



Pemanfaatan Teknologi *Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity* pada Pengujian Kualitas Mutu Elemen Struktur Bangunan Gedung

Rilya Rumbayan¹, Sudarno², Julius Tenda³, Fandel Maluw⁴

Program Studi D-IV Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado, 95252 ^{1,2,3}

E-mail korepondensi: rilyarumbayan@sipil.polimdo.ac.id

Abstrak

Ketahanan konstruksi bangunan gedung selama masa layan yang direncanakan sangat ditentukan oleh kualitas mutu elemen strukturnya. Nilai kuat tekan merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi mutu elemen struktur beton. Teknologi hammer test (HT) dan ultrasonic pulse velocity (UPV) adalah metode uji tak merusak yang sering digunakan untuk menentukan kuat tekan beton pada struktur di lapangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk memprediksi kuat tekan beton pada elemen struktur balok, kolom, dan pelat dengan menggunakan metode HT dan UPV. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian lapangan dan analisa berdasarkan standar SNI 03-4430-1997 untuk HT dan standar SNI C597-2012 untuk UPV. Objek penelitian ini adalah elemen-elemen struktur pada salah satu bangunan gedung perkuliahan di Politeknik Negeri Manado. Total pengujian HT dan UPV yang diambil sebagai sampel adalah 20 titik pada kolom, balok, dan pelat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prediksi kuat tekan rata-rata elemen struktur kolom dengan menggunakan metode HT berkisar 245 kg/cm² dan menggunakan metode UPV berkisar 283 kg/cm². Untuk prediksi kuat tekan rata-rata elemen struktur balok dengan menggunakan metode HT berkisar 289 kg/cm² dan menggunakan metode UPV berkisar 339 kg/cm². Sedangkan untuk prediksi kuat tekan rata-rata elemen struktur pelat dengan menggunakan metode HT berkisar 170 kg/cm² dan menggunakan metode UPV berkisar 244 kg/cm². Hasil pengujian kualitas mutu elemen struktur bangunan gedung yang diperoleh ini masih memenuhi syarat mutu beton seperti yang direncanakan.

Kata kunci— Elemen struktur, hammer test, kuat tekan beton, ultrasonic pulse velocity

1 PENDAHULUAN

Untuk menjamin keselamatan dan kehandalan struktur beton, guna mewujudkan infrastruktur yang berkelanjutan, diperlukan penilaian kondisi struktur dan tindakan pemeliharaan selama umur rencana struktur. Sistem monitoring kesehatan struktur, yang mencakup pemeriksaan lapangan, pengambilan data dengan menggunakan teknologi uji tak merusak, dan pengembangan eksperimental, dapat memberikan informasi yang aktual untuk menilai kondisi struktur. Keuntungan utama dari metode pengujian tak merusak adalah untuk menghindari kerusakan beton pada kinerja komponen struktural bangunan.

Kuat tekan beton adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengontrol mutu sebuah beton. Metode pengujian kuat tekan beton yang dianggap tingkat keandalannya paling tinggi adalah pengujian menggunakan alat *compressive testing machine* yang terkategorii sebagai metode *destructive testing*. Pengujian ini membutuhkan biaya relative tinggi dan waktu pengerjaan lebih lama. Untuk pengujian yang perlu dilakukan langsung di lapangan dibutuhkan metode yang lebih efektif dan efisien yaitu pengujian tanpa merusak (*non-destructive testing*) pada struktur beton. Saat ini telah berkembang teknologi-teknologi yang relatif lebih cepat dalam melakukan evaluasi penilaian kekuatan struktur bangunan eksisting, diantaranya adalah *hammer test* (HT) dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV).

