

KUAT TEKAN DAN DURABILITAS BETON SETELAH TERPAPAR SUHU TINGGI 400°C, 500°C, 600°C

Abu Dzar Al Amin^{1*}, Muhammad Nasir², Hendro Widarto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, alabudzar708@gmail.com

ABSTRAK

Meningkatnya angka kebakaran bangunan di Indonesia setiap tahun, terutama di kota-kota besar, menjadi acuan penelitian ini. Hal ini dapat mempengaruhi setiap konstruksi, termasuk struktur beton pada bangunan. Beton, yang memiliki kekuatan tekan dan durabilitas tinggi, dapat mengalami penurunan kinerja saat terpapar suhu tinggi akibat kebakaran, yang memicu perubahan fisik dan kimia seperti retak, kehilangan kelembaban, dan melemahnya ikatan semen-agregat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menilai pengaruh paparan suhu tinggi 400°C, 500°C, dan 600°C terhadap kuat tekan dan durabilitas beton dengan menggunakan metode eksperimental di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Parepare. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu pembakaran berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan dan durabilitas beton. Kuat tekan beton menurun dari 26,04 MPa pada kondisi normal menjadi 18,87 MPa pada 400°C, 13,02 MPa pada 500°C, dan 11,61 MPa pada 600°C. Sementara itu, durabilitas beton yang diukur melalui keausan meningkat dari 22,50% pada kondisi normal menjadi 29,43% pada 400°C, 37,71% pada 500°C, dan 40,98% pada 600°C, menunjukkan penurunan kualitas beton seiring bertambahnya suhu.

Kata kunci : beton, kuat tekan, durabilitas, suhu tinggi

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti manusia, alam, teknologi, bahan kimia, maupun kondisi lingkungan yang rentan. Peristiwa ini sulit diprediksi kapan dan di mana akan terjadi, namun dampaknya menimbulkan kerugian besar, terutama pada konstruksi bangunan [1]. Salah satu dampak utama kebakaran pada konstruksi bangunan beton adalah peningkatan suhu yang signifikan, sehingga menyebabkan perubahan mendasar pada sifat-sifat beton. Kondisi tersebut berakibat pada menurunnya kemampuan struktur dalam mendukung beban, bahkan pada kasus tertentu beton tidak lagi mampu menahan beban sehingga bangunan tidak dapat difungsikan sebagaimana mestinya [2]

Walaupun beton dikenal memiliki ketahanan api yang lebih baik dibandingkan material konstruksi lainnya, suhu tinggi akibat kebakaran tetap dapat memengaruhi sifat fisik maupun mekaniknya. Beton tidak menimbulkan api,

tetapi mampu menyerap panas berlebih yang kemudian memicu perubahan struktur internalnya. Tingkat kerusakan beton akibat kebakaran dipengaruhi oleh suhu dan lamanya pembakaran, kombinasi material penyusun, serta kondisi pembebanan saat peristiwa terjadi. Perubahan yang terjadi mencakup kerusakan fisik maupun penurunan kekuatan tekan dan tarik beton [3]. Oleh karena itu, permasalahan utama dalam menangani bangunan pasca kebakaran adalah menaksir kekuatan sisa (*residual strength*) dari elemen struktural yang terbakar. Informasi mengenai kekuatan sisa sangat penting untuk menentukan langkah penanganan yang paling tepat, apakah berupa rehabilitasi, perkuatan, atau bahkan penggantian bangunan secara keseluruhan [4].

Dalam praktiknya, ahli struktur berperan penting untuk menaksir suhu maksimum yang dialami elemen struktur, mengevaluasi kekuatan sisa beton, serta mengusulkan metode perkuatan agar bangunan dapat difungsikan kembali. Namun, masih sering muncul keraguan di masyarakat terhadap kualitas bangunan yang pernah terbakar, karena dianggap tidak akan kembali baik meskipun telah diperbaiki, kecuali diganti dengan bangunan baru [5].

