

ANALISA KEKUATAN BETON PASCA TERBAKAR MENGUNAKAN METODE NON DESTRUCTIVE TEST (MENGUNAKAN SISTEM PENGUJIAN ULTRASONIC TEST DAN HAMMER TEST)

Betman Dasuha Purba¹, Agus Purba Mm², Kerlima Hutagaol³

bdpstudy@gmail.com¹, agus.purba59@gmail.com², kerlimahutagaol@gmail.com³

Universitas Mpu Tantular

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan beton pasca terbakar menggunakan metode Non Destructive Test (NDT), yaitu Ultrasonic Pulse Velocity Test dan Hammer Test. Beton yang terpapar suhu tinggi selama kebakaran akan mengalami perubahan pada struktur fisik dan mekaniknya, yang dapat mempengaruhi kekuatan tekan dan ketahanan. Ultrasonic Pulse Velocity Test mengukur kecepatan gelombang ultrasonik yang melewati beton untuk mendeteksi perubahan dalam struktur internalnya sedangkan Hammer Test mengukur kekerasan permukaan beton dengan memanfaatkan pantulan palu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton yang terbakar mengalami penurunan kekuatan yang signifikan, baik pada permukaan maupun pada kedalaman struktur. Hammer Test menunjukkan penurunan nilai rebound pada permukaan beton yang terbakar, sementara Ultrasonic Pulse Velocity Test mengindikasikan penurunan kecepatan gelombang ultrasonik, yang menandakan peningkatan porositas dan keretakan pada beton. Kedua metode ini terbukti efektif untuk mengevaluasi kondisi beton pasca kebakaran tanpa merusak struktur, dengan Ultrasonic Test memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kerusakan internal beton.

Keywords : Pengujian Beton Pasca Kebakaran, Hammer Test, Ultrasonic Pulse Velocity Test.

ABSTRACT

This study aims to analyze the strength of post-fired concrete using Non-Destructive Testing (NDT) methods, namely the Hammer Test and Ultrasonic Pulse Velocity Test. Concrete exposed to high temperatures during a fire will experience changes in its physical and mechanical structure, which can affect its compressive strength and resistance to damage. The Ultrasonic Pulse Velocity Test measures the speed of ultrasonic waves passing through the concrete to detect changes in its internal structure, while the Hammer Test measures the surface hardness of the concrete by utilizing the rebound of a hammer. The results showed that burned concrete experienced a significant reduction in strength, both at the surface and in the depth of the structure. The Hammer Test showed a decrease in rebound values on the surface of the burned concrete, while the Ultrasonic Pulse Velocity Test showed a decrease in ultrasonic wave velocity, indicating increased porosity and cracking in the concrete. These two methods have proven effective in assessing the condition of post-fired concrete without damaging the structure, with the Ultrasonic Test providing a more comprehensive picture of the concrete's internal damage.

Keywords: Post Fire Concrete Testing, Hammer Test, Ultrasonic Pulse Velocity Test

PENDAHULUAN

Kejadian kebakaran pada struktur beton dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan terhadap sifat mekanik dan fisik elemen beton, termasuk penurunan kekuatan tekan, perubahan modulus elastisitas, retak termal, dan bahkan spalling (pengelupasan) pada lapisan pelindung beton. Karena beton merupakan salah satu bahan utama dalam konstruksi bangunan dan infrastruktur, penilaian kondisi pasca kebakaran menjadi sangat penting untuk memastikan keamanan dan kegunaan kembali struktur. Dalam kerangka ini, metode pengujian yang dapat dilakukan secara in-situ dan tanpa merusak elemen struktur (non-destructive) menjadi sangat relevan.

Metode pengujian Non-Destructive Test (NDT) untuk beton seperti Ultrasonic Pulse

Velocity (UPV) dan Rebound Hammer Test (hammer test) menawarkan keunggulan dalam melakukan pemeriksaan cepat, berbiaya relatif rendah, dan dapat diaplikasikan langsung di lapangan tanpa harus mengambil core beton yang merusak. UPV mengukur kecepatan pulsa ultrasonik yang melintas melalui elemen beton: nilai kecepatan yang tinggi menunjukkan beton dengan densitas baik dan sedikit cacat internal. Sementara itu, hammer test mengukur pantulan dari palu pegas di permukaan beton (nilai rebound) yang dapat dikorelasikan dengan kekerasan permukaan dan secara tidak langsung dengan kekuatan tekan beton.