Pada penelitian ini akan memprediksi kualitas mutu elemen struktur beton bangunan gedung dengan memanfaatkan teknologi HT dan UPV. Metode pengujian HT dilakukan dengan memberikan beban tumbukan pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Jarak pantulan yang timbul dari massa tersebut pada saat terjadi tumbukan dengan permukaan beton benda uji dapat memberikan indikasi kekerasan. Hammer test dapat digunakan untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur dan mendapatkan perkiraan kuat tekan beton (Bungey et al, 2006). Sedangkan metode UPV merupakan pengukuran kecepatan pulsa ultrasonik melalui beton dengan pemancar (*transducer*) dan penerima (*receiver*). Metode ini dapat dilakukan pada benda uji di laboratorium atau di lapangan. Prinsip kerja pengujian UPV adalah dengan memanfaatkan rambatan gelombang ultrasonik yang dikeluarkan oleh *transducer* pengirim (T) pada benda kerja dan kemudian gelombang baliknya ditangkap oleh *receiver* (R). Gelombang yang diterima ini dapat diukur intensitasnya dan waktu perambatan atau resonansi yang ditimbulkan sehingga pada umumnya pemeriksaan UPV didasarkan pada perbedaan intensitas gelombang yang diterima serta waktu perambatannya (Lin et al, 2003). Untuk pengaplikasian pengujian dengan menggunakan kedua metode ini, maka dipilih salah satu bangunan perkuliahan di Politeknik Negeri Manado, dimana data-data perencanaan mutu beton untuk elemen-elemen strukturnya sudah tersedia, sehingga dapat dibandingkan hasilnya (Uling, 2018). Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk memprediksi kuat tekan beton pada elemen struktur kolom, balok dan pelat dengan menggunakan metode HT dan UPV, serta membandingkan hasil kuat tekan beton hasil pengujian HT dan UPV dengan kuat tekan beton rencana.

2 DASAR TEORI

2.1 Hammer Test

Hammer test merupakan suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton. Metode pemeriksaan ini dilakukan pada pengujian-pengujian setempat dan bersifat tidak merusak struktur dengan kelebihan-kelebihannya yang dapat digunakan dengan mudah dan pengujianya dapat dilakukan dengan cepat, serta dapat memperoleh data yang cukup banyak dengan biaya murah. Fungsi dari teknologi HT ini adalah dapat memeriksa keseragaman kualitas pada struktur beton dan memperkirakan nilai kuat tekan beton (Mawardi, 2003).

Prinsip pengujian HT dilakukan dengan memberikan beban *impact* (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energy yang besarnya tertentu. Pengujian dengan metode ini perlu pengambilan beberapa kali pengukuran disekitar lokasi pada saat pengukuran yang kemudian hasilnya dirata-ratakan sesuai dengan standar dan pengambilan dilakukan antara 9 sampai 25 titik untuk setiap daerah

pengujian dengan jarak antar titik adalah 5 cm (ASTM C805). Standar pengujian hammer test yang digunakan dapat mengacuh pada SNI 03-4430-1997 tentang Metode Pengujian Elemen Struktur Beton Dengan Alat Palu Beton (*Hammer Test*)". Gambar 1 memperlihatkan *hammer test* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Alat hammer test yang digunakan

Keungulan-keunggulan teknologi ini antara lain: a) pengukuran bisa dilakukan dengan cepat; b) mudah digunakan; dan c) tidak merusak. Namun disamping itu, teknologi ini memiliki keterbatasan, diantaranya adalah relative sulit dalam mengkalibrasi hasil pengujian dan hanya memberikan informasi mengenai karakteristik beton pada permukaannya saja. Hasil *hammer test* secara signifikan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kehalusan permukaan, ukuran, bentuk, dan kekakuan dari benda uji, umur benda uji, permukaan dan kondisi kelembaban internal dari beton (Bungey et al, 2006).

2.2 Ultrasonic Pulse Velocity

Ultrasonic Pulse Velocity adalah metode yang digunakan untuk mengukur kecepatan hantaran dari gelombang (*pulse velocity*) ultrasonik yang melewati suatu beton. Pengujian ini dapat dilakukan untuk mengetahui mutu beton pada struktur beton bangunan gedung seperti, balok, kolom dan pelat melalui pengukuran percepatan gelombang ultrasonic pada struktur beton yang akan di uji. Selain itu, fungsi UPV juga dapat mendeteksi adanya diskontinuitas atau tidak seimbang seperti cacat dalam, cacat permukaan, dan cacat dekat permukaan pada beton (Juarti dan Noorlaelasari, 2017).

