

REFORMULASI GRAFIK KUAT TEKAN BETON DENGAN HAMMER TEST TIPE-N UNTUK MENINGKATKAN AKURASI HASIL UJI KUBUS DAN SILINDER

Reformulation of Concrete Compressive Strength Graphics With N-Type Hammer Test to Improve the Accuracy of Cube and Cylinder Test Results

I Gusti Ngurah Eka Partama

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai
Jalan Padma, Br. Tembau, Penatih, Denpasar Timur, Denpasar, Bali
Surel: epartama@gmail.com

Diterima : 15 Agustus 2024

; Disetujui : 24 Maret 2025

Abstrak

Salah satu pengujian kuat beton non-destructive test yaitu menggunakan Original Hammer Test Tipe-N yang sangat tergantung pada ketelitian saat menarik garis, menentukan titik dan membaca nilai kuat tekan pada kurva maupun sumbu pada grafik yang disiapkan. Kelemahan ini akan diatasi dengan menyusun persamaan matematis yang menyatakan hubungan nilai pantul (R_n) dan kuat tekan (f'_c). Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi grafik dan menentukan formulasi yang menyatakan korelasi R_n - f'_c . Kajian dilakukan dengan analisis regresi berdasarkan korelasi R_n - f'_c pada grafik yang tersedia pada badan alat maupun buku panduannya dan mensimulasi ulang menggunakan $R_n = 2$ sampai 60. Data hasil simulasi dianalisis ulang untuk menentukan koreksi persamaan regresi dan modifikasi grafik aslinya. Penelitian ini menyimpulkan bahwa dalam pengujian menggunakan Original Hammer Test Tipe-N kuat tekan dapat ditentukan dengan persamaan regresi polinom derajat 2 yaitu: Kuat tekan yang setara spesimen kubus arah horisontal, kebawah dan keatas masing-masing menggunakan formulasi $f'_{cu} = 0,0113R_n^2 + 0,8569R_n - 12,615$; $f'_{cu} = 0,011R_n^2 + 0,8845R_n - 8,1916$; $f'_{cu} = 0,0156R_n^2 + 0,5544R_n - 14,081$, sedangkan untuk spesimen silinder menggunakan persamaan $f'_{ci} = 0,0077R_n^2 + 0,8557R_n - 7,9264$; $f'_{ci} = 0,0074R_n^2 + 0,8875R_n - 12,663$; $f'_{ci} = 0,0083R_n^2 + 0,877R_n - 19,679$, dengan f'_c dalam MPa dan R_n = Nilai pantul palu.

Kata Kunci: Beton, hammer test Tipe-N, kuat tekan, nilai pantul palu, non-destructive test, regresi polinom derajat 2

Abstract

One of the non-destructive test concrete strength tests is using N-Type Original Hammer Test which really depends on accuracy when drawing lines, determining points and reading compressive strength values on curves and axes on the prepared graph. This weakness will be overcome by compiling a mathematical equation that states the relationship between reflective value (R_n) and compressive strength (f'_c). This research aims to modify the graph and determine a formulation that expresses the R_n - f'_c correlation. The study was carried out using regression analysis based on the R_n - f'_c correlation on the graphs available on the tool body and in the manual and re-simulating using $R_n = 2$ to 60. The simulation data was re-analyzed to determine corrections to the regression equation and modifications to the original graph. This research concludes that in testing using the N-Type Original Hammer test the compressive strength can be determined using the 2nd degree polynomial regression equation, namely: The equivalent compressive strength of a cube specimen in horizontal, downward and upward directions respectively using the formulation $f'_{cu} = 0.0113R_n^2 + 0.8569R_n - 12.615$; $f'_{cu} = 0.011R_n^2 + 0.8845R_n - 8.1916$; $f'_{cu} = 0.0156R_n^2 + 0.5544R_n - 14.081$, while for cylindrical specimens respectively $f'_{ci} = 0.0077R_n^2 + 0.8557R_n - 7.9264$; $f'_{ci} = 0.0074R_n^2 + 0.8875R_n - 12.663$; $f'_{ci} = 0.0083R_n^2 + 0.877R_n - 19.679$, with f'_c in MPa and R_n = hammer rebound number.