Namun demikian, penggunaan kedua metode tersebut dalam konteks beton yang telah mengalami ekspos suhu tinggi (pasca kebakaran) memiliki tantangan tersendiri. Suhu tinggi dapat menyebabkan perubahan mikrostruktur beton: penguapan air dalam pori, retak akibat perbedaan termal, hilangnya kekuatan adhesi antar agregat dan pasta semen, bahkan spalling pelindung—yang semuanya dapat mempengaruhi hasil pengukuran NDT. Misalnya, penelitian menyebutkan bahwa UPV sangat sensitif terhadap kerusakan akibat suhu tinggi, dan hammer test meskipun dapat mengindikasikan kerusakan permukaan, memiliki keterbatasan dalam mendeteksi kerusakan dalam.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan metode NDT (UPV dan hammer test) dalam penilaian kualitas beton pasca terbakar, khususnya untuk mengevaluasi kekuatan dan kondisi in-situ elemen beton setelah paparan suhu tinggi. Dengan pendekatan empiris, penelitian ini akan menganalisis korelasi antara hasil NDT dengan kondisi sebenarnya (dengan melalui uji destruktif) dan mengidentifikasi batasan serta faktor pengaruh yang muncul pada beton pasca terbakar.

Secara lebih spesifik, penelitian ini akan mengkaji aspek-aspek berikut:

1. Pengaruh ekspos suhu tinggi terhadap kecepatan pulsa ultrasonik dan nilai rebound hammer pada elemen beton.
2. Korelasi antara hasil NDT (UPV dan hammer) dengan kekuatan tekan sisa beton setelah kebakaran.
3. Validitas dan keterbatasan masing-masing metode dalam konteks beton pasca terbakar, termasuk pengaruh kerusakan internal dan permukaan.
4. Rekomendasi untuk prosedur pengujian dan interpretasi hasil NDT yang lebih andal pada beton yang mengalami paparan suhu ekstrem.

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada praktik rekonstruksi dan pemeliharaan struktur beton setelah kebakaran, dengan menyediakan dasar ilmiah untuk penggunaan NDT sebagai metode skrining serta evaluasi lanjutan bagi insinyur struktural. Dengan demikian, penelitian ini juga membuka wawasan terhadap pengembangan pedoman evaluasi beton pasca kebakaran berdasarkan data lapangan dan metode non-destruktif.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimen (experimental research) yang dilaksanakan di laboratorium. Metode ini bertujuan untuk memperoleh data numerik melalui pengujian langsung terhadap benda uji guna menganalisis pengaruh perlakuan suhu tinggi terhadap karakteristik beton.

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton dengan mutu rencana K-300. Penelitian diawali dengan pembuatan dan pengecoran benda uji, dilanjutkan dengan proses perawatan (curing) sesuai ketentuan. Setelah mencapai umur tertentu, benda uji diberi perlakuan pembakaran pada beberapa tingkat suhu yang telah ditentukan.

Setelah proses pembakaran, dilakukan pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) dan Hammer Test pada masing-masing tingkat suhu. Data yang diperoleh berupa nilai kecepatan rambat gelombang (velocity) dari UPV dan nilai pantul (rebound number) dari Hammer Test. Selanjutnya, nilai-nilai tersebut dikorelasikan dengan kuat tekan beton untuk

mengetahui hubungan antara hasil uji non-destruktif dengan penurunan mutu beton akibat pengaruh suhu tinggi.

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perubahan karakteristik beton pasca pembakaran serta validitas penggunaan metode UPV dan Hammer Test sebagai alat evaluasi kuat tekan beton setelah terpapar suhu tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh suhu pembakaran terhadap perubahan karakteristik beton melalui pengujian non-destruktif (UPV dan Hammer Test). Variasi suhu pembakaran yang digunakan, yaitu 300°C, 450°C, dan 600°C, menunjukkan kecenderungan penurunan kualitas beton seiring dengan meningkatnya suhu paparan panas.

1. Pengaruh Suhu terhadap Kondisi Visual Beton

Berdasarkan hasil pengamatan visual, beton yang dibakar pada suhu 300°C masih menunjukkan kondisi permukaan yang relatif utuh dengan perubahan warna yang minimal. Retakan mikro belum terlihat secara signifikan, sehingga beton masih mempertahankan integritas strukturnya.

Pada suhu 450°C, beton mulai menunjukkan perubahan warna menjadi lebih pucat atau keabu-abuan disertai munculnya retakan halus di permukaan. Hal ini mengindikasikan terjadinya degradasi awal pada struktur mikro beton akibat proses dehidrasi kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan meningkatnya tekanan uap air di dalam pori beton.

Sementara itu, pada suhu 600°C, kerusakan beton tampak lebih signifikan, ditandai dengan retakan makro, permukaan yang lebih rapuh, serta sebagian agregat yang terlepas. Kondisi ini menunjukkan bahwa paparan suhu tinggi secara langsung berdampak terhadap penurunan kemampuan beton dalam menahan beban.