Prinsip dasar UPV adalah memanfaatkan rambatan gelombang ultrasonik yang dikeluarkan oleh *transducer* pada benda kerja dan kemudian gelombang baliknya ditangkap oleh *receiver*. Standar pengujian UPV yang digunakan dapat mengacuh pada SNI C597-2012 "Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton (UPV)". Gambar 2 memperlihatkan UPV yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2. Alat ultrasonic pulse velocity yang digunakan

Keunggulan-keunggulan pengujian UPV ini antara lain: a) kedalaman jangkauan pendeksiyan *discontinuity* lebih baik dari pada metode uji tak merusak lainnya; b) dapat digunakan untuk pengukuran ketebalan; c) tingkat keakuratan yang tinggi dalam menentukan posisi *discontinuity* serta prediksi bentuk dan ukurannya. Namun dilain pihak, teknologi ini memiliki keterbatasan, diantaranya adalah: a) membutuhkan media perantara untuk mentransfer energy suara pada material uji; b) kekasaran pada permukaan yang akan di uji sangat mempengaruhi hasil inspeksi, dan c) membutuhkan *reference standard* untuk kalibrasi alat dan analisis karakteristik dari sinyal yang ditangkap *tranducer*.

3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan melalui tiga tahapan utama yaitu tahap persiapan, tahap pengujian lapangan (*field testing*) dan tahap analisa. Tahap persiapan meliputi persiapan lapangan berupa observasi awal, serta pengumpulan data sekunder seperti gambar rencana dan spesifikasi beton dari objek penelitian. Objek penelitian ini adalah elemen-elemen struktur pada salah satu bangunan perkuliahan di Politeknik Negeri Manado, yang berlokasi di Kelurahan Buha, Kecamatan Mapanget, Kota Manado. Tahap pengujian beton di lapangan dengan metode HT dan UPV mengacuh pada SNI 03-4430-1997 dan SNI C597-2012. Total pengujian HT dan UPV yang diambil sebagai sampel adalah 20 titik pada kolom, balok, dan pelat.

Langkah kerja untuk pengujian HT dimulai dengan persiapan alat seperti palu pantul (*hammer test*), alat anvil, batu penggosok, dan kertas mal. Sebelum melakukan proses pengujian, alat HT perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan alat kalibrasi anvil, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Anvil penguji merupakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 150 mm terbuat dari baja dengan standar kekerasan permukaan tumbukan. Umumnya alat HT menghasilkan angka pantul 80 ± 2 ketika diuji pada Anvil.



Gambar 3. Alat kalibrasi hammer test anvil yang digunakan

Pemilihan permukaan uji elemen beton yang akan diuji harus memiliki tebal minimum 100 mm dan menyatu dengan struktur. Permukaan bidang uji minimum 150 mm, dengan 15 sampai 20 kali tumbukan. Hasil pengukuran dengan menggunakan alat HT juga harus memperhatikan sudut tembakan dan umur beton. Gambar 4 memperlihatkan pelaksanaan pengujian HT pada elemen kolom, balok dan pelat dengan sudut tembakan yang berbeda-beda, sesuai dengan kondisi di lapangan.



