

Kajian Penentuan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Nilai Pantul Palu Dengan Memvariasikan Pola Titik Pantul

I Gusti Ngurah Eka Partama¹⁾, Ni Putu Silvi²⁾, I Gusti Made Sudika³⁾

^{1, 2, 3)} Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai, Bali

Email: epartama@gmail.com¹⁾, silvi@unr.ac.id²⁾, sudikagusti@gmail.com³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i1.838>

(Received: November 2022 / Revised: February 2023 / Accepted: February 2023)

Abstrak

Indikasi kekuatan tekan beton dapat ditentukan dengan *Destructive Test* (DT) dan *Non-Destructive Test* (NDT). *Core Drill* (CD) termasuk DT dapat menyebabkan perlemahan kekuatan elemen struktur namun hasilnya dapat menginformasikan mutu beton yang representatif. *Hammer Test* (HT) relatif mudah dilaksanakan namun hasilnya sering dipertanyakan. Penelitian ini bertujuan mendapatkan formulasi kuat tekan dalam fungsi nilai pantul palu dengan eksperimen menggunakan pelat beton ukuran 30x75x15 cm dengan komposisi berat 1PCC:2,697Ps:2,201 Kr, w/c sebesar 0,5. HT pola segiempat dan radial dilakukan setelah beton mengeras. Spesimen silinder 80x150 mm diambil dengan CD pada umur 14, 21, 28 dan 35 hari selanjutnya diuji tekan. Penelitian ini menyimpulkan untuk HT α sebesar 90° pola segiempat, kuat tekan dengan formulasi $f_{cm} = 8E - 05Rn^{3,9926}$, Rn rerata nilai pantul pusat dan empat pada sudut bujur sangkar dengan sisi minimum 3,6 cm, serta dalam pola radial dengan formulasi $f_{cm} = 6E - 05Rn^{4,0805}$, Rn rerata nilai pantul pada pusat pengujian dan 4 lainnya keliling merata dalam radius minimum 2,5cm dari pusat.

Kata kunci: *Kuat tekan beton, hammer test, core drill, destructive test, non-destructive test*

Abstract

Indication of concrete compressive strength can be determined by Destructive Test (DT) and Non-Destructive Test (NDT). Core Drill (CD) including DT can cause a weakening of the strength of structural elements, but the results can inform representative concrete quality. The Hammer Test (HT) is relatively easy to perform, but the results are often questionable. This study aims to obtain the formulation of compressive strength in terms of hammer reflection value, by experimenting with a concrete plate measuring 30x75x15 cm with a weight composition of 1PCC:2.697Ps:2.201Kr, w/c as 0.5. HT rectangular and radial patterns are carried out after the concrete hardens. Cylindrical specimens of 80x150 mm were taken with a CD at the age of 14, 21, 28 and 35 days and then compressed. This study concludes that for HT α as-90° quadrilateral pattern, compressive strength with the formulation $f_{cm} = 8E - 05Rn^{3,9926}$, Rn mean central and four reflected values at the corners of a square with a minimum side of 3.6cm, as well as in a pattern radial with the formulation $f_{cm} = 6E - 05Rn^{4,0805}$, Rn is the average reflectance value at the center of the test and the other 4 circumferences evenly within a minimum radius of 2.5cm from the center.

Keywords: *Concrete compressive strength, Hammer Test, Core drill, Destructive Test, Non-Destructive Test.*

1. Latar Belakang

Indikasi kekuatan tekan beton dalam struktur dapat ditentukan dengan proses pengujian. Pengujian kuat tekan beton yang sudah mengeras dikategorikan menjadi dua yaitu: *destructive test* (DT) yang merusak objek uji dan *non-destructive test* (NDT) yang tidak merusak objek uji (Karundeng dan Steenie E. Wallah, 2015), (Ridho dan Khoeri, 2015), (Simatupang *et al.*, 2016), (Yeşilmen, 2012)

Salah satu DT yaitu: uji tekan beton inti atau *core drilled test* (CDT). Pada CDT, sampel dibuat dalam bentuk silinder dengan melakukan pengeboran pada elemen struktur yang akan ditentukan kuat tekannya dengan benda uji tidak boleh kurang dari 3 sampel (Badan Standardisasi Nasional, 1994). Pengeboran elemen struktur dapat menyebabkan penurunan kekuatan, namun CDT dapat menginformasikan mutu beton yang representatif dan merupakan alternatif pengujian terakhir.