2. Pembahasan Hasil UPV

Hasil pengujian UPV menunjukkan bahwa beton pada suhu 300°C memiliki nilai kecepatan gelombang ultrasonik rata-rata sekitar 3265.43 m/s yang diklasifikasikan sebagai beton kondisi sedang. Hal ini menandakan bahwa beton masih memiliki kerapatan dan homogenitas yang cukup baik.

Pada suhu 450°C, nilai pulse velocity menurun menjadi kisaran 2917.12 m/s dan masuk ke dalam kategori buruk. Penurunan ini menunjukkan meningkatnya jumlah retakan mikro dan rongga di dalam beton yang menghambat rambatan gelombang ultrasonik.

Selanjutnya, pada suhu 600°C, nilai pulse velocity berada di kisaran 2627.42 m/s dan seluruh sampel dikategorikan sebagai beton kondisi buruk. Hasil ini memperlihatkan bahwa suhu tinggi menyebabkan kerusakan internal beton yang semakin besar, sehingga beton kehilangan kerapatan dan kekakuannya.

3. Pembahasan Hasil Hammer Test

Hasil hammer test pada Kelompok 1 (300°C) menunjukkan nilai rebound rata-rata sekitar 31.15 yang menghasilkan kuat tekan karakteristik berkisar 24.93 MPa (300.33 kg/cm²). Nilai ini mengindikasikan bahwa beton masih memiliki mutu yang cukup baik dan homogen.

Pada Kelompok 2 (450°C), nilai rebound rata-rata turun ke kisaran 25.06 dengan kuat tekan karakteristik sekitar 17.10 MPa (206.05 kg/cm²). Penurunan ini menunjukkan bahwa beton telah mengalami degradasi kekuatan akibat paparan suhu tinggi, mengalami penurunan kuat tekan sebesar 31.32%.

Pada Kelompok 3 (600°C), nilai rebound semakin menurun ke kisaran 22.28 dengan kuat tekan karakteristik sekitar 13.93 MPa (167.86 kg/cm²). Hal ini menunjukkan terjadinya penurunan mutu beton yang sangat signifikan, mengalami penurunan kuat tekan sebesar 44.05%.

Berdasarkan nilai standar deviasi hasil hammer test, sebagian besar sampel masih menunjukkan tingkat homogenitas istimewa hingga sangat baik, yang menandakan bahwa meskipun kuat tekan menurun, distribusi mutu beton dalam masing-masing Kelompok relatif seragam.

4. Pembahasan Keseluruhan

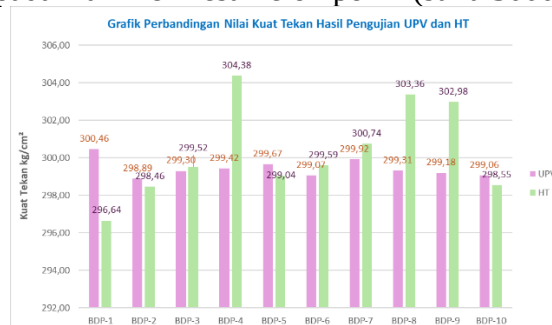
Dari pengujian yang dilakukan, hubungan antara nilai UPV, Hammer Test, dan Uji Kuat Tekan dapat digambarkan dengan grafik yang menunjukkan pola yang konsisten dan saling terkait. Hasil penelitian mengungkapkan adanya korelasi yang signifikan antara ketiga pengujian tersebut, yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan gelombang UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) dan semakin baik nilai lentingan pada Hammer Test, maka semakin tinggi pula nilai kuat tekan beton yang terukur. Korelasi positif ini mengindikasikan bahwa UPV dan Hammer Test tidak hanya dapat memberikan gambaran tentang kondisi fisik beton, tetapi juga dapat digunakan sebagai metode non-destruktif yang efektif untuk memperkirakan kekuatan tekan beton dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Hal ini sangat berguna, terutama pada beton yang sudah terpasang, di mana metode ini memungkinkan evaluasi kekuatan beton tanpa merusak struktur yang sudah ada. Selain itu, penerapan teknik-teknik ini dapat mempercepat proses inspeksi dan pemeliharaan bangunan, sehingga lebih efisien dan mengurangi biaya yang diperlukan untuk uji laboratorium yang lebih invasif.