Keywords: Concrete, N-Type hammer test, compressive strength, hammer rebound number, non-destructive test, polynomial regression of degree 2

PENDAHULUAN

Beton yang sudah dikerjakan perlu dilakukan pengujian untuk memastikan mutu beton yang

dicapai. Pengujian beton dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu pengujian merusak (*Destructive test*) dan pengujian tidak merusak (*Nondestructive test*). Pengujian yang bersifat merusak yaitu

pengujian tekan menggunakan spesimen yang diambil saat pelaksanaan pengecoran maupun hasil pengeboran inti (*Core drilled*) pada elemen struktur. Untuk pengujian yang tidak merusak dapat dilakukan dengan uji pantul palu (*Hammer Test*) dan uji rambat gelombang ultrasonik (*Ultrasonic Velocity Pulse Test*)

Hammer Test (HT) adalah salah satu metode pengujian tidak merusak yang paling lazim digunakan karena mempunyai keunggulan yaitu ukurannya kecil dan ringan sehingga mudah dimobilisasi (*portable*), mudah dioperasikan berdampak pada biaya penjaminan mutu lebih rendah (Saremi, Goulas, dan Akhter, 2022), (Wang dan Wan, 2019), (Onyeka, 2020). Keunggulan lain yaitu mampu memberi informasi kuat tekan lebih cepat, sehingga evaluasi capaian mutu beton yang dikerjakan dengan cepat bisa disimpulkan, hal ini berdampak pada tindakan-tindakan korektif yang diperlukan dengan cepat dapat dieksekusi.

Schmidt Hammer Test tersedia dalam berbagai jenis atau model yaitu *Original*, *original live*, *Silver* dan *Rock Rebound*. Model *original* dan *original live* adalah jenis *hammer* yang sama, dimana *original live* dilengkapi dengan pencatatan dan pengolahan nilai pantulan secara elektronik sehingga dapat lebih cepat menginformasikan dan melaporkan kuat tekan beton secara digital karena menggunakan konektivitas berbasis *cloud*. Model *Silver* menggunakan *encoder optic*, sehingga lebih presisi dalam mengukur energi pantulan dari pendorong dan digunakan sebagai penguat hasil pengujian menggunakan instrumen kecepatan pulsa (*ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*) dalam Metode *Sonic Rebound* (SONREB). Tipe *Rock Rebound* dirancang untuk aplikasi geologi dan geoteknik dalam mengklasifikasikan karakteristik kekerasan

dan kekuatan formasi batuan alami. Semua model tersedia dalam Tipe N, NR, L dan LR, dengan NR serta LR dilengkapi dengan komponen pencatat data pantulan. Tipe N dan NR memiliki luaran energi 1,63ft-lbf (2,207Nm) yang diperuntukkan menguji elemen beton dengan ketebalan minimal 4 inci (100mm), sedangkan Tipe L dan LR memiliki luaran energi 0,54ft-lbf (0,735Nm) elemen beton dengan ketebalan dibawah 4 inci (100mm) (Proceq, 2002).

Model *Original Hammer Test* Tipe N dan NR dapat dilihat seperti Gambar 1. Tipe N adalah yang paling umum digunakan untuk menguji elemen beton. Di Indonesia pengujian pantulan palu diatur sesuai SNI ASTM C805:2012 Metode Uji Angka Pantul Beton Keras (ASTM C 805-02, IDT) yang diadopsi dari Standar Amerika Serikat. Kaitan dengan hal tersebut negara-negara Eropa, Inggris, Jerman, Prancis, Belgia dan China masing-masing menerbitkan standar: EN 12 504-2, BS 1881 : part 202, DIN 1048 : part 2, NFP 18-417, B 15-225 dan JGJ/ T 23-2011 (Proceq, 2002).

