

PREDIKSI KUAT TEKAN BETON MENGGUNAKAN SPESIMEN KUBUS BERDASARKAN DATA *HAMMER TEST*

I Gusti Ngurah Eka Partama¹⁾

E-mail : epartama@gmail.com¹⁾

¹ Program Studi Program Profesi Insinyur Universitas Ngurah Rai

ABSTRAK

Informasi kuat tekan pada saat pelaksanaan harus diketahui sedini mungkin untuk mengevaluasi mutu beton. Tuntutan hasil yang cepat dalam penentuan kuat tekan (f'_{ck}) berbasis *Compression Testing Machine* (CTM) sulit dipenuhi, apabila benda uji berada jauh dari laboratorium penyedia CTM. *Hammer Test* (HT) yang dapat memprediksi kuat tekan dengan cepat untuk beton yang berumur minimal 14 hari perlu diadaptasi agar dapat digunakan untuk beton yang lebih muda. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen yang bertujuan untuk mengadaptasi HT agar dapat digunakan untuk memprediksi f'_{ck} pada benda uji kubus yang berumur kurang dari 14 hari. Data f'_{ck} dan nilai pantulan palu (R_n) diambil berdasarkan 15 benda uji kubus ukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$. R_n dan f'_{ck} disusun berdasarkan CTM dan HT masing-masing pada umur beton 3-28 hari. R_n diambil dari 16 titik pantul pada 3 sisi kubus dengan sumbu yang berbeda, kemudian R_n divariasikan dari rata-rata 16, 10, 8, 5, 4, dan 1 titik pantul. Korelasi yang paling tepat antara R_n dan f'_{ck} ditentukan berdasarkan analisis regresi dengan faktor determinasi tertinggi (r^2). Persamaan regresi tersebut, dikombinasikan dengan hasil eksperimen dan grafik ASTM serta penelitian dari 10 tahun terakhir, menunjukkan bahwa f'_{ck} dapat diprediksi menggunakan R_n dari rata-rata 10 nilai refleksi $\alpha = -90^\circ$ dari tiga sisi sumbu yang berbeda, dengan persamaan $f'_{ck} = 2,449e^{0,0959R_n}$, $r^2 = 0,9997$.

Kata kunci: mutu beton, kuat tekan, *hammer test*

ABSTRACT

Compressive strength information during implementation must be known as soon as possible to evaluate the quality of concrete. The demand for fast results in determining compressive strength (f'_{ck}) based on Compression Testing Machine (CTM) is difficult to meet, if the specimen is far from the laboratory that provides CTM. Hammer Test (HT) can predict compressive strength quickly for concrete at least 14 days old needs to be adapted so that it can be used for younger concrete. This study was conducted using an experimental method aimed at adapting HT so that it can be used to predict f'_{ck} on cube specimens less than 14 days old. The f'_{ck} data and hammer rebound value (R_n) were taken based on 15 cube specimens $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$. R_n and f'_{ck} were prepared based on CTM and HT at the age of concrete 3-28 days, respectively. R_n was taken as many as 16 bounce points on 3 sides of the cube with different axes, then R_n was varied from an average of 16, 10, 8, 5, 4 and 1 bounce point. The most appropriate correlation between R_n and f'_{ck} was determined based on a regression analysis with the highest determination factor (r^2). The regression equation, combined with experimental results and ASTM graphs and research from the past 10 years, indicates that f'_{ck} can be predicted using R_n from the average of 10 reflection values $\alpha = -90^\circ$ from three different sides of the axis, with the equation $f'_{ck} = 2,449e^{0,0959R_n}$, $r^2 = 0.9997$.

Keywords: concrete quality, compressive strength, *hammer test*

1. PENDAHULUAN

Beton yang dikerjakan pada pelaksanaan konstruksi harus memenuhi mutu yang disyaratkan dalam spesifikasi teknis. Mutu beton dikontrol dengan pengujian menggunakan spesimen sesuai standar yang berlaku. Di Indonesia ketentuan pengambilan dan jumlah sampel diatur dalam SNI 2847:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Spesimen yang disiapkan diuji pada umur tertentu dan mengkonversinya ke kuat tekan 28 hari. Proses pengujian tersebut memerlukan mobilisasi spesimen menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) di laboratorium. Pengujian yang dilakukan

tanpa mobilisasi serta kuat tekan dapat diketahui dengan cepat dapat menekan biaya penjaminan mutu (Saremi et al., 2022), oleh karena itu diperlukan alternatif metode selain menggunakan CTM.