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa beton mutu 25 MPa dengan durasi pembakaran 1, 2, dan 4 jam pada suhu masing-masing 190°C, 300°C, dan 410°C mengalami penurunan kuat tekan berturut-turut menjadi 21,7 MPa, 18,3 MPa, dan 13,2 MPa, atau setara dengan penurunan sebesar 19,3%, 31,9%, dan 50,9%. Selain penurunan kuat tekan, juga terjadi perubahan fisik berupa perubahan warna dari putih keabu-abuan menjadi kekuningan, kecoklatan, hingga kehitaman, serta muncul retak halus, retak kasar, hingga pengelupasan pada sudut beton [6]. Sementara itu, penelitian selanjutnya memperlihatkan hasil uji *Ultrasonic Pulse Velocity* yang menunjukkan bahwa beton pada suhu 300°C mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan beton normal. Hasil uji Phenolphthalein juga menunjukkan perbedaan, di mana beton normal dengan f_c' 20 tetap berwarna abu-abu karena bersifat basa, sedangkan pada beton yang dibakar dengan suhu 300°C, 400°C, dan 500°C warnanya berubah menjadi magenta. Penelitian ini juga menegaskan bahwa penggunaan Flex Tape tidak dapat dijadikan sebagai metode perkuatan beton pasca bakar [7].

Berdasarkan hal tersebut, penting untuk mengetahui perubahan mutu beton pasca terbakar, khususnya terkait pengaruh suhu terhadap kekuatan struktur. Penelitian mengenai kuat tekan beton pada suhu tinggi diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai perbandingan kekuatan, persentase penurunan, serta tingkat durabilitas beton akibat paparan suhu yang berbeda.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah bahan konstruksi yang paling umum digunakan dalam pembangunan struktur modern karena memiliki banyak keunggulan, seperti kuat tekan yang tinggi, kemudahan perawatan, dan bahan penyusun yang mudah didapat [2]. Beton diperoleh dengan mencampurkan semen portland, air, agregat halus dan kasar, serta bahan tambahan (*admixture*) tertentu untuk meningkatkan sifat beton agar lebih baik dan ekonomis tanpa menghilangkan karakteristik utamanya [8].

2.2 Beton Pasca Bakar

Beton pasca bakar adalah beton yang telah mengalami paparan suhu tinggi akibat kebakaran sehingga mengalami perubahan sifat fisik maupun mekanik. Meskipun beton dikenal memiliki ketahanan api yang lebih baik dibandingkan material konstruksi lain, suhu tinggi tetap dapat menyebabkan penurunan kualitasnya [9]. Perubahan tersebut meliputi perubahan warna permukaan, pengelupasan (*spalling*), serta keretakan (*cracking*) yang semakin parah seiring peningkatan suhu [10]. Pada suhu di atas 400°C, beton mulai kehilangan sebagian besar kekuatan mekaniknya, dan pada suhu 600°C ke atas, kerusakan semakin signifikan hingga berpotensi menyebabkan beton pecah serta tulangan baja terlihat [11]. Oleh karena itu, evaluasi terhadap kuat tekan, tarik, serta durabilitas beton pasca bakar sangat penting untuk menentukan kekuatan sisa struktur dan langkah penanganan yang diperlukan, apakah melalui rehabilitasi, perkuatan, atau penggantian total bangunan [12].

2.3 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam adukan beton. Agregat mengisi sebagian besar volume beton, yaitu sekitar 50% hingga 80%, sehingga sifat dan mutu beton sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat yang digunakan [6][13]. Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Dalam teknologi beton, agregat yang memiliki butiran lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar, sedangkan yang memiliki butiran lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus. Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton, dan menempati sekitar 70% dari volume total beton. Oleh karena itu, sifat-sifat agregat sangat memengaruhi karakteristik beton yang dihasilkan .