Pedoman pelaksanaan *Hammer test* di Indonesia ditetapkan berdasarkan SNI ASTM C805-02 : 2012 yang diadopsi dari ASTM 805-02 (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Alat sebelum digunakan harus dikalibrasi menggunakan *Anvil* penguji dengan kekerasan material standar 80 ± 2 (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2012). Ratio rerata bacaan nilai pantul saat kalibrasi (ASTM International, 2022) dibandingkan dengan nilai pantul standar digunakan sebagai pembagi dalam melakukan koreksi hasil pengujian di lapangan. Standar operasional pengujian sesuai SNI ASTM C805-02 : 2012 diawali dengan pemilihan lokasi pengujian dengan memilih bidang pengujian minimal seluas 150x150 cm dengan ketebalan



a. Tipe N

Sumber :

<https://www.humboldt-mfg.com/schmidt-hammer-type-n.html>

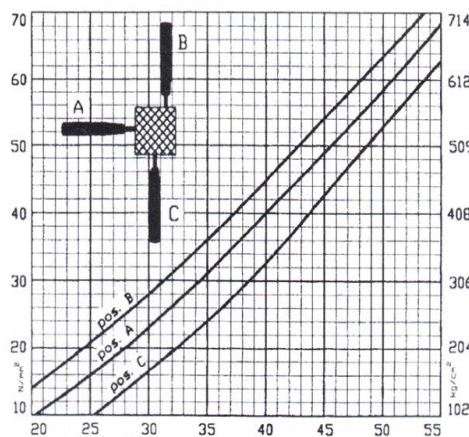


b. Tipe NR

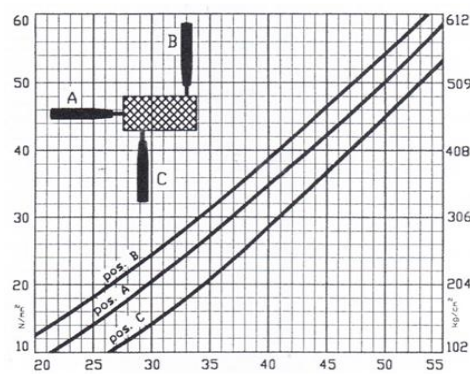
Sumber:

<https://www.mtmpr.com.my/showproducts/productid/5011545/cid/376617/proceq-concrete-test-hammer-schmidt-hammer-type-n/>

Gambar 1 *Original Hammer Test*



(a) Kuat tekan spesimen kubus



(b) Kuat tekan spesimen silinder

Gambar 2 Grafik Hubungan R_n dan f'_c Sesuai Panduan Alat

Sumber: [Matest-2017](#), [Humboldt-2005](#), [Proceq-2002](#)

elemen tidak kurang dari 100 mm. Permukaan dengan tekstur yang kasar, lunak atau terkelupas mortarnya harus diratakan dengan batu penggosok terlebih dahulu, kemudian disiapkan minimal 10 titik pengujian dengan jarak tidak kurang dari 25 mm satu dengan yang lainnya. Pengujian dilakukan dengan memegang alat sedemikian hingga posisi hulu palu tegak lurus dengan permukaan beton yang diuji. Pengujian dilakukan dengan menekan alat secara perlahan ke arah permukaan uji sampai palu menumbuk hulu palu dan tombol pengunci ditekan untuk menahan pada posisinya. Nilai pantulan dibaca

pada skala yang tercantum pada badan alat dan selanjutnya dicatat pada lembar atau formulir pengujian sampai seluruh titik pengujian dicatat nilai pantulnya. Nilai pantul pada setiap lokasi pengujian dipilih dengan mengabaikan nilai pantul yang berselisih 6 satuan terhadap rerata seluruh nilai pantul yang diambil di lokasi pengujian. Hasil rerata nilai pantul yang dipilih selanjutnya dikoreksi dengan membaginya menggunakan angka kalibrasi. Untuk menentukan kuat tekan, angka rerata nilai pantul setelah dikoreksi diplot pada grafik sumbu horisontal (nilai pantul) dan menarik garis vertikal sehingga berpotongan