Gambar 4. Pengujian hammer test untuk elemen kolom, balok dan pelat

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton menggunakan HT dapat dihitung dengan Persamaan 1 (*Instruction Manual on Concrete Test Hammer Alpha-650X*)

$$F = \alpha n (-184 + 13R_o) \quad (1)$$

dimana: F : Kuat tekan beton (MPa)
 αn : Koreksi umur beton
 R_o : Koefisian yang dihitung menggunakan persamaan 2

$$R_o = R + \Delta R \quad (2)$$

dimana: R : Rata-rata bacaan alat
 ΔR : Koreksi sudut tembakan

Langkah kerja untuk pengujian UPV dimulai dengan mempersiapkan peralatan yang terdiri dari generator kecepatan rambat gelombang, sepasang alat *transduser* (pengirim dan penerima), amplifier, unit untuk menampilkan kecepatan gelombang, dan kabel penghubung. *Transduser* untuk mengubah gelombang pulsa elektronis menjadi pancaran gelombang energi mekanis yang digunakan pada penelitian ini memiliki frekuensi 54 kHz. Selain itu, alat pendukung lainnya seperti meteran, perata permukaan beton dan bahan perantara (*coupling agent*) seperti pelumas atau gemuk untuk menempelkan tranduser dan receiver perlu disiapkan. Sebelum melakukan proses pengujian, alat UPV perlu dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara menempelkan kepala *tranducer* dan *receiver* ditambah *coupling agent* sebagai mediasi kedap udara, yang kemudian dihubungkan dengan fitur “*calibration*” pada alat UPV V-Meter.

Dalam pengujian menggunakan UPV ada 3 macam metode yaitu metode langsung (*direct transmision*) yaitu dimana pengukuran dilakukan dengan cara *receiver transducer* dan *transmitter transducer* diletakan saling berhadapan, metode semi langsung (*semi direct transmission*) yaitu dimana *receiver transducer* dan *transmitter transducer* diletakan pada posisi axial, satu bidang tegak lurus dan satu bidang mendatar, serta metode tidak langsung (*indirect transmission*) yaitu dimana *receiver transducer* dan *transmitter receiver* diletakkan dalam satu bidang datar. Pemilihan metode yang digunakan perlu disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Gambar 5 memperlihatkan pelaksanaan pengujian UPV pada elemen kolom, balok dan pelat dengan metode langsung dan tidak langsung.



Gambar 5. Pengujian upv untuk elemen kolom, balok dan pelat

Untuk menetukan estimasi kuat tekan beton dari hasil pengukuran UPV dapat menggunakan rumus Chung & Law seperti pada Persamaan 3 (Chung, 1983).

$$f'c = 47.66 \times e^{0.558 v_c} \quad (3)$$

dimana: $f'c$: Kuat tekan beton estimasi (kg/cm^2)

v_c : Kecepatan pulsa ultrasonik terukur pada beton (km/det)

e : Nilai eksponensial

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian beton dengan metode HT dan UPV pada elemen dirangkum pada Tabel 1 dan Tabel 2, serta disajikan secara grafis pada Gambar 6.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Hammer Test* Pada Elemen Kolom, Balok Dan Pelat

Elemen struktur	Sudut Tembakkan	R rata-rata	Kuat Tekan	
			MPa	(kg/cm ²)
KOLOM-1	0°	39.85	21.96	223.81
KOLOM-2	0°	39.65	21.79	222.07
KOLOM-3	0°	39.1	21.32	217.28
KOLOM-4	0°	38.7	20.98	213.8
KOLOM-5	0°	35.8	18.5	188.54
KOLOM-6	0°	48.35	29.22	297.85
KOLOM-7	0°	48.15	29.05	296.11
KOLOM-8	0°	48.65	29.48	300.46
Kuat Tekan Rata-Rata (kg/cm ²)				244.99
Standar Deviasi (kg/cm ²)				45.33
Koefisien variasi (%)				18.5
BALOK-1	90°	50.45	27.3	278.69
BALOK-2	90°	51.95	28.6	291.75
BALOK-3	90°	50.9	27.6	281.74
BALOK-4	90°	49.25	26.2	267.36
BALOK-5	90°	53.4	30.2	307.87
BALOK-6	90°	53.3	30.1	306.99
Kuat Tekan Rata-Rata (kg/cm ²)				289.07
Standar Deviasi (kg/cm ²)				16.21
Koefisien variasi (%)				5.61
PELAT-1	(-)90°	29.1	16.11	164.15
PELAT-2	(-)90°	34.3	20.38	207.7
PELAT-3	(-)90°	33.7	19.87	202.47
PELAT-4	(-)90°	27.6	14.82	151.09
PELAT-5	(-)90°	24.5	12.26	124.96
Kuat Tekan Rata-Rata (kg/cm ²)				170.07
Standar Deviasi (kg/cm ²)				34.99
Koefisien variasi (%)				20.57

