



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Evaluasi Kuat Tekan Beton Menggunakan UPV dan *Hammer Test*

Ardian Hanifa^a, Alex Kurniawandy^b, Muhammad Yusa^c

^{a,b,c} Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Kampus Bina Widya, Jl HR Soebrantas km 12,5, Pekanbaru 28293, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 02 Juni 2024

Revisi Akhir: 28 Juni 2024

Diterbitkan Online: 29 Juni 2024

KATA KUNCI

"Concrete Compressive Strength"

"Non-Destructive Testing (NDT)"

"Rebound Hammer Test"

"Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)"

KORESPONDENSI

Telepon: "+62 85363836273"

E-mail: alexkurniawandy@eng.unri.ac.id

A B S T R A C T

Evaluasi kuat tekan beton sangat penting dalam memastikan keandalan dan keamanan struktur bangunan. Berbagai metode, seperti Hammer Test (Rebound Hammer Test) dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), umumnya digunakan dalam industri konstruksi untuk menilai kekuatan beton. Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kuat tekan beton bangunan di Kota Pekanbaru dengan menggunakan metode *Hammer Test* dan UPV. Kurangnya data spesifik tentang kekuatan beton di wilayah ini memerlukan pemahaman yang lebih dalam tentang kualitas beton dalam konstruksi dalam iklim dan kondisi lingkungan yang unik di Pekanbaru. Metode: Metodologi penelitian berfokus pada evaluasi kekuatan beton Bangunan Gedung di Kota Pekanbaru dengan metode pengujian non-destruktif, termasuk Uji *hummer test* dari bacaan *rebound* dikonversi ke kuat tekan beton dan uji *ultrasonic pulse velocity* (UPV) dengan membaca kecepatan gelombang ultrasonik kemudian dikonversi ke kuat tekan beton kemudian membandingkan hasil pengujian kedua metode tersebut. Hasil: Hasil evaluasi mutu beton menggunakan metode Hammer Test menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata adalah $f_c' 56$ Mpa, sedangkan dengan metode Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) adalah $f_c' 32$ Mpa. Meskipun demikian, baik hasil Hammer Test maupun UPV menunjukkan bahwa kekuatan beton secara keseluruhan memenuhi atau bahkan melebihi mutu yang direncanakan, yang sebelumnya ditetapkan pada $f_c' 29.05$ Mpa. Berdasarkan perbandingan deviasi antara hasil pengujian NDT dengan mutu rencana menunjukkan bahwa UPV mempunyai deviasi yang lebih kecil yakni 10,37% sementara untuk hummer test mempunyai deviasi yang sangat besar hingga mencapai 103,1%. Hasil ini memberikan keyakinan yang kuat bahwa pengujian NDT dengan menggunakan alat UPV memberikan keakuratan yang cukup tinggi dibandingkan dengan hummer test.

1. PENDAHULUAN

Artikel pada Jurnal Sainstek STT Pekanbaru sepanjang 8-15 halaman dan diunggah dalam format MS Word. Maksimal sebanyak 10 (sepuluh) kata dipergunakan sebagai judul artikel.

Evaluasi kekuatan tekan beton adalah tahap kritis dalam proses konstruksi yang memastikan keandalan dan keamanan struktur bangunan. Dalam upaya untuk memastikan bahwa beton memiliki kekuatan tekan yang memadai, berbagai metode telah dikembangkan dan

digunakan secara luas dalam industri konstruksi. Dua metode yang umum digunakan untuk evaluasi kekuatan tekan beton adalah Hammer Test (Rebound Hammer Test) dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). Dalam pembahasan ini, akan dibahas secara rinci tentang kedua metode tersebut, termasuk prinsip dasar, kelebihan, kelemahan, dan aplikasi praktisnya dalam industri konstruksi.