Tabel 4. 23. Hubungan Mutu Beton Uji UPV dengan Mutu Beton Uji Hammer Test Kelompok 1
Non Desctructive Test

No	Kode Benda Uji	Kualitas Beton Pengujian UPV Test	Kualitas Beton Pengujian Hammer Test
Bacth 1 Suhu Pengujian 300°C			
1	BDP-1	300.46	296.64
2	BDP-2	298.89	298.46
3	BDP-3	299.30	299.52
4	BDP-4	299.42	304.38
5	BDP-5	299.67	299.04
6	BDP-6	299.07	299.59
7	BDP-7	299.92	300.74
8	BDP-8	299.31	303.36
9	BDP-9	299.18	302.98
10	BDP-10	299.06	298.55
Nilai Rata-Rata :		299.43	300.33

*)Grafik diatas dibuat dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel

Gambar 4. 19. Grafik perbandingan kuat tekan beton pada uji UPV dan uji kuat tekan pada Hammer Test Kelompok 1 (suhu 3000C)

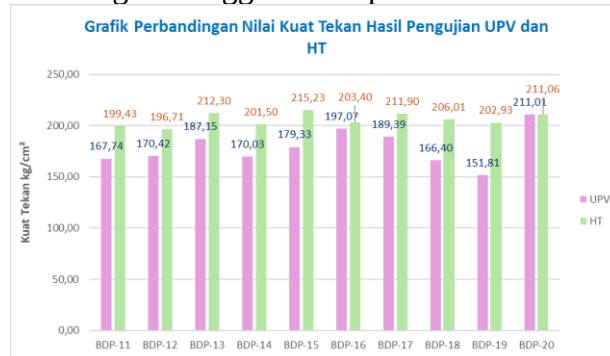


Tabel 4. 24. Hubungan Kuat Tekan UPV dengan Hammer Test Kelompok 2

No	Kode Benda Uji	Non Desctructive Test	
		Kualitas Beton Pengujian UPV Test	Kualitas Beton Pengujian Hammer Test
Bacth 2 Suhu Pengujian 450 ⁰ C			
11	BDP-11	167.74	199.43
12	BDP-12	170.42	196.71
13	BDP-13	187.15	212.30
14	BDP-14	170.03	201.50
15	BDP-15	179.33	215.23
16	BDP-16	197.07	203.40
17	BDP-17	189.39	211.90
18	BDP-18	166.40	206.01
19	BDP-19	151.81	202.93
20	BDP-20	211.01	211.06
Nilai Rata-Rata :		179.03	206.05

Dari grafik pada gambar 4.19. terlihat bahwa hasil UPV mendekati hasil Hammer Test. Dimana tingkat korelasi dari masing masing dapat dilihat pada gambar grafik berikut.

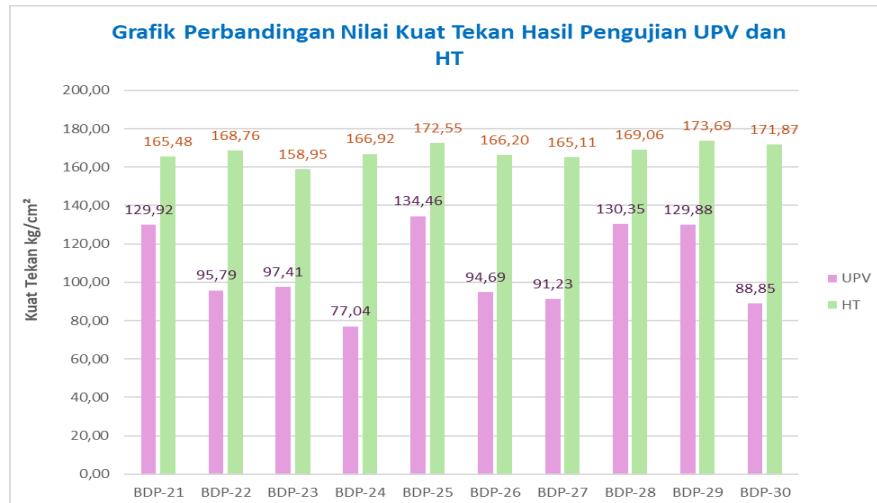
*)Grafik diatas dibuat dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel



Gambar 4. 20. Grafik perbandingan kuat tekan beton pada uji UPV dan uji kuat tekan pada Hammer Test Kelompok 2 (suhu 4500C)

Tabel 4. 25. Hubungan Kuat Tekan UPV dengan Hammer Test Kelompok 3

No	Kode Benda Uji	Non Desctructive Test	
		Kualitas Beton Pengujian UPV Test	Kualitas Beton Pengujian Hammer Test
Bacth 3 Suhu Pengujian 600 ⁰ C			
21	BDP-21	129.92	165.48
22	BDP-22	95.79	168.76
23	BDP-23	97.41	158.95
24	BDP-24	77.04	166.92
25	BDP-25	134.46	172.55
26	BDP-26	94.69	166.20
27	BDP-27	91.23	165.11
28	BDP-28	130.35	169.06
29	BDP-29	129.88	173.69
30	BDP-30	88.85	171.87
Nilai Rata-Rata :		106.96	167.86