Sumber : Data primer yang diolah

Hasil pengujian menunjukkan bahwa estimasi kuat tekan rata-rata dengan menggunakan metode HT untuk elemen struktur kolom berkisar 245 kg/cm², balok berkisar 289 kg/cm² dan pelat berkisar 170 kg/cm² dengan koefisien variasi pada kolom 18.50%, balok 5.61%, dan pelat 20.57%. Berdasarkan ACI 214R-02, hasil evaluasi kuat tekan metode HT untuk setiap elemen

kolom dan pelat menunjukkan tingkat keseragaman yang kurang baik (lebih besar dari 6%). Namun untuk elemen balok, tingkat keseragaman hasil evaluasi kuat tekan memberikan hasil yang baik, hal ini diindikasikan dengan hasil koefisien variasi yang didapat kurang dari 6%.

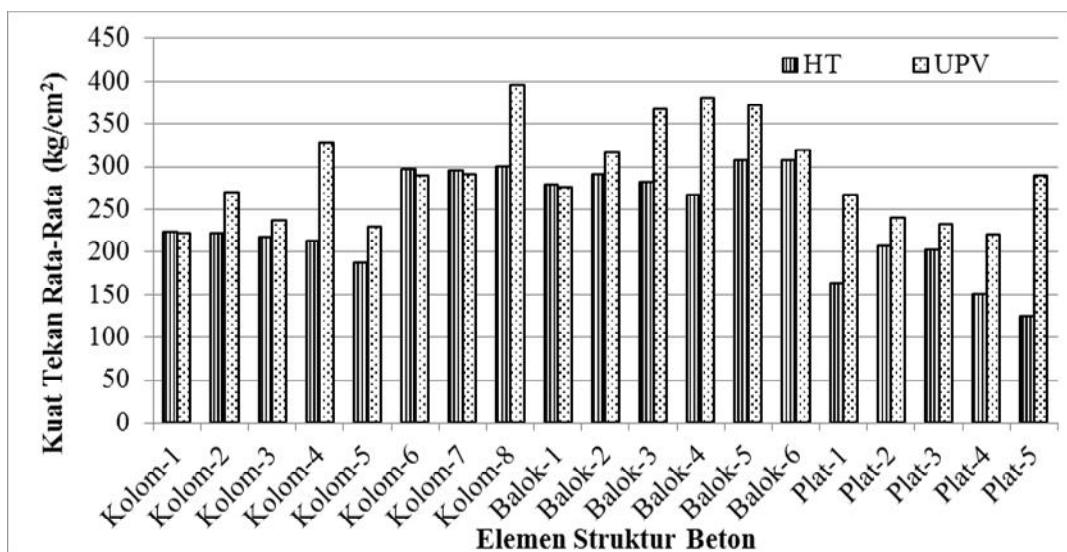
Sedangkan dari nilai standar deviasi yang ada menunjukkan bahwa mutu pelaksanaan pekerjaan beton untuk elemen struktur tersebut masih dalam kategori dapat diterima, mengacuh pada Peraturan Beton Indonesia (PBI, 1971 hal 40). Nilai standar deviasi untuk elemen kolom berkisar 45 kg/cm^2 , balok berkisar 16 kg/cm^2 , dan pelat berkisar 35 kg/cm^2 .