Metode Hammer Test, atau yang lebih dikenal sebagai Rebound Hammer Test, adalah salah satu metode nondestruktif yang digunakan untuk mengukur kekuatan tekan beton. Prinsip dasar dari metode ini adalah bahwa energi kinetik yang dihasilkan oleh rebound hammer ketika dipukulkan pada permukaan beton, sebagian besar direfleksikan kembali ke perangkat. Besarnya energi yang

direfleksikan kembali ini bergantung pada kekuatan tekan beton. Dengan mengukur nilai rebound, yaitu seberapa jauh palu rebound memantul kembali setelah dipukulkan pada permukaan beton, kita dapat mengestimasi kekuatan tekan beton. Semakin tinggi nilai rebound, semakin tinggi kekuatan tekan betonnya. Metode ini relatif mudah dilakukan dan tidak memerlukan persiapan yang rumit. Namun, ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi akurasi hasil, seperti kualitas permukaan beton, kelembaban, dan kepadatan beton. Selain itu, metode ini juga memiliki batasan dalam mengukur kekuatan beton yang sangat tinggi atau sangat rendah.

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) adalah metode lain yang digunakan untuk mengukur kekuatan tekan beton. Metode ini menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengukur kecepatan rambat gelombang dalam beton. Prinsip dasar dari metode ini adalah bahwa kecepatan gelombang ultrasonik dalam beton bergantung pada kepadatan dan kekuatan beton. Dengan mengukur waktu yang diperlukan bagi gelombang ultrasonik untuk melewati sampel beton, kita dapat menghitung kecepatan gelombang dan dari situ memperkirakan kekuatan tekan beton. UPV sering dianggap lebih akurat daripada Hammer Test karena kurang dipengaruhi oleh faktor permukaan beton dan lebih sensitif terhadap variasi komposisi beton. Metode ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi cacat internal dalam beton, seperti retak atau void, yang dapat mempengaruhi kekuatan struktural.

Dalam prakteknya, kombinasi dari kedua metode ini sering digunakan untuk mendapatkan estimasi yang lebih akurat tentang kekuatan tekan beton. Dengan menggabungkan informasi dari Hammer Test dan UPV, insinyur konstruksi dapat memperoleh pemahaman yang lebih holistik tentang kualitas beton dalam struktur bangunan. Misalnya, jika hasil Hammer Test menunjukkan nilai rebound yang tinggi namun hasil UPV menunjukkan kecepatan gelombang yang rendah, hal ini mungkin mengindikasikan adanya cacat internal atau ketidakhomogenan dalam beton yang tidak terdeteksi oleh metode lainnya. Dengan demikian, penggunaan kombinasi metode ini dapat meningkatkan keandalan dan akurasi dalam mengevaluasi kekuatan tekan beton.

Dalam konteks industri konstruksi, hasil dari evaluasi kekuatan tekan beton memiliki implikasi yang signifikan terhadap keberhasilan proyek konstruksi. Kekuatan tekan beton yang tidak memadai dapat menyebabkan kegagalan struktural, kerusakan bangunan, atau bahkan risiko kecelakaan bagi pengguna bangunan tersebut. Oleh karena itu, penting bagi para profesional konstruksi, termasuk insinyur, arsitek, dan kontraktor, untuk memahami dan menerapkan metode evaluasi kekuatan tekan beton dengan benar dan akurat. Hal ini akan memastikan bahwa struktur bangunan memenuhi standar keamanan dan keandalan yang ditetapkan oleh peraturan konstruksi setempat dan internasional.

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, evaluasi kekuatan tekan beton juga memainkan peran penting dalam memastikan efisiensi penggunaan bahan dan sumber daya. Dengan memahami secara akurat kekuatan beton yang

digunakan dalam suatu proyek konstruksi, para profesional dapat mengoptimalkan desain struktur untuk mengurangi pemborosan bahan dan meminimalkan dampak lingkungan. Ini mencakup pemilihan campuran beton yang tepat, penggunaan teknik konstruksi yang efisien, dan penerapan strategi rekayasa struktural yang inovatif.