*) Grafik diatas dibuat dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel

Gambar 4. 21. Grafik perbandingan kuat tekan beton pada uji UPV dan uji kuat tekan pada Hammer Test Kelompok 3 (suhu 6000C)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Rangkuman hasil rata -rata dari setiap pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian UPV Test
 - Kelompok 1 Suhu 3000C :
 - Nilai Rata-Rata Velocity : 3265.10 m/s
 - Nilai Rata-Rata Kuat Tekan : 320.25 kg/cm²
 - Kelompok 2 Suhu 4500C
 - Nilai Rata-Rata Velocity : 2947.12 m/s
 - Nilai Rata-Rata Kuat Tekan : 204.64 kg/cm²
 - Kelompok 3 Suhu 6000C
 - Nilai Rata-Rata Velocity : 2627.42 m/s
 - Nilai Rata-Rata Kuat Tekan : 136.15 kg/cm²
- b. Pengujian Hammer Test
 - Kelompok 1 Suhu 3000C :
 - Nilai Rata-Rata Rebound : 31.14 m/s
 - Nilai Rata-Rata Kuat Tekan : 306.19 kg/cm²
 - Kelompok 2 Suhu 4500C
 - Nilai Rata-Rata Rebound : 24.81 m/s
 - Nilai Rata-Rata Kuat Tekan : 205.67 kg/cm²
 - Kelompok 3 Suhu 6000C
 - Nilai Rata-Rata Rebound : 22.20 m/s
 - Nilai Rata-Rata Kuat Tekan : 167.68 kg/cm²
- c. Pengujian Kuat Tekan
 - Kelompok 1 Suhu 3000C : 312 kg/cm²
 - Kelompok 2 Suhu 4500C : 184 kg/cm²
 - Kelompok 3 Suhu 6000C : 149 kg/cm²

1. Pengaruh Suhu terhadap Kekuatan Beton:

Suhu dan Degradasi Beton: Dalam penelitian ini, terlihat bahwa suhu tinggi berpengaruh besar terhadap kekuatan dan integritas struktural beton. Pada suhu 300°C, beton masih dalam kondisi yang relatif utuh, meskipun warna dan tekstur permukaan mulai berubah. Ini menunjukkan bahwa beton dapat bertahan pada suhu tersebut tanpa mengalami

kerusakan struktural yang signifikan. Namun, seiring suhu meningkat, terutama pada 450°C dan 600°C, beton menunjukkan kerusakan yang lebih parah dengan munculnya retakan halus dan makro serta pelepasan agregat. Perubahan struktural yang terjadi pada suhu tinggi ini terjadi karena pengaruh panas pada komponen kimia dalam beton, seperti dehidrasi kalsium silikat hidrat (C–S–H), yang mengurangi daya dukungnya.

Degradasi yang Terjadi: Pada suhu 450°C, beton mengalami dehidrasi C–S–H yang menyebabkan perubahan tekstur permukaan dan pembentukan rongga, yang pada akhirnya menurunkan kekuatan beton. Pada suhu 600°C, kerusakan beton lebih lanjut terjadi karena retakan makro dan kehilangan agregat yang menunjukkan bahwa beton mulai kehilangan kestabilan strukturalnya. Hal ini sangat relevan untuk bangunan yang terpapar suhu tinggi, seperti bangunan tahan api, yang harus mempertahankan kekuatan struktural pada kondisi ekstrem.

2. Pengujian Non-Destructive Testing (NDT):

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV): Pengujian menggunakan UPV mengukur kecepatan gelombang ultrasonik yang bergerak melalui beton dan memberikan gambaran mengenai kekompakan dan homogenitas beton. Kecepatan gelombang yang tinggi menunjukkan beton yang lebih padat dan homogen, sementara kecepatan yang rendah mengindikasikan adanya keretakan atau rongga. Hasil UPV menunjukkan penurunan yang signifikan pada beton yang terpapar suhu tinggi, yang menunjukkan bahwa suhu tinggi dapat menyebabkan kerusakan internal pada struktur beton, meskipun kerusakan tersebut tidak selalu terlihat secara kasat mata.

Hammer Test: Hammer Test mengukur ketahanan beton terhadap pukulan dan memberikan informasi mengenai kualitas permukaan beton. Pengujian ini menunjukkan bahwa beton yang terpapar suhu tinggi memiliki hasil yang lebih rendah, mengindikasikan penurunan kekuatan permukaan beton. Namun, kekurangan dari hammer test adalah bahwa ini hanya mengukur kekuatan permukaan dan tidak memberikan informasi mendalam tentang kondisi internal beton. Oleh karena itu, meskipun NDT memberikan informasi yang berguna, hasilnya harus dikombinasikan dengan pengujian destruktif untuk mendapatkan gambaran lengkap mengenai kondisi beton.