HT merupakan salah satu jenis NDT. Alat ini digunakan dengan mengambil 10 nilai pantul dalam jarak minimal 25 mm yang terbaca saat pengujian dengan ketentuan selisih nilai pantul dengan selisih 6 atau lebih besar atau lebih kecil reratanya diabaikan (Badan Standardisasi Nasional, 1997). HT dapat dilakukan sendiri, tidak memerlukan waktu lama karena alatnya praktis dan tidak memerlukan tingkat keahlian tinggi namun HT mempunyai akurasi rendah dan hanya menginformasikan kuat tekan pada permukaan saja. Hasil pengujian sangat dipengaruhi tingkat kerataan permukaan, kelembaban permukaan, agregat kasar, umur, derajat karbonisasi dan komposisi campuran beton. Sampai saat ini HT belum bisa diterima sebagai metode pengujian utaman dan hanya digunakan untuk menentukan keseragaman mutu beton yang dikerjakan dan hasilnya sering dipertanyakan (Alwash *et al.*, 2017). Hasil penelitian lain juga mendapatkan HT memberikan informasi kuat tekan yang lebih rendah dari benda uji kubus karena tidak stabil, sehingga diperlukan kajian lanjutan dalam menggunakan HT (Sumajouw *et al.*, 2018)

HT yang dilakukan hanya terpaku pada batasan jarak antar titik tidak kurang dari 25 mm, namun belum mempertimbangkan pola titik pantul dalam menentukan nilai pantul palu dan karenanya penelitian ini secara khusus mengkaji pola titik pantul yang efektif dengan mengambil pola alternatif radial dan segiempat.

CDT dan HT dengan keunggulannya disinergikan sehingga dengan data yang dikontribusikan dapat diupayakan untuk meningkatkan nilai akurasi hasil HT dalam menentukan kuat tekan beton. Korelasi kuat tekan (f_{cm}) dan nilai pantul (R_n) ditentukan berdasarkan variasi pola titik pantul radial dan segiempat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu pola titik pantul pengujian dan formulasi dalam bentuk persamaan matematika yang menyatakan hubungan kuat tekan (f_{cm}) dengan nilai pantul (R_n). Pola titik pantul dan formulasi yang bersesuaian diharapkan dapat memberi alternatif dalam menentukan kuat tekan beton menggunakan HT dengan cepat dan representatif.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimen dengan tujuan mengumpulkan data kuat tekan beton hasil *core drill* dan nilai pantul dengan *hammer test*. Benda uji dibuat dengan mencetak pelat beton 30x75x15 cm dalam komposisi campuran beton segar yang dihitung dengan Metode *Departemen of the Environment* (DOE) berdasarkan sifat-sifat material penyusun beton yang telah

ditentukan terlebih dahulu melalui proses pengujian (Teychenné *et al.*, 1997). Pada pelat beton ini diambil nilai pantul dalam arah vertikal sesuai pola yang diinginkan yaitu segiempat dan radial. Spesimen dalam bentuk silinder beton 80x150 mm diambil dengan *core driller* yang diuji dengan *Compression Testing Machine* (CTM) untuk menentukan kuat tekannya. Komposisi campuran untuk 1 m³ beton segar terkoreksi akibat kadar air dan penyerapan agregat kasar dan halus ditampilkan pada Tabel 1 dan dalam perbandingan berat dapat dipresentasikan menjadi 1PCC:2,697Ps:2,201Kr, w/c=0,57 sesuai SNI 03-2834-2000 dan Surat Edaran Menteri PUPR Nomor: 07/SE/M/2016 Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Badan Standardisasi Nasional, 2000), (Kementerian Pekerjaan umum dan Perumahan Rakyat, 2016).