Agregat alam berasal dari bahan baku alami atau hasil penghancuran alami. Jenis batuan yang baik untuk digunakan sebagai agregat harus memiliki sifat keras, kompak, tahan lama (kekal), dan tidak pipih. Agregat alam terdiri atas Kerikil dan pasir alam, yaitu agregat yang terbentuk secara alami melalui proses pelapukan atau penghancuran batuan induk dan agregat batu pecah, yaitu agregat yang diperoleh dari batuan alam yang dihancurkan secara mekanis menjadi ukuran tertentu [14].

2.4 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah indikator utama kinerja beton yang mengukur kemampuan beton menahan gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan yang diisyaratkan ditetapkan dalam perencanaan struktur menggunakan silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dinyatakan dalam mega pascal (MPa). Pengujian ini penting untuk menilai kekuatan beton berdasarkan mutu dan rancangan campurannya. Kekuatan beton dipengaruhi oleh komposisi bahan, langkah perancangan, perawatan, dan kondisi saat pengujian, menjadikannya parameter penting untuk menentukan mutu dan kualitas beton. Perhitungan kuat tekan beton untuk benda uji berbentuk silinder ditetapkan dengan persamaan sebagai berikut [15]

$$F_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan,

F'_c = kuat tekan beton (N/mm²)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang menerima beban.

3 METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental mengenai kuat tekan beton pasca bakar dengan variasi suhu 0°C, 400°C, 500°C, dan 600°C. Pengujian kuat tekan dilakukan saat beton berumur 28 hari. Pada rancangan mutu beton 25 MPa, masing-masing variasi suhu dibuat 3 (tiga) sampel benda uji yang kemudian dibakar sesuai suhu perlakuan tersebut.

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai minggu pertama Februari hingga minggu kedua April 2024. Seluruh kegiatan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani Km. 6, Bukit Harapan, Kec. Soreang, Parepare.

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian analisis perbandingan kuat tekan beton menggunakan agregat kasar, agregat halus, semen Portland, air dan bahan bakar untuk pembakaran beton. Beberapa alat yang mungkin digunakan di laboratorium struktur teknik sipil antara lain saringan, oven, gelas ukur, timbangan, cetakan beton, *Concrete mixer*/mesin pencampur, kerucut abrams, alat *compression machine*.

3.4. Teknik Pengumpulan Data

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data yang diperoleh melalui partisipasi aktif peneliti, yaitu hasil pengamatan terhadap karakteristik agregat serta seluruh kegiatan pengujian dan eksperimen yang dilakukan secara langsung di laboratorium. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari lembaga atau penelitian sebelumnya yang berfungsi sebagai data pendukung dalam pelaksanaan penelitian.

Data sekunder tersebut mencakup standar teknis seperti SNI (Standar Nasional Indonesia), PBI (Peraturan Beton Indonesia), sumber dari internet, serta literatur lain yang dijadikan acuan dan referensi untuk memperkuat hasil penelitian.

3.5. Teknik Analisis Data

Analisis data merupakan metode yang digunakan untuk mengolah data menjadi informasi sehingga lebih mudah dipahami. Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis statistik deskriptif, yaitu memberikan gambaran umum mengenai karakteristik dari setiap sampel penelitian berdasarkan nilai rata-rata,

maksimum, dan minimum. Analisis ini digunakan untuk mengetahui perbedaan yang terjadi pada perubahan sampel beton.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Rekapitulasi pengujian agregat kasar

| Karakteristik Agregat | Interval | Hasil |
|-------------------------|--------------------|-------|
| Kadar lumpur | Maks 1% | 0,87% |
| Keausan/Abrasi | Maks 50% | 25,5% |
| Kadar air | 0,5% - 2% | 1,61% |
| Berat volume | | |
| a. Kondisi lepas | 1,6 - 1,9 kg/liter | 1,72 |
| b. Kondisi padat | 1,6 - 1,9 kg/liter | 1,76 |
| Absorpsi | Maks 4 % | 3,81% |
| Berat jenis spesifik | | |
| a. Bj. nyata | 1,6 - 3,3 | 2,62 |
| b. Bj. dasar kering | 1,6 - 3,3 | 2,38 |
| c. Bj. kering permukaan | 1,6 - 3,3 | 2,47 |
| Modulus kehalusan | 6,0 - 8,0 | 6,64 |

(Hasil olah laboratorium, 2025)

Pada Tabel 1, menunjukkan bahwa agregat kasar memenuhi semua spesifikasi yang disyaratkan untuk digunakan sebagai material campuran beton. Dengan karakteristik tersebut, agregat kasar dapat digunakan dengan optimal dalam pembuatan beton yang berkualitas.