Hasil dari evaluasi kekuatan tekan beton memiliki implikasi yang signifikan terhadap keberhasilan proyek konstruksi. Kekuatan tekan beton yang tidak memadai dapat menyebabkan kegagalan struktural, kerusakan bangunan, atau bahkan risiko kecelakaan bagi pengguna bangunan tersebut. Oleh karena itu, penting bagi para profesional konstruksi untuk memahami dan menerapkan metode evaluasi kekuatan tekan beton dengan benar dan akurat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan tekan beton pada gedung-gedung yang dibangun di Kota Pekanbaru menggunakan metode hammer test dan ultrasonic pulse velocity (UPV). Masalah yang ingin diselesaikan adalah kurangnya data yang spesifik mengenai kekuatan beton pada struktur bangunan di daerah tersebut, serta perluasan pemahaman tentang kualitas beton yang digunakan dalam konstruksi di wilayah dengan iklim dan lingkungan yang khas. Melalui mengidentifikasi gap dalam penelitian yang telah ada dan mendesaknya kebutuhan untuk penelitian lebih lanjut dalam memahami kekuatan beton dalam konteks lokal, penelitian ini akan memberikan informasi penting bagi praktisi konstruksi dan pengambil keputusan dalam memastikan keamanan dan keandalan bangunan di Kota Pekanbaru.

2. METODE PENELITIAN

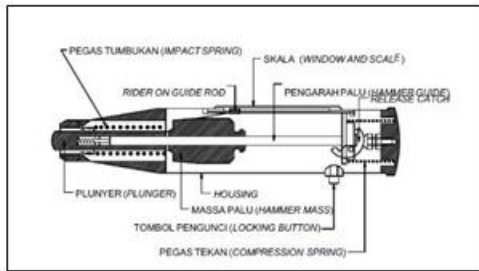
Metodologi penelitian ini berfokus pada evaluasi kekuatan struktur beton pada Gedung Kota Pekanbaru. Lokasi penelitian adalah gedung tersebut. Gedung ini awalnya direncanakan menjadi tujuh lantai, namun saat ini hanya empat lantai yang telah dibangun. Pengujian mutu bahan dilakukan dengan menggunakan metode non destructive test, seperti Schmidt Rebound Hammer, dan Ultrasonic Pulse Velocitymeter (UPV), penelitian digunakan sebagai panduan dalam pelaksanaan penelitian. Dengan demikian, metodologi ini menyediakan kerangka kerja yang komprehensif untuk evaluasi kekuatan struktur beton gedung di Kota Pekanbaru.

Kuat tekan beton merupakan nilai kekuatan sebuah beton dalam memikul beban dalam satuan luas biasanya disebut nilai f'_c untuk metode pengujian slinder dan K untuk metode pengujian kubus.

Metode Pemeriksaan Dengan Tidak Merusak atau disebut *Non Destructive Test* merupakan metode pemeriksaan dengan cara tidak melakukan perusakan terhadap elemen struktur atau benda uji. Metode NDT sangatlah bervariasi di dalam sistem kerja maupun alat yang digunakan untuk uji kekuatan beton namun Metode NDT yang sering digunakan untuk pemeriksaan mutu beton adalah Rebound Hammer atau biasa disebut Hammer Test, dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).