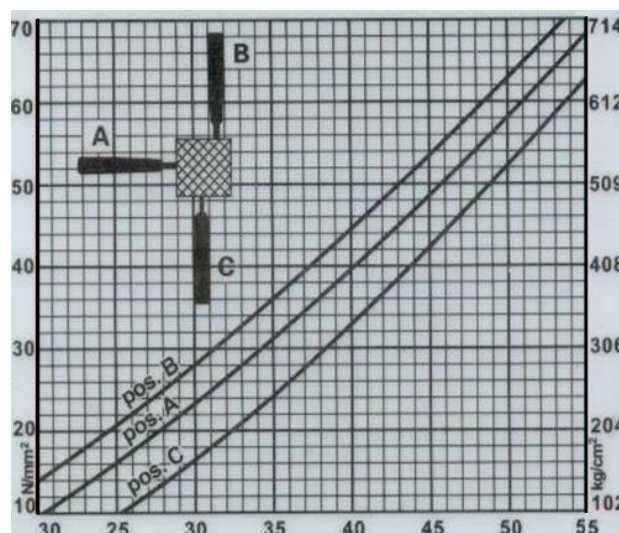
Tabel 1 Komposisi 1 m³ beton segar

Komponen beton	Berat (kg)
PCC	363
Agregat halus zone 1	979
Agregat kasar maksimum 20 mm	799
Air bersih	172
Jumlah	2.313

Pola titik pantul sesuai Gambar 2 ditentukan setelah beton mengering dan HT dilakukan pada umur 14, 21, 28 dan 35 hari dalam posisi vertikal ke bawah ($\alpha = -90^\circ$). Sampel silinder 80x150 cm diambil dengan *core driller*, dikeringkan dalam suhu ruangan selama 7 hari dan diuji tekan menggunakan CTM.

2.1 Pengujian Pantul Palu (*Hammer Test*)

Standar pengujian kuat tekan beton dengan *hammer test* sesuai RSNI 03-4803-200xx dan ASTM C 805-02 (ASTM, 2000). Jarak antar titik dalam penelitian ini tetap mengikuti ketentuan RSNI yaitu tidak kurang dari 25 mm, di mana untuk pola segiempat jarak titik pantul 30 mm dan pola radial 25 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2010).

Gambar 1 Grafik korelasi R_n dan f_{cm} sesuai buku panduan alat

Alat HT yang digunakan Merk Matest Tipe C380 Seri 2Y0467 dengan angka kalibrasi sebesar 1,00 menggunakan Anvil Standar. Grafik hubungan nilai pantul palu atau *Hammer rebound number (Rn)* sesuai buku panduan penggunaan alat (*Operating manual concrete test hammer*) untuk benda uji kubus sesuai Gambar 1. Posisi alat saat pengujian dalam arah vertikal ke bawah atau $\alpha=-90^\circ$ pada grafik sesuai posisi B (*Pos. B*), hubungan kuat tekan (*fcm*) dengan nilai pantul (*Rn*) dapat didekati dengan persamaan polinomial seperti Persamaan 1.

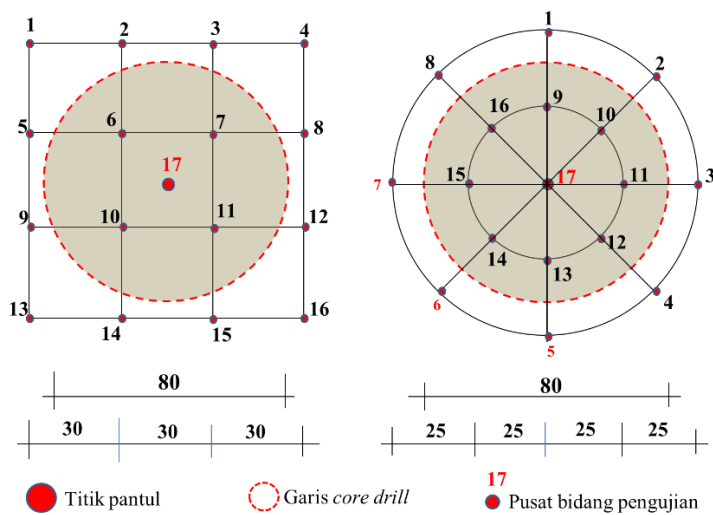
$$fcm = -0,0156Rn^2 + 2,0056Rn - 19,882 \tag{1}$$