Salah satu pengujian yang dapat memberikan informasi kuat tekan dengan cepat adalah *Hammer Test* (HT). Faktor yang mempengaruhi HT yaitu: kehalusan permukaan yang diuji, bentuk spesimen, kekakuan elemen struktur, umur spsimen, kelembaban saat pengujian, jenis agregat, jenis semen, jenis cetakan dan karbonasi (ASTM, 2015). Pengujian ini merupakan metode tidak merusak (*Non Destructive Test*), namun sampai saat ini hasilnya belum akurat karena hanya memberikan informasi nilai kuat tekan pada permukaan beton, sehingga belum direkomendasikan untuk menjadi instrumen utama dalam menentukan kuat tekan beton. Hasil HT yang dianggap tidak akurat namun memiliki kemudahan dalam mobilisasi dan kecepatan (Dharmawan et al., 2017), harus dioptimalkan supaya hasil HT dapat disepakati menjadi salah satu metode uji yang dapat dipertanggungjawabkan.

Saat pelaksanaan konstruksi kuat tekan beton diharapkan dapat diketahui pada umur di bawah 14 hari. Kondisi ini memerlukan kajian tersendiri untuk mendapatkan suatu korelasi nilai pantul dengan kuat tekan beton dibawah 14 hari. Serangkaian eksperimen yang dilakukan bertujuan untuk menyiapkan data kuat tekan dan nilai pantul palu. Data kuat tekan dan nilai pantul dianalisis untuk mendapatkan korelasi antara keduanya dalam suatu formulasi matematis. Formulasi ini diharapkan dapat digunakan untuk menentukan kuat tekan spesimen kubus berdasarkan nilai pantul palu untuk beton dibawah 14 hari.

Penelitian ini akan difokuskan pada spesimen dalam bentuk kubus $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ dan arah pantul vertikal ke bawah ($\alpha = -90^\circ$). Spesimen dalam bentuk kubus dipilih karena cetakan lebih mudah disiapkan di lokasi pelaksanaan konstruksi sekiranya cetakan spesimen standar laboratorium tidak tersedia. Untuk pengujian arah vertikal ke bawah dipilih dengan pertimbangan posisi tersebut lebih mudah dilakukan tanpa menyiapkan alat bantu khusus agar spesimen tidak bergerak saat dilakukan uji pantul.

2. KAJIAN PUSTAKA

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan akurasi penentuan kuat tekan berdasarkan nilai pantul palu. Hasil penelitian yang menyajikan korelasi nilai pantul palu dan kuat tekan beton dalam kurun waktu 10 tahun terakhir disajikan pada Tabel 1. *American Standart Testing Material* (ASTM) menyiapkan 2 grafik dalam menentukan kuat tekan berdasarkan nilai pantul yaitu grafik untuk pembacaan kuat tekan yang disetarakan dengan spesimen kubus dan silinder. Gambar 1 adalah grafik untuk spesimen kubus dengan kurva Pos. A untuk pengujian arah horisontal ($\alpha = 0^\circ$), Pos. B untuk arah pengujian vertikal ke bawah ($\alpha = -90^\circ$) dan Pos. C untuk arah vertikal ke atas ($\alpha = +90^\circ$) dengan batasan bahwa penggunaan grafik tersebut untuk pengujian beton pada umur minimal 14 hari.

Tabel 1. Korelasi nilai pantul dan kuat tekan hasil penelitian 10 tahun terakhir

Peneliti (Tahun)	Persamaan regresi	Jenis
Kumawat, Chandak and Patil, (2021) (Kumavat et al., 2021)	$f'_{ck} = 0,9807Rn + 2,6124$	Linear
Balakrishna et al. (2017) (Balakrishna et al., 2017)	$f'_{ck} = 2,6723e0,0479Rn$	Eksponensial
Brozovsky and Bodnárová (2016) (Brozovsky & Bodnárová, 2016)	$f'_{ck} = 0,0107Rn^2 + 0,9073Rn - 12,935$	Kwadratik
Szilágyi, Borosnyói and Zsigovics (2015) (Szilágyi et al., 2015)	$f'_{ck} = 0,1104Rn^{1,739}$	Geometrik
Brozovsky (2014) (Brozovsky, 2014)	$f'_{ck} = 5,1523e0,0521Rn$	Eksponensial