2.1 Hammer Test

Hammer test merupakan alat yang ringan dan praktis dalam penggunaannya. Prinsip kerja *hammer test* adalah dengan memberikan beban tumbukan (*impact*) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan besaran energi tertentu. *hammer test* merupakan metode pengujian kuat tekan beton yang bertujuan untuk memperkirakan nilai kuat tekan beton terpasang yang didasarkan pada kekerasan permukaan beton



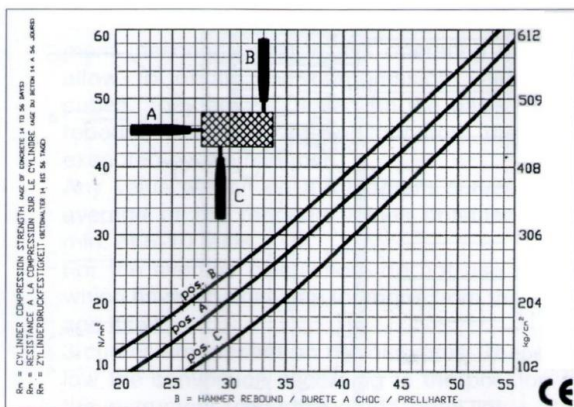
Gambar 1. Sketsa Alat Hammer Test
(Sumber : RSNI 4803:2012)

Dalam menghitung kuat tekan beton dengan hammer test kita perlu mengalikan faktor koreksi yang berasal dari nilai kalibrasi alat dapun rumus untuk menghitung nilai kuat tekan beton dengan *Hammer Test* yaitu sebagai berikut.

$$\text{Kalibrasi} = \text{Standard } i / \Sigma \text{nilai} \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Kuat Tekan} = \Sigma \text{ bacaan dial} \times \text{Kalibrasi} \dots \dots (2.2)$$

Selanjutnya hubungan antara nilai rebound (R) terhadap kuat tekan beton (*Strenght*) di tentukan berdasarkan grafik pada gambar 2



Gambar 2. Hungan Nilai R dan Strenght
(Sumber : Manual Book Matest,2023)

2.2 Ultrasonic Pulse Velocity

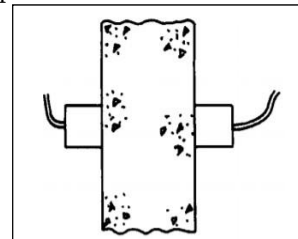
Uji UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) merupakan salah satu uji non-destruktif struktur bangunan gedung dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang mana metode uji ini mencakup penentuan kecepatan rambat gelombang longitudinal melalui beton. (SNI AASTM C597 : 2012)



Gambar 3. Alat UPV
(Sumber : Manual Matest)

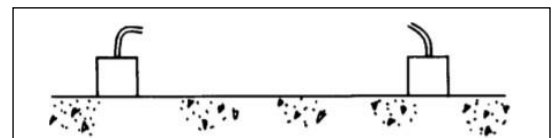
Pengujian UPV dapat dilakukan dengan 3 metode, yaitu metode langsung (*direct*), metode tidak langsung (*indirect*), dan metode semi langsung (*semi direct*).

Direct transmission atau metode langsung, yaitu ~~dan~~ receiver dan transmitter diletakkan saling berhadapan tegak lurus pada dua permukaan beton yang berbeda, sehingga menghasilkan lintasan gelombang yang tegak lurus dengan permukaan transducer



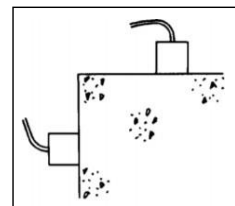
Gambar 4. Metode Langsung
(Sumber : Bungey,1996)

Indirect transmission atau disebut metode tidak langsung, yaitu diaman receiver dan transmitter diletakkan sejajar pada permukaan beton yang sama. Biasanya metode ini dilakukan karena hanya ada satu sisi beton saja yang dapat dijangkau untuk pengujian UPV.