Keterangan:

- fcm* = Kuat tekan kubus beton (MPa)
- Rn* = Nilai pantul palu posisi vertikal kebawah ($\alpha=-90^\circ$)

Persamaan ini akan menjadi bahan komparasi dengan persamaan yang didapat pada penelitian ini.

Pada Gambar 2 diperlihatkan pola segiempat dengan jarak antar titik pantul 30 mm dan pola radial dengan jarak 25 mm dalam arah radial bermaksud agar area titik pantul tidak berbeda signifikan antara kedua pola.



Gambar 2 Pola titik *hammer test*

Dari 17 titik pantul yang diambil selanjutnya dikelompokkan dan diberi kode seperti Tabel 2.

Tabel 2 Kode kelompok data

Kode	Keterangan
10SE	Pola segiempat, 10 nilai pantul terpilih dari 17 yang tersedia, 3 nilai pantul tertinggi dan terendah serta pada titik pusat tidak digunakan
5CSE	Pola segiempat, 5 nilai pantul nomor 6, 7, 10, 11, 17
10LK	Pola radial, 10 nilai pantul terpilih dari 17 yang tersedia, 3 nilai pantul tertinggi dan terendah serta pada titik pusat tidak digunakan
5CLK-D	Pola radial-diagonal, 5 nilai pantul nomor 10, 12, 14, 16, 17
5CLK-S	Pola radial-salib sumbu, 5 nilai pantul nomor 9, 11, 13, 15, 17

2.2 Pengambilan dan Pengujian Beton Inti (*Core drilled test*)

Pengambilan benda uji dengan *Core driller* dilakukan berdasarkan SNI 03-2492-2002, di mana benda yang diambil dengan diameter 80 mm dan panjang 150 mm sudah sesuai dengan ketentuan yang mensyaratkan panjang benda uji minimum 100 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Proses pengujian untuk menentukan kuat tekan beton berdasarkan benda uji hasil pengeboran beton inti menggunakan SNI 03-3403-1994 dengan mekanisme pengujian kering. Benda uji hasil pengeboran dikeringkan dalam suhu ruangan selama 7 hari sejak pengeboran (Badan Standardisasi Nasional, 1994). Benda uji yang sudah kering ditimbang, di-*capping* menggunakan *Sulfur*, pengukuran diameter dan tinggi selanjutnya diuji pembebanan menggunakan CTM untuk mendapatkan beban tekan maksimum (P) yang dapat dipikul spesimen. Beban tekan yang didapat dianalisis untuk mendapatkan tegangan sesuai Persamaan 2 sebagai representasi dari kuat tekan (f_{core}) (Badan Standardisasi Nasional, 2011), (Pawirodikromo, 2014), (Soemono, 1985), (Cheng, 1998).

$$f_{core} = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Keterangan:

f_{core} = Kuat tekan beton inti (MPa)

P = Beban maksimum yang dipikul benda uji (N)

A = Luas permukaan beton inti (mm²)

Secara keseluruhan proses pengumpulan data mulai mencetak benda uji sampai pengujian kuat tekan terlihat pada Gambar 3



Gambar 3 Proses penyiapan dan pengujian sampel

Kuat tekan beton inti (f_{core}) dikoreksi berdasarkan ratio panjang dengan diameter spesimen (l/d) untuk mendapatkan kuat tekan beton analisis (f_{cm}) sesuai Persamaan 3 (Neville dan Brooks, 2010).

$$f_{cm} = \frac{D'}{1,5 + \frac{1}{\lambda}} \times f_{core} \quad (3)$$

Keterangan:

f_{cm} = kuat tekan kubus beton (MPa)