Samson, Omoniyi and Moses

(2014)

$$f'_{ck} = 0,011Rn^2 + 1,282Rn - 2,844$$

Kwadratik

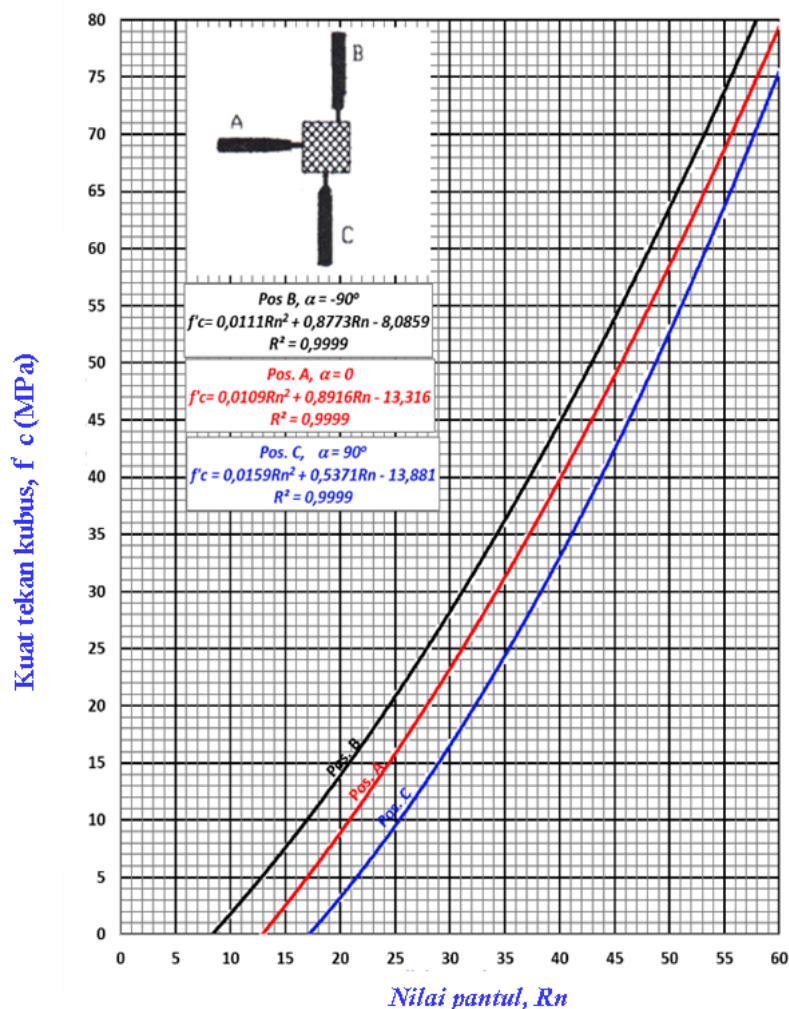
(Samson et al., 2014)

Brencich et al. (2013)

$$f'_{ck} = 0,0152Rn^2,119$$

Geometrik

(Brencich et al., 2013)