Tabel 1 Data R_n dan f'_c Spesimen Kubus Menurut Gambar 2(a)

Nilai Pantul (R_n)	Kuat tekan (f'_c)					
	Pos. A ($\alpha=0^\circ$)		Pos. B ($\alpha=-90^\circ$)		Pos. C ($\alpha=+90^\circ$)	
	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
20	-	-	14,00	143	-	-
22	12,00	122	16,50	168	-	-
25	16,00	163	21,00	214	-	-
27	18,50	189	23,75	242	12,50	128
30	23,00	235	28,00	286	16,75	171
32	26,00	265	31,00	316	19,50	199
35	31,00	316	36,00	367	24,00	245
37	34,75	355	39,50	403	27,50	281
40	40,00	408	45,00	459	32,75	334
42	43,50	444	48,50	495	36,50	372
45	49,00	500	54,00	551	42,75	436
47	52,50	536	58,00	592	47,00	480
50	58,50	597	63,75	651	53,00	541
52	62,50	638	67,00	684	57,00	582
55	68,50	699	-	-	63,00	643

Sumber: [Matest-2017](#), [Humboldt-2005](#), [Proceq-2002](#)

Tabel 2 Persamaan $Rn-f'c$ untuk Spesimen Kubus Menurut Gambar 2(a)

No.	Posisi Hammer	Satuan $f'c$	Persamaan Regresi	r^2	Jenis
1	Pos. A, ($\alpha=0^\circ$)	MPa	$f'c_{cu} = 0,0113Rn^2 + 0,8559Rn - 12,606$	0,9998	Polinom Kwadratik
		Kg/cm ²	$f'c_{cu} = 0,1154Rn^2 + 8,7341Rn - 128,63$		
2	Pos. B, ($\alpha=-90^\circ$)	MPa	$f'c_{cu} = 0,011Rn^2 + 0,882Rn - 8,176$	0,9998	Polinom Kwadratik
		Kg/cm ²	$f'c_{cu} = 0,1127Rn^2 + 8,9995Rn - 83,429$		
3	Pos. C, ($\alpha=+90^\circ$)	MPa	$f'c_{cu} = 0,0156Rn^2 + 0,5517Rn - 14,055$	0,9995	Polinom Kwadratik
		Kg/cm ²	$f'c_{cu} = 0,1595Rn^2 + 5,6297x - 143,42$		

Sumber: [Matest-2017](#), [Humboltd-2005](#), [Proceq- 2002](#)

dengan kurva sesuai sudut arah pantulan (inklinasi), selanjutnya menarik garis ke kiri atau ke kanan sesuai satuan kuat tekan yang diinginkan. Akurasi pembacaan sangat tergantung pada ketelitian membuat garis dan membaca nilai kuat tekan pada kurva yang disiapkan. ([Badan Standardisasi Nasional, 2012](#)), ([American Concrete Institute, 2019](#)).

Sampai saat ini penggunaan grafik cukup representatif untuk kuat tekan ($f'c$) diatas 15 MPa, sedangkan untuk dibawahnya kuat tekan tidak

sepenuhnya dapat ditentukan berdasarkan nilai pantul. Pada Gambar 2 (a) untuk spesimen kubus, Posisi A, B dan C tidak bisa menginformasikan kuat tekan saat Rn dibawah 21, 20 dan 26, sedangkan pada Gambar 2 (b) untuk spesimen silinder kuat tekan tidak bisa diinformasikan bila Rn dibawah 22, 20 dan 27 ([Matest, 2017](#)), ([Benjeddou et al., 2022](#)), ([Humboltd, 2005](#)), ([Proceq, 2002](#)). Nilai Rn hasil rerata sangat mungkin menghasilkan nilai pantul dalam angka desimal merupakan salah satu faktor kesulitan dalam membaca kuat tekan dengan cepat dan tepat.