D' = 3,0 (konstanta untuk pengeboran arah vertikal, tanpa ada tulangan)

λ = l/d = ratio panjang setelah di-*capping* dengan diameter spesimen

Tabel 3 menyajikan hasil penelitian yang mempresentasikan hubungan f_{cm} dengan R_n yang mempertimbangkan faktor jenis semen dan rasio air-semen (Kumawat *et al.*, 2021) serta persamaan yang menyatakan hubungan kuat tekan kubus beton dengan nilai pantul yang diuji pada kondisi kering (Brencich *et al.*, 2013). Persamaan regresi ini nanti juga akan dikomparasi dengan mensimulasi hasil perhitungan kuat tekan beton menggunakan R_n sebesar 10-30.

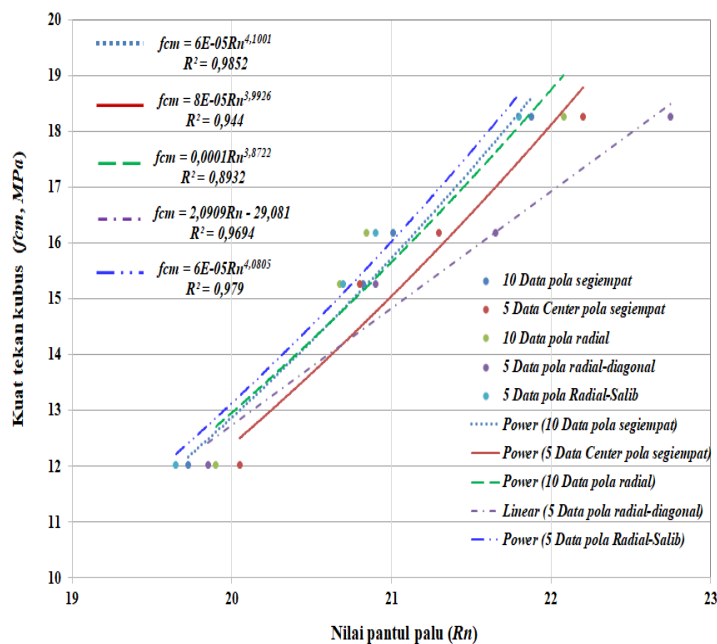
3 Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian rerata nilai pantul (R_n) dan kuat tekan kubus (f_{cm}) untuk pola segiempat dan radial terdiri dari 10 data terpilih dari 17 nilai pantul (R_n 10SE; R_n 10LK) dan 5 nilai pantul pada titik tengah bidang pengujian pola segiempat (R_n 5CSE), Radial-diagonal (R_n 5CLK-D) serta Radial-salib (R_n 5CLK-S) disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 4 serta persamaan regresi disajikan pada Tabel 5.

Data kuat tekan hasil *core drill* (f_{cm}) dan nilai pantul palu (R_n) dianalisa korelasinya dalam persamaan regresi. Pada Tabel 6 disajikan hasil simulasi 5 persamaan regresi hasil penelitian ditambah persamaan Kumawat *et al.* (2021) dan persamaan pendekatan grafik pada manual alat untuk arah pantul $\alpha = -90^\circ$. Simulasi tersebut menunjukkan formulasi kuat tekan berdasarkan *hammer test* representatif untuk mutu beton (f_{cm}) sebesar 5-30 MPa tergolong rentang kuat tekan beton mutu rendah-sedang (Szilágyi *et al.*, 2015), sehingga kuat tekan diatas rentang tersebut perlu dilakukan kajian tersendiri.