Gambar 1. Korelasi $f'c$ dan Rn Menurut ASTM

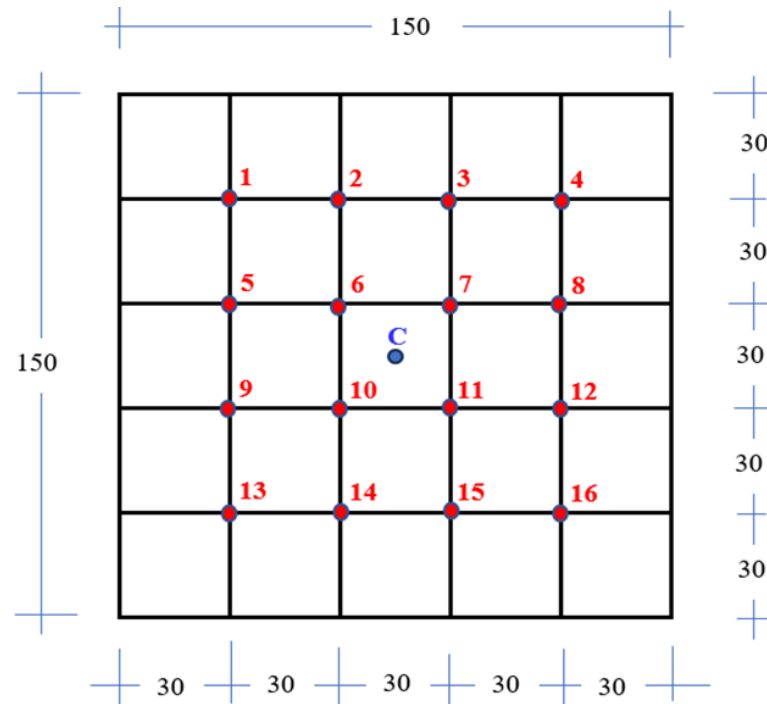
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan 15 buah spesimen kubus beton 150mm dengan komposisi campuran seperti disajikan dalam Tabel 2 yang dirawat dengan perendaman sampai 1 hari sebelum pengujian (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Spesimen yang disiapkan diuji untuk mendapatkan data kuat tekan dan nilai pantul pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Lokasi titik pantul disajikan pada Gambar 2, dengan bidang pengujian sebanyak 3 sisi yang tidak dalam satu sumbu bidang untuk arah pantul vertikal.

Tabel 2. Jenis dan sifat material komponen spesimen

Material	Jenis	Sifat Material	Besaran
Semen	PCC	Berat Jenis	3,15
Pasir	Pasir alam	Zona grad.	I
		MHB	3,39

Kerikil	Batu pecah	Berat Jenis	2,50
		Penyerapan	2,35%
		Butir maks.	20 mm
		MHB	6,42
		Berat Jenis	2,58
		Penyerapan	3,67%



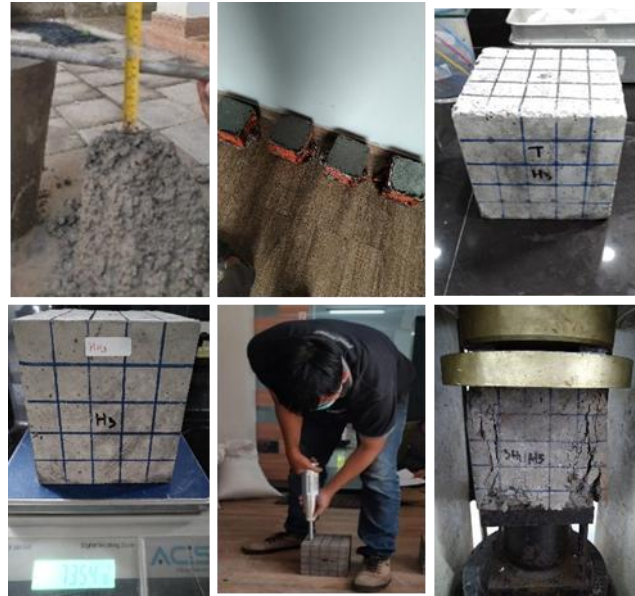
Gambar 2. Lokasi titik pantul

Komposisi campuran beton untuk membuat spesimen dalam perbandingan berat 1PCC:2,697Ps: 2,201Kr, *Slump* 8-12 cm hasil analisa rancangan campuran (*job mix design*) sesuai SNI 2834:2000 berdasarkan jenis dan sifat material seperti pada Tabel 2 (Badan Standardisasi Nasional, 2000). Pengambilan nilai pantul diawali dengan mengkalibrasi alat dengan *anvil* menggunakan standar ASTM C805-02 (Badan Standardisasi Nasional, 2012). *Anvil* dipakai untuk memastikan *Hammer Test* menghasilkan nilai pantul (*Rebound Number*) yang sesuai standar. Nilai pantul dikoreksi dengan faktor kalibrasi alat dari rerata 10 pantulan pada *anvil*.