Gambar 5. Metode Tidak Langsung
(Sumber : Bungey,1996)

Semi-direct transmission atau disebut metode semi langsung), yaitu receiver dan transmitter di letakkan pada dua sisi beton yang berbeda dan tidak berhadapan



Gambar 6. Metode Semi-Langsung
(Sumber : Bungey,1996)

Cara kerja UPV adalah dengan memberikan getaran gelombang longitudinal lewat transducer melalui cairan perangkat yang berwujud sejenis gel yang dioleskan pada permukaan transducer sebelum ditempelkan

kepermukaan beton, cairan ini berfungsi untuk menutup udara dari luar diantara permukaan transducer dengan permukaan beton yang akan diuji. Pada saat gelombang merambat dalam medium berbeda, yaitu gel dan beton, pada batas beton dan gel akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang transversal dan longitudinal. Pertama kali yang mencapai transducer penerima adalah gelombang longitudinal. Oleh transducer, gelombang ini diubah menjadi sinyal gelombang elektronik yang dapat dideteksi oleh transducer penerima, sehingga waktu tempuh gelombang dapat diukur. Waktu tempuh T yang dibutuhkan untuk merambatkan gelombang pada lintasan beton sepanjang L dapat diukur, sehingga kecepatan gelombang dapat dicari dengan rumus (Lawson dkk, 2011).

$$V = \frac{L}{T} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

V = Kecepatan gelombang longitudinal (m/detik)

L = Panjang lintasan beton yang dilewati (m)

T = Waktu tempuh gelombang ultrasonik sepanjang lintasan L (detik)

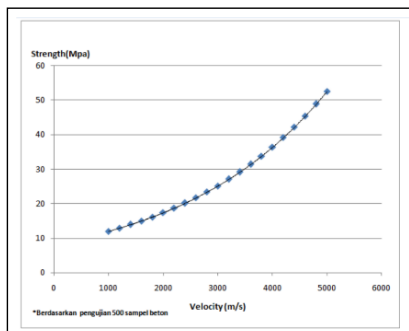
Alat uji yang tersedia saat ini membatasi panjang lintasan sekitar minimum 100 mm, tergantung pada frekuensi dan intensitas dari sinyal yang dihasilkan. Untuk mengetahui standar nilai dari UPV dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hubungan UPV dengan Kualitas Beton

Pulse Velocity (km/det)	Result
< 2,13	Kurang
2,13 – 3,05	Cukup
3,06 – 3,66	Cukup Baik
3,67 – 4,57	Baik
>4,57	Sangat Baik

(Sumber: Jurnal Teknik Sipil Siklus, Vol. 2, No. 2, Oktober 2016)

Di Indonesia saat ini belum ada standar persamaan UPV untuk menentukan nilai velocity dan kuat tekan beton. jika menggunakan persamaan hasil negara luar Indonesia yang memiliki karakteristik bahan berbeda dengan di Indonesia, maka penelitian ini persamaan yang digunakan adalah persamaan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan 500 sampel beton dengan mengacu pada British standard mengenai pengujian sampel.



Gambar 7. Kurva Konversi Mutu UPVT
(Sumber : Ridho, F. & Khoeri, H. 2015)

Berdasarkan grafik pada Gambar 7 diatas dapat kita

lihat persamaan konversi nilai velocity (m/s) terhadap nilai kuat tekan beton (Mpa) yang dapat dihitung dengan Persamaan dibawah.

$$y = 8,31346e^{0,000369x} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

y = Mutu Kuat Tekan (Mpa)

x = Velocity (m/s)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian non-destructive test (NDT) dilakukan secara menyeluruh untuk memeriksa kekuatan dan integritas elemen struktur, termasuk kolom, balok, dan pelat lantai. Metode NDT yang digunakan meliputi Hammer Test dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). Hasil pengujian ini memberikan informasi penting tentang kondisi material dan kualitas konstruksi.