Tabel 4 Nilai rerata R_n dan f_{cm}

Umur benda uji (hari)	R_n					f_{cm} (MPa)
	10SE	5CSE	10LK	5CLK-D	5CLK-S	
14	19,73	20,05	19,90	19,85	19,65	12,02
21	20,83	20,80	20,68	20,90	20,70	15,26
28	21,01	21,30	20,84	21,65	20,90	16,18
35	21,88	22,20	22,08	22,75	21,80	18,26



Gambar 4 Grafik Hubungan f_{cm} dan R_n

Tabel 5 Persamaan regresi tiap pola

Pola	Regresi	Jenis	R ²
10SE	$f_{cm} = 6E - 05Rn^{4,1001}$	Power	0,9852
5CSE	$f_{cm} = 8E - 05Rn^{3,9926}$	Power	0,9440
10LK	$f_{cm} = 1E - 04Rn^{3,8772}$	Power	0,8932
5CLK-D	$f_{cm} = 0,0017Rn^{2,9849}$	Power	0,9559
5CLK-S	$f_{cm} = 6E - 05Rn^{4,0805}$	Power	0,9790

Persamaan regresi pola 10SE dan 5CSE menunjukkan hasil relatif sama, sehingga untuk pola segiempat dipilih persamaan $f_{cm} = 8E - 05Rn^{3,9926}$ sebagai formulasi terpilih dengan Rn sebesar rerata 5 nilai pantul terdiri dari 1 titik pada titik 4 pada sudut bujur sangkar dengan panjang sisi minimal 3,6 cm yang berpusat pada titik pusat pengujian agar jarak minimal titik pusat pengujian ke sudutnya minimal 2,5 cm (Badan Standardisasi Nasional, 1997).

Tabel 6. Simulasi nilai fcm (MPa) dengan Rn =10 sampai 30

Pola	Persamaan regresi	Rn				
		10	15	20	25	30
10SE	$f_{cm} = 6E - 05Rn^{4,1001}$	0,76	3,98	12,96	32,35	68,31
5CSE	$f_{cm} = 8E - 05Rn^{3,9926}$	0,79	3,97	12,52	30,51	63,19
10LK	$f_{cm} = 1E - 04Rn^{3,8772}$	0,75	3,63	11,08	26,31	53,35
5CLK-D	$f_{cm} = 0,0017Rn^{2,9849}$	1,64	5,51	13,00	25,30	43,60
5CLK-S	$f_{cm} = 6E - 05Rn^{4,0805}$	0,72	3,78	12,22	30,37	63,91
Manual alat	$f_{cm} - 0,0156Rn^2 2,0056Rn 19,882$	-1,39	6,69	13,99	20,51	26,25
Kumavat <i>et al.</i> (2021), M15-M25, PC I, w/c=0,5	$f_{cm} = 1,8167Rn - 25,036$	-7,06	2,02	11,11	20,19	29,27
Kumavat <i>et al.</i> (2021), w/c = 0,35-0,5	$f_{cm} = 1,5979Rn - 16,228$	-0,25	7,74	15,73	23,72	31,71
Brencich <i>et al.</i> (2013) Benda uji kering	$f_{cm} = 1,2813e^{0,1017Rn}$	3,54	5,89	9,80	16,29	27,08

Persamaan regresi dengan pola 10LK-5CLK-D dan 5CLK-S menunjukkan nilai R² terbesar untuk persamaan regresi $f_{cm} = 6E - 05Rn^{4,0805}$ sebagai formulasi terpilih dengan Rn = rerata 5 nilai pantul terdiri dari 1 titik pada pusat, 4 lainnya: di atas, di bawah, di kanan dan di kiri pusat pengujian dengan radius minimum 2,5 cm (Badan Standardisasi Nasional, 1997).

Dua persamaan terpilih pada penelitian ini hampir sejalan dengan hasil penelitian Kumavat *et al.* (2021) dan Brencich *et al.* (2013), dimana pada Rn>25 nilai lebih kecil dan pada Rn>25 menunjukkan nilai lebih besar dibandingkan dengan nilai kuat tekan berdasarkan grafik pada manual alat. Hasil analisa ini menunjukkan bahwa grafik pada manual alat perlu dikalibrasi dan dua formulasi hasil penelitian ini merupakan alternatif dalam menentukan kuat tekan beton menggunakan HT.