Variasi data yang disiapkan untuk 1 sisi dan rerata 3 bidang spesimen dengan 16, 10, 8, 5, 4 dan 1 titik pantul. Untuk kebutuhan data tersebut setiap spesimen diuji pantul pada 3 sisi yang tidak dalam sumbu, dengan 17 nilai pantul vertikal ke bawah pada setiap sisi terpilih. Pemilihan nilai pantul untuk nantinya disiapkan sebagai pasangan data dengan kuat tekan diatur sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Batasan penentuan jumlah titik pantul

No.	Jumlah titik pantul	Keterangan
1	16	17 nilai pantul yang diambil, abaikan nilai pantul pusat
2	10	17 nilai pantul yang diambil, abaikan nilai pantul pusat serta 3 nilai pantul tertinggi dan 3 terendah
3	8	Nilai pantul pada titik nomor 1, 4, 6, 7, 10, 11, 13, dan 16
4	5	Nilai pantul pada titik nomor 6, 7, 10, 11, dan C
5	4	Nilai pantul pada titik nomor 6, 7, 10, dan 11



Gambar 3. Proses penyiapan data Rn dan $f'ck$

Visual persiapan spesimen dan pengambilan data nilai pantul (Rn) serta kuat tekan ($f'ck$) ditampilkan pada Gambar 3. Spesimen yang akan diuji tekan diukur dimensi dan ditimbang beratnya terlebih dahulu dan selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan luas penampang (A , mm²) dan berat volume (γ). Uji tekan menggunakan CTM dimaksudkan untuk mengetahui beban maksimum (P , Newton) yang dapat ditahan sehingga kuat tekan ($f'ck$) dapat ditentukan menggunakan prinsip tegangan akibat Gaya Normal Sentris seperti Persamaan 1 (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 1990; Cheng, 1998; Dharmawan et al., 2017; Gere et al., 2000; Partama, 2023; Pawirodikromo, 2014; Soemono, 1985).

$$f'ck = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana:

- $f'ck$ = Kuat tekan (MPa)
- P = Beban yang ditahan spesimen (N)
- A = Luas penampang spesimen (mm²)

Pasangan data $f'ck$ dan Rn selanjutnya dianalisis menggunakan regresi (Sudjana, 2005) yaitu:

a. Regresi linear sederhana

$$y = a + bx \quad (2)$$

b. Regresi eksponensial

$$y = ae^{bx} \quad (3)$$

c. Regresi Logaritma

$$y = a + b \cdot \ln(x) \quad (4)$$

d. Regresi polinom kwadratik

$$y = ax^2 + bx + c \quad (5)$$

e. Regresi geometrik

$$y = ax^b \quad (6)$$

Dimana:

- y = Kuat tekan spesimen kubus ($f'ck$)
 x = Nilai pantul palu (Rn)
 a, b = Koefesien regresi
 c = Konstanta

Persamaan regresi dengan indeks determinasi (r^2) terbesar, $f'ck$ meningkat seiring Rn (Kumavat et al., 2020) dan selalu positif, ditetapkan sebagai persamaan terpilih yang menyatakan korelasi kuat tekan dengan HT pada spesimen kubus.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tekan untuk masing-masing spesimen disajikan pada Tabel 4. Pasangan data kuat tekan ($f'ck$) dengan rerata nilai pantul (Rn) dan ditentukan korelasinya dalam bentuk persamaan regresi persamaan regresi dengan indeks determinasi (r^2) untuk masing-masing pasangan data disajikan pada Tabel 5. Pada Tabel 5 dapat disimak indeks determinasi berkisar dari 0,5594-0,7501 mengindikasikan penentuan nilai pantul hasil HT arah vertikal memberi kontribusi 55,94-75,01% terhadap kuat tekan dan sisanya sebesar 44,06-24,99 % masih dipengaruhi oleh faktor lain, seperti suhu, kelembaban dan tingkat karbonisasi. Indeks determinasi terbesar $r^2=0,7501$ terjadi pada persamaan regresi $f'ck=1,9031e^{0,1225Rn}$, yang menunjukkan kuat tekan dapat ditentukan berdasarkan rerata 10 nilai pantul vertikal pada 3 sisi spesimen kubus yang tidak dalam 1 sumbu bidang.