Tabel 2. Rekapitulasi pengujian agregat halus

| Karakteristik Agregat | Interval | Hasil |
|-------------------------|--------------------|-------|
| Kadar lumpur | Maks 5% | 2,55% |
| Kadar organik | < No. 3 | No. 1 |
| Kadar air | 2% - 5% | 2,15% |
| Berat volume | | |
| a. Kondisi lepas | 1,4 - 1,9 kg/liter | 1,40 |
| b. Kondisi padat | 1,4 - 1,9 kg/liter | 1,49 |
| Absorpsi | 0,2% - 2% | 1,52% |
| Berat jenis spesifik | | |
| a. Bj. nyata | 1,6 - 3,3 | 1,75 |
| b. Bj. dasar kering | 1,6 - 3,3 | 1,71 |
| c. Bj. kering permukaan | 1,6 - 3,3 | 1,73 |
| Modulus kehalusan | 1,50 - 3,80 | 2,51 |

(Hasil olah laboratorium, 2025)

Pada Tabel 2, menunjukkan bahwa agregat halus memenuhi semua spesifikasi yang disyaratkan untuk digunakan sebagai material campuran beton. Dengan karakteristik tersebut, agregat halus dapat digunakan dengan optimal dalam pembuatan beton yang berkualitas.

4.2. Mix Design Kebutuhan Bahan Material

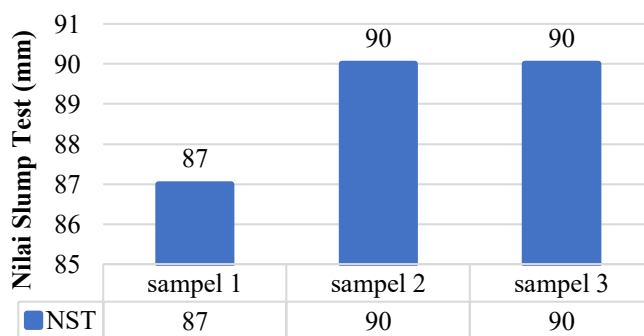
Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut.

Tabel 3. *Mix design* kebutuhan bahan material untuk 1 silinder

| Variasi Campuran (%) | Semen (Kg) | Kerikil (Kg) | Pasir (Kg) | Air (Kg) |
|----------------------|------------|--------------|------------|----------|
| 0°C | 2,73 | 6,84 | 3,51 | 1,24 |
| 400°C | 2,73 | 6,84 | 3,51 | 1,24 |
| 500°C | 2,73 | 6,84 | 3,51 | 1,24 |
| 600°C | 2,73 | 6,84 | 3,51 | 1,24 |

4.3. Nilai Slump Test

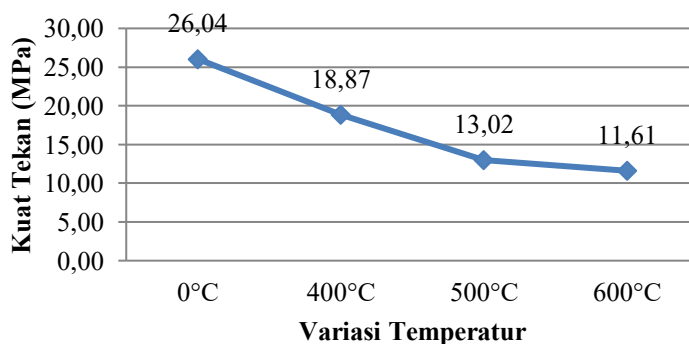
Berbeda dengan nilai slump yang digunakan untuk menilai konsistensi beton dan *workability* pada kondisi tertentu, hasil pemeriksaan *slump test* digunakan untuk melihat perubahan kadar air campuran beton.