Berdasarkan data dokumen pelaksanaan pembangunan gedung ini didapatkan mutu rencana beton untuk kolom, balok dan pelat lantai adalah 29,05 Mpa

Hasil hammer Test memberikan gambaran mengenai kuat tekan beton pada elemen struktur. Pengujian dilakukan pada 7 titik elemn struktur terdiri dari elemen kolom (K1A,K1, K1B) , balok (G1C, G4B, G8B) dan pelat lantai (S-1)

Tabel 2. Hasil Pengujian Hummer test

Elemen Struktur	Titik	Sudut Pantul	R Rata Rata 10 Pantulan	Faktor Koreksi Alat	R KOREKSI	Strenght
						Fc' (Mpa)
Kolom	K-1A	A	47.8	1	48	54.1
Kolom	K1	A	49.8	1	50	58.1
Kolom	K-1B	A	47	1	47	52.5
Balok	G-1C	C	56.6	1	57	68.3
Balok	G-4B	C	51.4	1	51	56.0
Balok	G-8B	C	60.4	1	60	78.0
Plat	S-1	B	40.7	1	41	46.1
Rata Rata						59.0

Sumber: Data Olah Peneliti (2024)

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat nilai f'_c terkecil adalah 46,1 Mpa dan terbesar adalah 78,0 Mpa dengan rata rata 59,0 Mpa

Selanjutnya, penggunaan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) memberikan pemahaman mendalam tentang kualitas beton, dengan nilai rata-rata f'_c 32 Mpa.

Tabel 3. Hasil Pengujian UPV

No	Titik	Jarak Transducer	UPV			Strenght
			Trans it Time	Velocit y	Rata-rata Velocit y	
			m	µs	m/s	
1	K1-A	0.6	145.6	4121	4131	33.9
			145.6	4121		
			144.5	4152		
2	K1	0.7	172.3	4063	3919	31.8
			194.8	3593		
			170.7	4101		

3	K1-B	0.5	145.7	3432	3845	31.1
			123.7	4042		
			123.1	4062		
4	G-1C	0.4	103.3	3872	3917	31.8
			102.2	3914		
			100.9	3964		
5	G-4B	0.4	99.6	4016	3852	31.2
			107	3738		
			105.2	3802		
6	G-8B	0.3	72.8	4121	4262	35.3
			69.1	4342		
			69.4	4323		
7	S-1	0.234	67.7	3456	3601	28.8
			60.4	3874		
			67.4	3472		
Average						32.0

Sumber: Data Olah Peneliti (2024)

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat pada setiap titik elemen struktur di ambil data 3 data kecepatan waktu gelombang yakni pada lokasi tumpuan, lapangan dan tumpuan. Sementara untuk velocity dihitung berdasarkan persamaan 2.3 dan hubungan antara velocity dan nilai strenght dihitung berdasarkan grafik pada gambar 6 dan persamaan 2.4

Pada titik K1A, K1, K1B yang mana titik tersebut merupakan elemen kolom dan G1C, G4B, G8B yang mana titik tersebut merupakan elemen balok Pengambilan data kecepatan gelombang ultrasonic dilakukan dengan metode langsung (*direct*), sementara untuk Titik S-1 merupakan element Pelat lantai diambil dengan metode tidka langsung (*indirect*)

Seperti dapat dilihat tabel 2 dan tabel 3 terjadi perbedaan yang sangat besar hasil pengujian hummer test dan UPV padahal titik pengujian tersebut dilakukan pada titik uji yang sama.

Selanjutnya perlu dilakukan perbandingan bagaimana deviasi hasil pengujian tersebut terhadap mutu beton rencana. Adaun hasil perhitungan deviasinya adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Deviasi

No	Titik	UPV	Deviasi UPV	Hummer	Deviasi Hummer
		Compressive Strength	Terhadap Mutu rencana	Compressive Strength	Terhadap Mutu rencana
		Mpa	%	Mpa	%
1	K1-A	33.9	16.86%	54.1	86.23%
2	K1	31.8	9.52%	58.1	99.87%
3	K1-B	31.1	7.04%	52.5	80.88%

4	G-1C	31.8	9.44%	68.3	135.02%
5	G-4B	31.2	7.27%	56.0	92.63%
6	G-8B	35.3	21.53%	78.0	168.35%
7	S-1	28.8	0.91%	46.1	58.76%
Average			10.37%	103.10%	