Tabel 4. Kuat Tekan hasil uji CTM

Kode benda uji	Umur (Hari)	Kuat tekan, $f'ck$ (MPa)
03H-1	3	8,44
03H-2	3	6,67
03H-3	3	6,67
07H-1	7	14,00
07H-2	7	13,78
07H-3	7	13,33
14H-1	14	14,00
14H-2	14	14,22
14H-3	14	15,56
21H-1	21	20,00
21H-2	21	19,56
21H-3	21	20,89
28H-1	28	21,11
28H-2	28	21,11
28H-3	28	21,33

Tabel 5. Persamaan regresi arah pantul vertikal

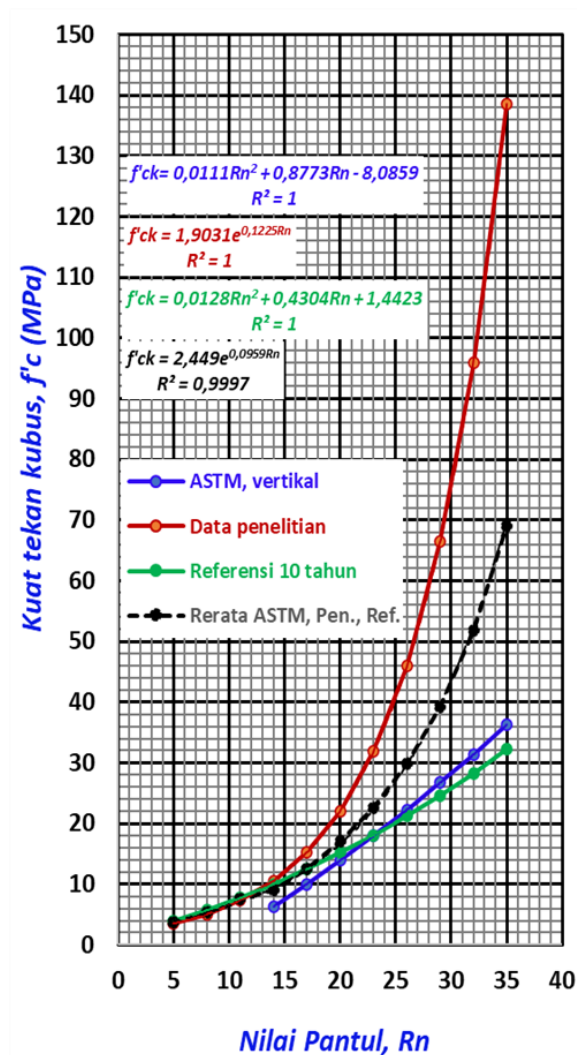
Jumlah titik	Sumber data Rn	Persamaan regresi, Jenis	r^2
16	1 sisi	$f'ck=0.3086Rn^{0,3872}$, Geometrik	0.5845
	3 sisi	$f'ck=1.9788e^{0.1213Rn}$, Eksponensial	0.7445
10	1 side	$f'ck=0.0282Rn^2+0.3824Rn+1.1071$, Kuadratik	0.5872
	3 sisi	$f'ck=1.9031e^{0,1225Rn}$, Eksponensial	0.7501
8	1 sisi	$f'ck=0.2375Rn^{1,4808}$, Power	0.5992
	3 sisi	$f'ck=1.9498e^{0,1224Rn}$, Eksponensial	0.7172
5	1 sisi	$f'ck=0.437Rn^2-0.0926Rn+2.9635$, Kuadratik	0.5975

4	3 sisi	$f'ck = 1.707e0.1172Rn$, Eksponensial	0.7220
	1 sisi	$f'ck = 0.1521Rn^{1.5831}$, Geometrik	0.6158
	3 sisi	$f'ck = 1.7499e0.11767Rn$, Exponential	0.7253
1	1 sisi	$f'ck = 1.0766x - 4.3127$, Linear	0.5594
	3 sisi	$f'ck = 0.1816Rn^2 - 4.9597Rn + 39.369$, Kuadratik	0.6737