Tabel 2. Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity Pada Elemen Kolom, Balok Dan Pelat

Elemen Struktur	Jarak Lintasan (mm)	Velocity (mm/det)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Kuat Tekan Rata-Rata (kg/cm ²)
KOLOM-1	300	2.76	222.06	222.06
KOLOM-2	300	3.11	270.104	270.11
KOLOM-3	200	2.854	236.962	236.96
KOLOM-4	200	3.456	328.178	328.18
KOLOM-5	200	2.818	229.42	229.42
KOLOM-6	200	3.236	289.81	289.81
KOLOM-7	200	3.232	290.914	290.92
KOLOM-8	200	3.796	396.53	396.53
Rata-Rata Kuat Tekan UPV (kg/cm ²)				283
Standar Deviasi (kg/cm ²)				58.44
Koevisien variasi (%)				20.65
BALOK-1	300	3.149	276.244	276.24
BALOK-2	300	3.3916	316.324	316.32
BALOK-3	300	3.6638	368.28	368.28
BALOK-4	300	3.7258	381.112	381.11
BALOK-5	300	3.6808	371.662	371.66
BALOK-6	300	3.4096	319.512	319.52
Rata-Rata Kuat Tekan UPV (kg/cm ²)				338.86
Standar Deviasi (kg/cm ²)				41.3
Koevisien variasi (%)				12.19
PELAT-1	300	3.092	267.432	267.43
PELAT-2	300	2.878	239.526	239.53
PELAT-3	300	2.84	232.33	232.33
PELAT-4	300	2.754	221.216	221.22
PELAT-5	300	3.238	290.196	290.2
PELAT-6	300	2.688	213.608	213.61
Rata-Rata Kuat Tekan UPV (kg/cm ²)				244.05
Standar Deviasi (kg/cm ²)				29.26
Koevisien variasi (%)				11.99

Sumber : Data primer yang diolah

Hasil pengujian menunjukkan bahwa estimasi kuat tekan rata-rata dengan menggunakan metode UPV untuk elemen struktur kolom berkisar 283 kg/cm^2 , balok berkisar 338.86 kg/cm^2 dan pelat berkisar 244.05 kg/cm^2 dengan koefisien variasi pada kolom 20.65%, balok 12.19%, dan pelat 12%. Berdasarkan ACI 214R-02, hasil evaluasi kuat tekan metode UPV untuk setiap elemen kolom, balok dan pelat menunjukkan tingkat keseragaman yang kurang baik (lebih besar dari 6%). Sedangkan dari nilai standar deviasi yang ada menunjukkan bahwa mutu pelaksanaan pekerjaan beton untuk elemen struktur tersebut masih dalam kategori dapat diterima, mengacuh pada Peraturan Beton Indonesia (PBI, 1971 hal 40). Nilai standar deviasi untuk elemen kolom berkisar 58.44 kg/cm^2 , balok berkisar 41.30 kg/cm^2 , dan pelat berkisar 29.26 kg/cm^2 .



Gambar 6. Kuat tekan rata-rata dengan menggunakan metode ht dan upv pada elemen kolom, balok dan pelat

Dari Gambar 6 terlihat bahwa hasil kuat tekan beton dengan menggunakan UPV pada umumnya lebih tinggi dari kuat tekan hasil pengujian HT.

Tabel 3 memperlihatkan hasil prosentasi perbandingan nilai kuat tekan dengan metode HT dan UPV terhadap spesifikasi mutu rencana beton K-275 pada elemen struktur kolom, balok dan pelat.

Tabel 3 Hasil Prosentasi Perbandingan *Hammer Test* Dan *Ultrasonic Pulse Velocity* Terhadap Mutu Rencana Beton K-275

Elemen Struktur	Mutu rencana	Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-Rata (kg/cm^2)		Prosentasi Perbandingan terhadap mutu rencana K-275	
		HT	UPV	HT	UPV
Kolom	K-275	245	283	89	103
Balok	K-275	289	339	105	123
Pelat	K-275	170	244	62	89

Prosentase perbandingan hasil pengujian dengan metode HT untuk elemen struktur kolom, balok dan plat terhadap mutu rencana adalah berturut-turut 89%, 105% dan 62%.