Pengulangan penelitian ini mungkin menghasilkan kesimpulan yang berbeda jika menggunakan merk, jenis, tipe *hammer* yang berbeda. Keterampilan operator dan perbedaan mutu beton yang diuji bagian dari parameter yang masih perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat dalam menentukan kuat tekan dengan HT (Szilágyi *et al.*, 2013). Penggunaan hasil penelitian akan memberikan hasil yang akurat jika variabel nilai pantul yang disiapkan ditentukan melalui prosedur yang sesuai dengan penelitian ini (Breyse *et al.*, 2019).

4 Kesimpulan dan Saran

4.2 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan penelitian ini menyimpulkan kuat tekan kubus beton yang ditentukan berdasarkan *hammer test* (HT) dengan arah titik pantul kebawah ($\alpha = -90^\circ$) cukup mengambil 5 titik pantul, 1 titik pada titik pusat pengujian dan 4 lainnya mengikuti garis diagonal atau salib sumbu dengan jarak minimum 25 mm. Kuat tekan beton dengan pola segiempat ditentukan formulasi *fcm* sebesar $8E - 05Rn^{3,9926}$ dengan *Rn* sebesar rerata 5 nilai pantul terdiri dari 1 titik pada titik 4 pada sudut bujur sangkar dengan panjang sisi minimal 3,6 cm yang berpusat pada titik pusat pengujian dan untuk pola radial dengan formulasi *fcm* sebesar $6E - 05Rn^{4,0805}$, dengan *Rn* sebesar rerata 5 nilai pantul terdiri dari 1 titik pada pusat, 4 lainnya: di atas, di bawah, di kanan dan di kiri pusat pengujian dengan radius minimum 2,5 cm.

4.3 Saran

Formulasi kuat tekan kubus beton pada kesimpulan penelitian ini representatif untuk beton mutu rendah dengan *fcm* sebesar 5 - 30 Mpa dan untuk kuat tekan diatas rentang tersebut perlu dilakukan kajian tersendiri. Pengulangan penelitian ini mungkin menghasilkan kesimpulan yang berbeda jika menggunakan merk, jenis, tipe *hammer* yang berbeda, oleh karena itu dilakukan kajian khusus terkait parameter-parameter tersebut. Keterampilan operator dan perbedaan mutu beton yang diuji merupakan parameter penting perlu dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat dalam menentukan kuat tekan beton dengan *hammer test*. Penggunaan formulasi yang direkomendasikan pada kesimpulan penelitian ini akan menghasilkan yang akurat jika prosedur penentuan nilai *Rn* berdasarkan 5 nilai pantul palu arah vertikal ke bawah ($\alpha = -90^\circ$).

Ucapan Terima Kasih

Paper ini merupakan luaran penelitian yang dibiayai oleh Dana Penelitian Kompetitif Nasional-Penelitian Dosen Pemula (PDP), Hibah Dana Internal Universitas Ngurah Rai Tahun Anggaran 2022 melalui Lembaga Penelitian Pengabdian Kepada Masyarakat dan Pusat Kajian Universitas Ngurah Rai (LPPMPK UNR), dengan Surat Perjanjian Penelitian Kompetitif Nasional-Hibah Dana Internal Universitas Ngurah Rai Tahun Anggaran 2022 Nomor: 205.1/01.05.1/1.09/2022, Tanggal: 28 Juli 2022. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Ngurah Rai melalui LPPMPK UNR yang telah mendanai penelitian ini, mahasiswa yang terlibat dalam penelitian ini dan tenaga pelaksana yang telah membantu di laboratorium selama proses penelitian.

Daftar Kepustakaan

Alwash, M., Breysse, D., Sbartai, Z.M., Szilágyi, K., Borosnyói, A., 2017. Factors Affecting the Reliability of Assessing the Concrete Strength by Rebound Hammer and Cores. *Constr. Build. Mater.* 140, 354–363. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.129>