Jumlah titik pantul yang ditetapkan sejalan dengan ketentuan dalam SNI ASTM C805:2012 yang menetapkan untuk 1 titik pengujian diambil sebanyak 10 titik pantul dengan jarak antara satu titik lainnya tidak kurang dari 25 mm (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2012), (ASTM, 2000), (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 1997). Pada penelitian ini 10 nilai pantul diambil dari 16 titik pengujian dikurangi masing-masing 3 nilai pantul terendah dan tertinggi. Tujuh korelasi berdasarkan hasil penelitian 10 tahun terakhir yang tersaji pada Tabel 1, jika rerata nilai kuat tekan dengan simulasi $Rn=5-35$, maka didapat suatu korelasi baru yang menyatakan hubungan $f'ck$ dengan Rn seperti pada Persamaan 7.

$$f'ck = 0,0128Rn^2 + 0,4304Rn + 1,4423 \quad (7)$$

Formulasi ini selanjutnya dikomparasi dengan formulasi pendekatan berdasarkan Grafik ASTM dan korelasi berdasarkan data penelitian ini.



Gambar 4. Korelasi $f'ck$ dan Rn kompilasi arah pantul vertikal

Grafik pada Gambar 4 menyajikan kompilasi dan komparasi yang menyatakan hubungan f'_{ck} dan Rn berdasarkan ASTM, rerata hasil penelitian 10 tahun terakhir, hasil penelitian saat ini dan rerata dari ketiganya. Dua grafik tersebut juga menunjukkan hasil penelitian mempunyai f'_{ck} lebih besar dari Grafik ASTM maupun rerata dari penelitian 10 tahun terakhir. Fenomena ini dapat dijelaskan, bahwa saat pengujian dengan *Hammer Test*, spesimen masih mengandung air yang cukup tinggi atau spesimen dalam kondisi lembab. Keberadaan air dalam spesimen bersifat sebagai peredam (*damping*) sehingga energi pantulan tidak dapat ditransfer sepenuhnya ke alat dan menyebabkan nilai pantul (Rn) yang terbaca menjadi lebih rendah. Kondisi ini sejalan dengan laporan hasil penelitian dimana semakin tinggi kelembaban spesimen maka semakin rendah kuat tekan yang terinformasi melalui *Hammer test* (Mujahadah et al., 2023).

Hasil simulasi juga menunjukkan Grafik ASTM dengan $Rn < 25$ kuat tekan yang didapat lebih besar dan untuk $Rn > 25$ lebih kecil, jika dibandingkan dengan hasil penelitian 10 tahun terakhir walaupun dengan deviasi yang lebih kecil. Untuk meningkatkan akurasi hasil pengujian HT, maka persamaan regresi yang didapat berdasarkan data penelitian saat ini dikoreksi dengan mengambil rerata hasil penelitian 10 tahun terakhir dan Grafik ASTM. Persamaan baru yang disajikan seperti Persamaan 8 direkomendasikan sebagai formulasi untuk menentukan kuat tekan beton menggunakan spesimen kubus yang diuji dengan *Hammer Test* arah vertikal ($\alpha = -90^\circ$), dengan Rn adalah rerata 10 nilai pantul pada 3 sisi kubus yang tidak dalam satu sumbu bidang.

$$f'_{ck} = 2,449e^{0,0959Rn} \quad (8)$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian ini mendapatkan temuan dan menyimpulkan bahwa beton yang dievaluasi spesimen kubus dan diuji dengan *Hammer Test* arah vertikal, kuat tekannya dapat ditentukan dengan formulasi $f'_{ck} = 2,449e^{0,0959Rn}$, Rn merupakan rerata 10 nilai pantul pada 3 sisi kubus yang tidak dalam satu sumbu bidang. Penelitian ini dengan kesimpulan diatas menggunakan spesimen campuran beton agregat lokal Bali dan untuk agregat lain disarankan untuk melakukan penelitian sendiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan luaran penelitian Skema Penelitian Dasar yang dibiayai melalui Dana Penelitian Kompetitif Hibah Dana Internal Universitas Ngurah Rai Program Unggulan Tahun 2023 pada Lembaga Penelitian Pengabdian Kepada Masyarakat dan Pusat Kajian Universitas Ngurah Rai (LPPMPK UNR), dengan Surat Perjanjian Nomor: 205.1/01.05.1/1.09/2022, Tanggal: 28 Oktober 2023. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Ngurah Rai melalui LPPMPK UNR yang telah mendanai penelitian ini beserta mahasiswa dan tenaga pelaksana laboratorium yang telah membantu selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (2000). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. In *ASTM International*.
- ASTM. (2015). *Hand Book Non Destructive Testing of Concrete Second Edition* (V. M. Malhotra & N. J. Carino (eds.); Second Edi). CRC Press.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 1–34.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974-2011 : Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI ASTM C805:2012 Metode uji angka pantul beton keras (ASTM C 805-02, IDT). *Badan Standardisasi Nasional*, 1–10.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Standar Nasional Indonesia 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*,

8, 653–659.

- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (1990). *SNI 03-1974-1990: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (1997). *SNI 03-4430-1997: Metode Pengujian Elemen Struktur Beton dengan Alat Palu Beton Tipe N dan NR*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2012). *Metode Uji Angka Pantul Beton Keras (ASTM C 805-02, IDT)*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Balakrishna, M. N., Mohammad, F., Evans, R., & Rahman, M. M. (2017). *Interpretation of Concrete Mix Designs by Surface Hardness Method*. 29(2), 227–238. <https://doi.org/https://journals.utm.my/mjce/article/view/15600/7093>
- Brencich, A., Cassini, G., Pera, D., & Riotto, G. (2013). Calibration and Reliability of the Rebound (Schmidt) Hammer Test. *Civil Engineering and Architecture*, 1(3), 66–78. <https://doi.org/10.13189/cea.2013.010303>
- Brozovsky, J. (2014). High Strength Concrete NDT with Rebound Hammer: Influence of Aggregate on Test Results. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 29(3), 255–268. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10589759.2014.926897>
- Brozovsky, J., & Bodnárová, L. (2016). Contribution to the issue of evaluating the compressive strength of concrete exposed to high temperatures using the Schmidt rebound hammer. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 52(1), 47–52. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1134/S1061830916010046>
- Cheng, F.-H. (1998). *Statics and Strength of Material* (Second). Glencoe/McGraw-Hill.
- Dharmawan, W. I., Oktarina, D., & Safitri, M. (2017). Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton Menggunakan Hammer Test dan Compression Testing Machine terhadap Beton Pasca Bakar. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(1).
- Gere, J. M., Timoshenko, S. P., & Suryoatmono, B. (2000). *Mekanika Bahan Jilid 1 (Terjemahan: Mechanics of Material, Fourth Edition)* (Hardanai Wibi (ed.); Edisi ke-4). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kumavat, H. R., Chandak, N., & Jadhav, D. (2020). Experimental Investigation on Relationships Between Rebound Index and Compressive Strength of Cement Concrete Specimen Influenced by Physical Factors. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ASET48392.2020.9118246>
- Kumavat, H. R., Chandak, N. R., & Patil, I. T. (2021). Factors influencing the Performance of Rebound hammer used for non-Destructive Testing of Concrete Members: A Review. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00491. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00491>
- Mujahadah, N., Hariyadi, Kencanawati, N. N., & Ngudiyono. (2023). The 6th International Conference on Science and Technology (ICST21). In Sugiman (Ed.), *Analysis the Effect of Moisture Content of Normal Concrete Using Hammer Test* (pp. 1–5).
- Partama, I. G. N. E. (2023). *Mekanika Bahan* (T. H. Pamungkas (ed.); 1st ed.). Dewa Publishing, Nganjuk.
- Pawirodikromo, W. (2014). *Analisis Tegangan Bahan*. Pustaka Pelajar.
- Samson, D., Omoniyi, & Moses, T. (2014). Correlation between Non-Destructive Testing (NDT) and Destructive Testing (DT) of Compressive Strength of Concrete Correlation between Non-Destructive Testing (NDT) and Destructive Testing (DT) of Compressive Strength of Concrete. *International Journal of Engineering Science Invention*, 3(9), ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6.
- Saremi, S. G., Goulias, D. G., & Akhter, A. A. (2022). Non-Destructive Testing in Quality Assurance of Concrete for Assessing Production Uniformity. *Sage Journals*, 2677(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/03611981221103871>
- Soemono. (1985). *Ilmu Gaya* (Keenam). Penerbit Djambatan.
- Sudjana. (2005). *Metoda Statistika* (Edisi 6). PT. Tarsito Bandung.
- Szilágyi, K., Borosnyói, A., & Zsigovics, I. (2015). Understanding the Rebound Surface Hardness of Concrete. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(2), 185–192. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.802722>