Gambar 1. Perbandingan nilai slump pada setiap variasi (Hasil olah laboratorium, 2025).

4.4. Kuat Tekan

Setelah melalui proses pembentukan dan perawatan, sampel benda uji kemudian dibakar pada saat beton telah mencapai umur 28 hari. Pembakaran dilakukan dengan variasi suhu 400°C, 500°C, dan 600°C, masing-masing selama durasi 2 jam untuk setiap percobaan. Setelah proses pembakaran selesai, sampel didiamkan selama 24 jam, kemudian dilakukan pengujian kuat tekan beton.



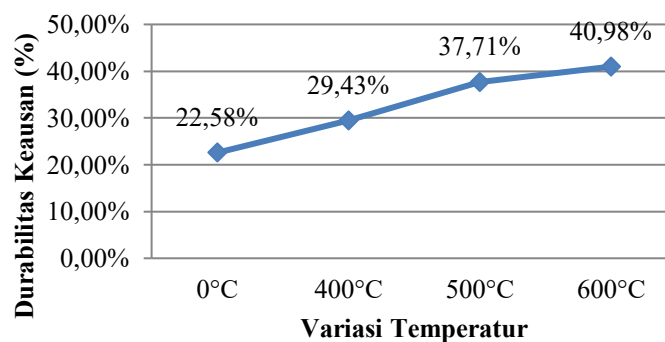
Gambar 2. Hasil kurat terkan berton pasca bakar suhu variatif (Hasil olah laboratorium, 2025).

Berdasarkan Gambar 2, penurunan kuat tekan beton pasca pembakaran menunjukkan variasi yang berbeda pada setiap interval suhu. Pada rentang suhu 0°C–400°C, kuat tekan mengalami penurunan sebesar 7,17 MPa atau sekitar 28% dari beton normal. Selanjutnya, pada rentang suhu 400°C–500°C, penurunan tercatat sebesar 5,85 MPa atau 31%, yang merupakan nilai penurunan tertinggi dibandingkan interval lainnya. Sementara itu, pada rentang suhu 500°C–600°C, penurunan kuat tekan relatif lebih kecil, yakni sebesar 1,42 MPa atau 11%.

Hasil ini mengindikasikan bahwa laju penurunan kuat tekan beton paling signifikan terjadi pada interval 400°C–500°C, sebelum kemudian melambat pada suhu yang lebih tinggi.

4.5. Durabilitas Beton

Setelah sampel beton berumur 28 hari, dilakukan proses pembakaran pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C selama 2 jam. Selanjutnya, sampel dibiarkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekan. Tahap berikutnya adalah pengujian durabilitas beton, yang dilakukan dengan menggunakan alat Los Angeles pada limbah beton hasil pengujian kuat tekan, dengan rekapitulasi nilai hasil pengujian sebagai berikut.



Gambar 3. Hasil pengujian durabilitas keausan beton pasca bakar (Hasil olah laboratorium, 2025).

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai keausan beton pada kondisi normal (sebelum dibakar) berada pada kisaran sekitar 22,50%, yang menandakan beton masih memiliki durabilitas cukup baik. Namun, setelah diberi perlakuan suhu tinggi, nilai keausan mengalami peningkatan signifikan. Pada suhu 400°C, rata-rata keausan meningkat menjadi 29,43%, kemudian naik lagi pada suhu 500°C menjadi 37,71%, dan mencapai nilai tertinggi pada suhu 600°C yaitu 40,98%. Kenaikan nilai keausan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran yang diterapkan, semakin besar kerusakan mikrostruktur beton, seperti retak termal dan hilangnya ikatan pasta-semen dengan agregat. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa paparan suhu tinggi mengakibatkan penurunan durabilitas beton, yang tercermin dari meningkatnya persentase keausan dibandingkan dengan beton dalam kondisi normal.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perbandingan kuat tekan terhadap paparan suhu yaitu menunjukkan bahwa kuat tekan beton pada kondisi normal mencapai 26,04 MPa. Setelah mengalami pembakaran pada suhu 400°C, kuat tekan menurun menjadi 18,87 MPa, kemudian turun lagi pada suhu 500°C menjadi 13,02 MPa, dan mencapai