Sumber: Data Olah Peneliti (2024)

Berdasarkan hasil pada tabel 4 dapat kita lihat deviasi hasil UPV terhadap mutu renncan adalah 10,37 % sementara hummer test 103,1 % hal ini menunjukkan bahwa pengujian dengan metode UPV lebih mendekati mutu beton rencana sesuai dengan dokuemn pelaksanaan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil evaluasi mutu beton menggunakan metode Hammer Test menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata adalah $f_c' 56$ Mpa, sedangkan dengan metode Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) adalah $f_c' 32$ Mpa. Perbandingan ini menunjukkan tidak adanya konsistensi hasil pengujian hummer test dengan UPV. Meskipun demikian, baik hasil Hammer Test maupun UPV menunjukkan bahwa kekuatan beton secara keseluruhan memenuhi atau bahkan melebihi mutu yang direncanakan, yang sebelumnya ditetapkan pada $f_c' 29.05$ Mpa

Berdasarkan perbandingan deviasi antara hasil pengujian NDT dengan mutu rencana menunjukan bahwa UPV mempunyai deviasi yang lebih kecil yakni 10,37% sementara untuk hummer test mempunyai deviasi yang sangat besar hingga mencapai 103,1%. Hasil ini memberikan keyakinan yang kuat bahwa pengujian NDT dengan menggunakan alat UPV memberikan keakuratan yang cukup tinggi dibandingkan dengan *hummer test*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ernawati, Tumingan, David Widiyanto, budi nugroho. (2022). Evaluasi Kuat Tekan Beton Menggunakan Hammer Test Dan Ultrasonic Pulse Velocity (Upv) Pada Jembatan Kuala Samboja. GSmart: Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda,
- [2] Ariyanto, A. S. (2020). Metode Perbaikan Pencegahan Arief Subakti Ariyanto. (2020). Metode Perbaikan Pencegahan Beton Bunting Pada Pelaksanaan Konstruksi Beton (Studi Kasus Apartemen Dan Hotel

- Candi Land Semarang). Bangun Rekaprima, 06, 21–29.
- [3] Astuti Masdar, Zuly Nelriski Wati, Umar Khatab, Anita Dewi Masdar, & Noviarti. (2023). Asesmen Gedung Serba Guna Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh (Assessment of the Multipurpose Building of Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh). *Journal of Civil Engineering and Planning*, 4(1), 72–81.
- [4] Darmansyah Tjitradi, Eliatun Eliatun, & Oktafianus Steven Tjitradi. (2020). Pemodelan Kerusakan Bangunan Akibat Penurunan Pondasi Di Lahan Basah Kota Banjarmasin. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 3(2), 16.
- [5] James Rilatupa. (2020). Peranan Arsitek Pada Sistem Pemeliharaan Dan Perawatan Bangunan. *UKI Press*.
- [6] Pinondang Simanjuntak. (2020). Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Di Indonesia. *E-Journal Centech*, 1(1), 44–53.
- [7] Sandi Wahyudiono, Aulia Indira Kumalasari, & Zamzami Septiropa. (2023). Pendampingan Kegiatan Pengecekan Struktur Bangunan Pada Pengelola Pondok Pesantren Entrepreneur Muhammadiyah Gondanglegi. *Jurnal Pengabdian Dan Peningkatan Mutu Masyarakat*, 4(1), 82–91.
- [8] Tawio, & Usman Wijaya. (2018). Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja Edisi Kedua. *Surabaya: Andi Yogyakarta*.
- [9] M. Duncan. "Engineering Concepts on Ice. Internet: www.iceengg.edu/staff.html, Oct. 25, 2000 [Nov. 29, 2003].
- [10] S. Mack. "Desperate Optimism." M.A. thesis, University of Calgary, Canada, 2000.