3. Perbandingan Pengujian UPV dan HT:

Berdasarkan hasil pengujian beton yang dipanaskan pada suhu 300°C, 450°C, dan 600°C, dapat diamati bahwa baik metode Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) maupun Hammer Test (HT) sama-sama menunjukkan pola penurunan nilai seiring dengan meningkatnya suhu pembakaran. Pola ini mengindikasikan adanya hubungan langsung antara kenaikan suhu dengan tingkat degradasi kualitas beton, baik dari sisi struktur internal maupun karakteristik permukaannya. Kenaikan suhu menyebabkan perubahan fisik dan kimia pada beton, seperti penguapan air bebas, dehidrasi produk hidrasi semen, serta pembentukan mikroretak, yang secara kumulatif menurunkan kemampuan beton dalam menghantarkan gelombang ultrasonik maupun menahan energi tumbukan palu pantul.

Pada suhu 300°C, nilai rata-rata hasil pengujian masih relatif tinggi (sekitar ± 320), yang menunjukkan bahwa meskipun beton telah mengalami pemanasan, kondisi strukturnya masih tergolong cukup baik. Pada rentang suhu ini, kerusakan yang terjadi umumnya masih terbatas pada tahap awal, seperti hilangnya sebagian air terikat dan terbentuknya mikroretak halus yang belum berkembang secara signifikan. Oleh karena itu, baik UPV maupun Hammer Test masih mampu merekam nilai yang relatif tinggi, mencerminkan bahwa beton masih mempertahankan sebagian besar integritas strukturnya.

Ketika suhu meningkat hingga 450°C, terjadi penurunan nilai yang cukup signifikan ke kisaran ± 204 – 205 . Penurunan ini menunjukkan bahwa beton telah mengalami degradasi mikrostruktur yang lebih nyata, terutama akibat terjadinya dehidrasi kalsium hidroksida dan

melemahnya ikatan antar pasta semen dan agregat. Kondisi ini berdampak langsung pada menurunnya kecepatan rambat gelombang ultrasonik serta berkurangnya kekerasan permukaan beton. Pada tahap ini, kedua metode NDT secara konsisten merefleksikan adanya penurunan mutu beton yang cukup besar.

Pada suhu 600°C, nilai kembali mengalami penurunan yang lebih drastis, yaitu sekitar ± 136 untuk UPV dan ± 167 untuk Hammer Test. Perbedaan nilai antara kedua metode pada suhu ini menjadi indikasi penting bahwa kerusakan internal beton lebih parah dibandingkan kerusakan pada permukaannya. UPV, yang sensitif terhadap kondisi internal beton, menunjukkan nilai yang lebih rendah, mengindikasikan adanya mikroretak yang meluas, porositas yang meningkat, serta kemungkinan terjadinya kerusakan pada struktur agregat. Sementara itu, Hammer Test yang lebih merepresentasikan kondisi permukaan masih memberikan nilai yang relatif lebih tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa permukaan beton belum sepenuhnya mencerminkan tingkat kerusakan yang terjadi di bagian dalam.

Secara keseluruhan, kedua metode NDT menunjukkan tren yang konsisten, yaitu semakin tinggi suhu pembakaran, semakin rendah kualitas beton yang terdeteksi. Namun, terdapat perbedaan karakteristik sensitivitas di antara keduanya. UPV terbukti lebih sensitif dalam mendeteksi degradasi pada suhu tinggi karena mampu menangkap perubahan pada struktur internal beton, sedangkan Hammer Test lebih menggambarkan kondisi lapisan permukaan.

Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa:

1. UPV dan Hammer Test sama-sama efektif dalam menunjukkan kecenderungan penurunan mutu beton akibat kenaikan suhu.
2. UPV lebih unggul dalam mengidentifikasi kerusakan internal beton pasca kebakaran.
3. Hammer Test tetap berguna sebagai indikator awal kondisi permukaan beton.
4. Penggunaan kedua metode secara bersamaan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi beton dibandingkan penggunaan salah satu metode saja.

Dengan demikian, untuk evaluasi beton pasca kebakaran, kombinasi metode UPV dan Hammer Test sangat direkomendasikan karena mampu memberikan informasi yang saling melengkapi mengenai kondisi internal dan permukaan beton, sehingga menghasilkan penilaian mutu beton yang lebih akurat dan andal.

4. Korelasi Hasil Pengujian NDT:

Korelasi antara UPV, Hammer Test, dan Kekuatan Tekan: Dari hasil yang diperoleh, terdapat korelasi yang jelas antara hasil UPV dan Hammer Test dengan kekuatan tekan beton. Beton yang memiliki nilai UPV dan rebound hammer test yang tinggi cenderung menunjukkan kekuatan tekan yang lebih baik. Sebaliknya, beton dengan nilai UPV dan rebound hammer test yang rendah menunjukkan kekuatan tekan yang lebih buruk. Oleh karena itu, meskipun NDT memberikan informasi yang berguna untuk evaluasi awal, DT tetap diperlukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat mengenai kemampuan beton menahan beban setelah terpapar panas.