Sedangkan prosentase perbandingan hasil pengujian dengan metode UPV untuk elemen struktur kolom, balok dan plat terhadap mutu rencana adalah berturut-turut 103%, 123% dan 89%. Hasil evaluasi ini menunjukkan prediksi kuat tekan dengan metode HT pada elemen struktur pelat tidak memenuhi terhadap syarat mutu beton yang direncanakan (K-275), karena kurang dari 80% (persyaratan PBI 1971). Sedangkan estimasi kuat tekan untuk elemen struktur kolom dan balok dianggap memenuhi syarat mutu beton yang direncanakan. Untuk hasil estimasi kuat tekan dengan metode UPV, menunjukkan bahwa semua elemen struktur kolom, balok, dan pelat telah memenuhi terhadap syarat mutu beton yang direncanakan.

5. KESIMPULAN

1. Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata dengan menggunakan metode *Hammer Test* pada elemen struktur kolom berkisar 245 kg/cm^2 , balok berkisar 289 kg/cm^2 dan pelat berkisar 170 kg/cm^2 . Sementara itu, hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata dengan menggunakan metode UPV pada elemen struktur kolom berkisar 283 kg/cm^2 , balok berkisar 338.86 kg/cm^2 dan pelat berkisar 244.05 kg/cm^2
2. Prosentase perbandingan hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata dengan metode HT untuk elemen struktur kolom, balok dan plat terhadap mutu rencana adalah berturut-turut 89%, 105% dan 62%. Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa kuat tekan elemen pelat tidak memenuhi terhadap syarat mutu beton yang direncanakan (K-275). Sedangkan prosentase perbandingan hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata dengan metode UPV untuk elemen struktur kolom, balok dan plat terhadap mutu rencana adalah berturut-turut 103%, 123% dan 89%, hasil ini menunjukkan bahwa semua elemen struktur kolom, balok, dan pelat telah memenuhi terhadap syarat mutu beton yang direncanakan.

6. SARAN

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan pemanfaatan teknologi uji tak merusak lainnya sehingga dapat dibandingkan hasilnya. Selain itu, penelitian lanjutan dapat dilakukan terhadap pemanfaatan teknologi uji tak merusak dalam menganalisa elemen-elemen struktur beton pada bangunan jembatan eksisting.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Politeknik Negeri Manado untuk bantuan dana penelitian internal unggulan program studi tahun 2020. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Melvino Uling yang terlibat dalam pengambilan data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI 214R-02. Evaluation of Strength Test Results of Concrete Anonim. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI -1971). Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Bandung.
- [2] ASTM C 597-02. (2004). Test Method for Pulse Velocity through Concrete, Vol. 04.02.
- [3] ASTM C 805-02. (2004). Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, Vol. 04.02.
- [4] Bungey, J. H., Millard, S.G., dan Grantham, M.G. (2006). *Testing of Concrete in Structures*, Fourth edition, Taylor & Francis.
- [5] Chung, H. W dan Law, K. S. (1983). Diagnosing in situ concrete by ultrasonic pulse technique, Concrete International 5 (10), hal 42-49.
- [6] Juarti, E. R., Noorlaelasari, Y. (2017). Investigasi Keandalan Struktur Beton Bertulang dengan Alat Pundit Lab Pada Bangunan Gedung Penunjang Pendidikan. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*. Politeknik Negeri Bandung, Vol. 19. No. 2.
- [7] Lin, C. Y, Lai, C. dan Yen, T. (2003). Prediction of Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) in Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 100, No. 1, hal. 21-28.
- [8] Mawardi, L. (2003). Pengujian Struktur Beton dengan Metode Hammer Test dan Metode Uji Pembelahan (Load Test). Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- [9] SNI 03-4430-1997. Metode Pengujian Kuat Tekan Elemen Struktur Beton Dengan Alat Palu Beton Tipe N dan NR.
- [10] SNI C597-2012. Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton.
- [11] Uling, M. (2018). Teknik Evaluasi Tak Merusak dan Metode Perbaikan pada Struktur Beton serta Metode Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Bangunan Gedung. Skripsi. Politeknik Negeri Manado.