nilai terendah pada suhu 600°C yaitu 11,61 MPa. Hal ini menunjukkan adanya penurunan signifikan pada kuat tekan beton seiring dengan meningkatnya suhu pembakaran. Perbandingan durabilitas keausan terhadap paparan suhu yaitu menunjukkan bahwa nilai keausan beton pada kondisi normal (sebelum dibakar) berada pada kisaran sekitar 22,50%, yang menandakan beton masih memiliki durabilitas cukup baik. Namun, setelah diberi perlakuan suhu tinggi, nilai keausan mengalami peningkatan signifikan. Pada suhu 400°C, rata-rata keausan meningkat menjadi 29,43%, kemudian naik lagi pada suhu 500°C menjadi 37,71%, dan mencapai nilai tertinggi pada suhu 600°C yaitu 40,98%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Saputra, D. Oktarina, and A. Gumay, “Analisa Temperatur dan Waktu Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Cangkang Kelapa Sawit Pasca Bakar,” *J. Komposit*, vol. 6, no. 2, pp. 49–55, 2022.
- [2] K. Tjokrodinuljo, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2007.
- [3] B. Asmawi, I. Syahrul Fuad, and H. Jimmyanto, “Analisis Mutu Beton Terhadap Beton Pasca Bakar,” *J. Tek. Sipil LATERAL*, vol. 1, no. 1, pp. 53–59, 2023.
- [4] S. P. Tampubolon, *Struktur Beton I Civil Engineering*. Jakarta: Universitas Kristen Indonesia, 2022.
- [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.
- [6] A. Sulfanita, I. Fadly, M. Syahril, and A. S. N. Ruslan, “Studi Eksperimen Pengujian Kuat Tekan Beton Pasca Bakar terhadap Beton Normal,” *J. Ilm. Univ. Batanghari Jambi*, vol. 23, no. 2, pp. 1199–1205, 2023.
- [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, no. 01, pp. 37–48, 2024.
- [8] T. Mulyono, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Ofset, 2004.
- [9] Arman.A and R. Almez Pradipta, “Kajian Kuat Tekan Beton Normal Pasca Bakar,” *Ensiklopedia J.*, vol. 3, no. 5, pp. 52–55, 2021.
- [10] A. Alfana, “Dengan Variasi Campuran Limbah Kaca Comparison Of Compressive Strength By Post-Burn Concrete With Variety Of Glass Waste,” *J. Media Tek. Sipil Samudra*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15, 2024.
- [11] S. U. Dewi and A. Y. Nanda, “Analisis Pengaruh Peningkatan Durasi Waktu Terhadap Kuat Tekan Mutu Beton K-250 Pasca Kebakaran,” *Tek. Sains J. Ilmu Tek.*, vol. 6, no. 2, pp. 84–90, 2021.
- [12] S. A. Nanda, Y. Chandra, and E. Maulani, “Kajian Kuat Tekan Beton Beragregat Halus Pasir Pantai Pasca Bakar Dengan Variasi Waktu Water Curing,” *Teras J.*, vol. 12, no. 2, pp. 363–372, 2022.
- [13] Mododok, W., Darwis, F., & Sultan, M. A. (2020). Studi Kuat Tekan Beton Beragregat Kasar Batu Kapur Sangowo Dengan Variasi FAS. *CLAPEYRON: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(2).
- [14] D. Apriansyah, E. R. Hariza, and J. T. Sipil, “Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pasca Bakar dan Pasca Bakar pada,” *J. Artif. Intel l ige nce Digi tal Bus.*, vol. 4, no. 3, pp. 3564–3576, 2019.
- [15] S. N. Indonesia, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.