Data menunjukkan adanya hubungan positif antara nilai UPV dan nilai Hammer Test. Ketika nilai UPV menurun akibat peningkatan suhu, nilai rebound hammer juga mengalami penurunan.

Hal ini menunjukkan bahwa:

- UPV sensitif terhadap perubahan struktur internal beton (retak mikro dan porositas).
- Hammer Test sensitif terhadap kekerasan permukaan beton.

Meskipun demikian, pada suhu tinggi (600°C), terdapat selisih nilai yang lebih besar antara UPV dan Hammer Test. Hal ini menunjukkan bahwa:

UPV lebih mampu mendeteksi kerusakan internal beton dibandingkan Hammer Test yang hanya mengukur kondisi permukaan.

5. Sejauh Mana UPV dan Hammer Test Dapat Digunakan untuk Menganalisis Kekuatan Beton dan Mendeteksi Kerusakan Akibat Panas:

Metode UPV dan Hammer Test dapat digunakan sebagai alat evaluasi awal (preliminary assessment) untuk:

- Mengidentifikasi penurunan mutu beton akibat paparan suhu tinggi
- Memperkirakan kuat tekan residu beton
- Mendeteksi indikasi retak mikro

Namun terdapat perbedaan sensitivitas:

- UPV lebih efektif untuk mendeteksi kerusakan internal, karena mengukur kecepatan rambat gelombang melalui seluruh volume beton.
- Hammer Test lebih efektif untuk evaluasi cepat di lapangan, namun hanya menggambarkan kondisi permukaan beton.

Pada suhu 450–600°C, metode UPV menunjukkan penurunan yang lebih tajam dibanding Hammer Test, yang mengindikasikan bahwa kerusakan internal terjadi lebih dahulu sebelum kerusakan permukaan terlihat jelas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh pembakaran terhadap beton sangat signifikan terutama pada suhu tinggi kekuatan beton menurun seiring dengan kenaikan suhu, terutama pada suhu di atas 450°C, dan pada suhu lebih dari 600°C, beton menjadi sangat rapuh dan kehilangan sebagian besar kemampuan strukturalnya, namun pada suhu 300°C beton tidak mengalami penurunan kuat tekan.
2. Perubahan yang terjadi pada beton setelah terpapar suhu tinggi, baik secara fisik adalah beton yang dipanaskan pada suhu 300°C menunjukkan perubahan warna minimal dan permukaan yang masih utuh, dengan retakan mikro yang hampir tidak terlihat. Namun, ketika beton dipanaskan pada suhu 450°C, retakan halus mulai muncul dan permukaan beton menjadi lebih kasar dan tidak homogen. Pada suhu 600°C, beton mengalami kerusakan struktural yang signifikan, dengan retakan makro dan agregat yang terlepas, Begitu juga terjadi perubahan struktural pada beton pada suhu 450°C kuat tekan beton menurun sebesar 40.32% pada uji UPV serta 31.32% menurun kuat tekan pada uji Hammer Test, begitu juga pada suhu 600°C mengalami penurunan kuat tekan sebesar 64.35% pada uji UPV dan penurunan kuat tekan sebesar 44.05% pada uji Hammer Test, namun pada pembakaran 300°C kuat tekan tidak mengalami perubahan.
3. Metode UPV dalam mendeteksi kerusakan beton akibat panas terbukti lebih efektif dalam mendeteksi kerusakan internal beton, terutama pada suhu tinggi, karena gelombang ultrasonik sangat dipengaruhi oleh retak mikro dan peningkatan porositas. Begitu juga Hammer Test lebih efektif sebagai metode cepat untuk evaluasi awal di lapangan, meskipun kurang sensitif terhadap kerusakan internal.
4. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa UPV memberikan informasi lebih lengkap tentang kualitas beton secara keseluruhan, termasuk kerusakan internal yang dapat memengaruhi kekuatan struktural beton akibat suhu tinggi sedangkan Hammer Test lebih efektif untuk menilai kekuatan permukaan beton, tetapi tidak cukup untuk mendeteksi kerusakan internal yang lebih dalam. UPV dan Hammer Test memberikan hasil evaluasi yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu metode saja. Secara keseluruhan, kedua metode ini saling melengkapi. UPV lebih cocok untuk memberikan gambaran yang lebih detail tentang kerusakan pada beton akibat suhu

tinggi, sedangkan Hammer Test lebih mudah dan cepat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan permukaan beton.

Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi suhu yang lebih banyak serta waktu pembakaran yang berbeda untuk mendapatkan gambaran degradasi beton yang lebih komprehensif.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi pengaruh suhu lebih tinggi dan variasi jenis material pada kualitas beton menggunakan metode non-destruktif ini.
3. Perlu dilakukan pengujian tambahan seperti uji tarik belah, uji modulus elastisitas, atau analisis mikrostruktur untuk melengkapi hasil penelitian.
4. Penggunaan UPV dan Hammer Test dapat mempercepat proses evaluasi kualitas beton, mengurangi biaya dan waktu yang dibutuhkan dalam pengujian destruktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaa Omar Tanash, B. A. (2023). *Materials Today: Proceedings*. Effect of elevated temperature on mechanical properties of normal strength, 152-157.
- Amin, I. R., ST, MT, A., Manurung, D. H., Puro, S., Garcya, M. G., Halimatusadiyah, . . . Ananda, F. (2026). Pengaruh Limbah Plastik pada Beton di Proyek Sipil. Jakarta.
- Amin, S.T., M.T, I. R., Alvisyahri, Manurung, S.T., M.T., M.M., M.H, D. H., Puro, I., Garcya, M. G., Halimatusadiyah, . . . Ananda, F. (2026). Pengaruh Limbah Plastik pada Beton di Proyek Sipil. Jakarta: CV Rey Media Grafika.
- Amri, S. (2005). *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Bayusari. (2006). Mengkaji perilaku mekanis beton setelah mengalami pembakaran.
- Hertz, K. D. (2005). Concrete strength for fire safety design. . *agazine of Concrete Research*, 57(8), 445–453.
- Hertz, K. D. (2005). Concrete strength for fire safety design. *Magazine of Concrete Research*, 57(8), 445–453.
- Institute, A. C. (2019). ACI 318 – Building Code Requirements for Structural Concrete.
- Ir. Kardiyo Tjokrodinuljo. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit.
- Kodur, V. (2014). Properties of concrete at elevated temperatures. *ISRN Civil Engineering*, 1–15.
- Kodur, V. K. (2007).ritical factors governing the fire performance of high strength concrete systems. *Fire Safety Journal*, 42(6–7), 482–488.
- Kurniawan, D., & Rahmat, A. (2018). Studi Kekuatan Beton Pasca Kebakaran dan Pengaruhnya terhadap Konstruksi Bangunan. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 21(3), 110-120.
- Malhotra, V. M. (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*". Florida, USA: CRC Press.
- Manurung, E. H., & Mubarak, A. (2025). Penerapan Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Dalam Dunia Industri. *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 21-30.
- Mehta, P. K. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Naibaho, Pio, R., Manurung, Edison, H., & Pangangian, J. (2025). *Laboratories Teknik Sipil, Sebagai Penjaminan Mutu Konstruksi*. Jakarta: Askara Sastra Media.
- Neville, A. M. (2012). *Properties of Concrete* (edisi ke-5) oleh A. M. Neville (2012). Harlow, Essex, United Kingdom: Pearson Education Limited.
- Nilson, A. H. (2010). *Design of Concrete Structures* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Phan, L. T. (2021). *ACI Materials Journal*. Effects of Test Conditions and Mixture Proportions on Behavior of High-Strength Concrete Exposed to High Temperatures, 54-66.
- Rashad, A. M. (2013). A comprehensive overview about the influence of fire exposure on concrete properties. *Construction and Building Materials*, 49, 296–302.
- Rashad, A. M. (2018). Effect of high temperature on strength and mass loss of admixed concretes. *Construction and Building Materials*, 182, 1–12.
- Samekto, W. &. (2001). *Teknologi beton*. Yogyakarta: Kanisius.
- Setyowati, E. W. (2016). Pengaruh Perubahan Mikrostruktur Beton Akibat Suhu Tinggi Terhadap

- Lebar Retak Balok Beton Bertulang. *Rekayasa Sipil* 10, no. 2, 106-113.
- Siregar, H., & Lestari, W. (2019). Pengaruh Suhu Tinggi terhadap Kekuatan Tekan Beton: Studi Kasus Pada Beton Bertulang. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 13(2), 75-83.
- Suryadi, B., & Purnomo, S. (2020). Perubahan Struktur Mikro Beton Pada Suhu Tinggi dan Dampaknya Terhadap Kekuatan Struktural. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 28(4), 142-150.
- Taufieq, N. S., & Ahmad, I. A. (2006). Tinjauan Kelayakan Forensic Engineering Dalam Menganalisis Kekuatan Sisa Bangunan Pasca Kebakaran. Laporan Penelitian Dosen Muda. Jurusan Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar.
- Tufail, M. S. (2017). Mechanical properties of concrete subjected to elevated temperature. *Construction and Building Materials* 156, 748–760.
- Zhang, Q. Y. (2020). Investigation of microstructure and mechanical properties of cement paste exposed to high temperature. *Cement and Concrete Research*, 129, 105964.