaan pekerjaan beton untuk jalan dan jembatan. Badan Penelitian dan Pengembangan PUPR.
15. Sulfanita, A., Fadly, I., Syahril, M., & Ruslan, A. S. N. (2023). Studi Eksperimen Pengujian Kuat Tekan Beton Pasca Bakar terhadap Beton Normal. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 23(2), 1199-1205.
16. Surjandari, N. S., Fitri, S. N., Djarwanti, N., Purwana, Y. M., Setiawan, B., Indrabaskara, R. H. D. H., & Prakosa, B. B. (2021). Kajian Potensi Kembang Susut Tanah Ekspansif Di Beberapa Wilayah Solo Raya.
17. Suryanita, R., Rahmadhan, W., & Kamaldi, A. (2019). Pemodelan Perilaku Tegangan dan Regangan Beton pada Suhu Tinggi dengan Software LUSAS. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(1), 115-122.
18. Tumaadir, A. B., Ashad, H., Rahman, M. J., & BP, M. S. (2023). Kajian Kapasitas Lentur Balok Beton Dengan Perkuatan Luar. *Jurnal Flyover*, 2(2), 136-146.
19. Umum, K. P., & Rakyat, P. (2022). Buku Saku Petunjuk Konstruksi Sanitasi. *Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*