- ASTM, 2000. Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, ASTM International. Farmington Hills.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. SNI 1974-2011 : Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Badan Stand. Nas. Indones. 20.
- Badan Standardisasi Nasional, 2010. RSNI 4803:20xx Metode Uji Angka Pantul Beton Keras (ASTM C 805-02), Badan Standardisasi Nasional Indonesian.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002. SNI 03-2942-2002 : Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti.
- Badan Standardisasi Nasional, 2000. SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Badan Stand. Nas. Indones. 1–34.
- Badan Standardisasi Nasional, 1997. SNI-03-4430-1997 : Pengujian Hammer Test Tipe N dan NR.pdf.
- Badan Standardisasi Nasional, 1994. SNI-03-3403-1994 : Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran.
- Brencich, A., Cassini, G., Pera, D., Riotto, G., 2013. Calibration and Reliability of the Rebound (Schmidt) Hammer Test. *Civ. Eng. Archit.* 1, 66–78. <https://doi.org/10.13189/cea.2013.010303>
- Breysse, D., Balayssac, J.P., Biondi, S., Corbett, D., Goncalves, A., Grantham, M., Luprano, V.A.M., Masi, A., Monteiro, A.V., Sbartai, Z.M., 2019. Recommendation of RILEM TC249-ISC on Non Destructive in Situ Strength Assessment of Concrete. *Mater. Struct. Constr.* 52, 1–21. <https://doi.org/10.1617/s11527-019-1369-2>
- Cheng, F.-H., 1998. *Statics and Strength of Material*, Second. ed. Glencoe/McGraw-Hill, Singapore.
- Karundeng, V.S., Steenie E. Wallah, R.P., 2015. Penerapan Metode Schmidt Hammer Test dan Core Drilled Test untuk Evaluasi Kuat Tekan Beton pada Ruang IGD RSGM UNSRAT Guna Alih Fungsi Bangunan. *Sipil Statik* 3, 221–227.
- Kementerian Pekerjaan umum dan Perumahan Rakyat, 2016. *Pedoman Tata Cara Penentuan Campuran Beton Normal dengan Semen OPC, PPC dan PCC*.pdf.
- 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 Stud. Constr. Mater.* 14, e00491. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00491>
- Neville, A.M., Brooks, J.J., 2010. *Concrete Technology*, 2nd Edition Book.pdf. Pearson.
- Pawirodikromo, W., 2014. *Analisis Tegangan Bahan*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Ridho, F., Khoeri, H., 2015. Perbandingan Mutu Beton Hasil UPVT Metode Indirect Terhadap Mutu Beton Hasil Hammer Test dan Core Drill. *J. Konstr.* 6, 25–39.
- Simatupang, R.M., Nuralinah, D., Remayanti, C., 2016. Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Antara Hammer Test, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) dan Compression Test. *Rekayasa Sipil* 10.
- Soemono, 1985. *Ilmu Gaya, Keenam*. ed. Penerbit Djambatan, Bandung.
- Sumajouw, A.J., Pandaleke, R., Wallah, S.E., 2018. Perbandingan Kuat Tekan Menggunakan Hammer Test pada Benda Uji Portal Beton Bertulang dan Menggunakan Mesin Uji Kuat Tekan pada Benda Uji Kubus. *J. Sipil Statik* 6

- Szilágyi, K., Borosnyói, A., Mikó, T., 2013. Comparison of the Inherent Variability in Rebound Hammer Tests Performed with Different Testing Instruments. *Epa. - J. Silic. Based Compos. Mater.* 65, 68–75. <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.14>
- Szilágyi, K., Borosnyói, A., Zsigovics, I., 2015. Understanding the Rebound Surface Hardness of Concrete. *J. Civ. Eng. Manag.* 21, 185–192. <https://doi.org/10.3846/13923730.2013.802722>
- Teychenné, D.C., Franklin, R.E., Erntroy, H.C., 1997. Establishment Design of Normal Concrete Mixes, Second. ed. Construction Research Communications Ltd, London.
- Yeşilmen, S., 2012. Evaluation of Rebound Hammer Test as a Combined Procedure Used with Drill Core Testing for Evaluation of Existing Structures. *RILEM Bookseries* 6. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0723-8_49

Copyright (c) I Gusti Ngurah Eka Partama, Ni Putu Silvi, I Gusti Made Sudika