Tabel 3 Data Rn dan $f'c$ Spesimen Silinder Menurut Gambar 2(b)

Nilai Pantul (Rn)	Kuat tekan ($f'c$)					
	Pos. A ($\alpha=0^\circ$)		Pos. B ($\alpha=-90^\circ$)		Pos. C ($\alpha=+90^\circ$)	
	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
20	-	-	12,50	128	-	-
22	10,75	110	14,75	151	-	-
25	14,00	143	18,25	186	-	-
27	16,50	168	20,75	212	10,50	107
30	20,50	209	24,50	250	14,00	143
32	23,00	235	27,00	276	16,50	168
35	27,50	281	31,00	316	20,75	212
37	30,25	309	34,50	352	23,75	242
40	35,00	357	39,00	398	28,75	293
42	38,00	388	42,00	429	31,75	324
45	42,25	431	46,50	474	36,75	375
47	45,00	459	49,50	505	40,00	408
50	50,00	510	54,25	554	45,00	459
52	53,50	546	57,00	582	48,50	495
55	58,50	597	-	-	53,00	541

Sumber: [Matest-2017](#); [Humboltd-2005](#); [Proceq-2002](#)

Tabel 4 Persamaan $Rn-f'c$ untuk Spesimen Silinder Menurut Gambar 2(b)

No.	Posisi Hammer	Satuan $f'c$	Persamaan Regresi	r^2	Jenis
1	Pos. A ($\alpha=0^\circ$)	MPa	$f'c_{ci} = 0,0074Rn^2 + 0,8875Rn - 12,663$	0,9998	Polinom Kwadratik
		Kg/cm ²	$f'c_{ci} = 0,0753Rn^2 + 9,0566Rn - 129,21$		
2	Pos. B, ($\alpha=-90^\circ$)	MPa	$f'c_{ci} = 0,0077Rn^2 + 0,8557Rn - 7,9264$	0,9998	Polinom Kwadratik
		Kg/cm ²	$f'c_{ci} = 0,0789Rn^2 + 8,7317Rn - 80,882$		
3	Pos. C, ($\alpha=+90^\circ$)	MPa	$f'c_{ci} = 0,0083Rn^2 + 0,8769Rn - 19,679$	0,9995	Polinom Kwadratik
		Kg/cm ²	$f'c_{ci} = 0,0842Rn^2 + 8,9481Rn - 200,8$		

Sumber: [Matest-2017](#); [Humboldt-2005](#); [Proceq-2002](#)

Tabel 5 Data $Rn-f'c$ Spesimen Kubus Hasil Simulasi

Nilai Pantul (Rn)	Kuat tekan ($f'c$)					
	Pos. A ($\alpha=0^\circ$)		Pos. B ($\alpha=-90^\circ$)		Pos. C ($\alpha=+90^\circ$)	
	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
2	-10,85	-111	-6,37	-65	-12,89	-132
5	-8,04	-82	-3,49	-36	-10,91	-111
7	-6,06	-62	-1,46	-15	-9,43	-96
10	-2,92	-30	1,75	18	-6,98	-71
12	-0,71	-7	4,00	41	-5,19	-53
15	2,78	28	7,54	77	-2,27	-23
17	5,21	53	10,01	102	-0,17	-2
20	9,03	92	14,00	143	3,22	33
22	12,00	122	16,50	168	5,63	57
25	16,00	163	21,00	214	9,49	97
27	18,50	189	23,75	242	12,50	128
30	23,00	235	28,00	286	16,75	171
32	26,00	265	31,00	316	19,50	199
35	31,00	316	36,00	367	24,00	245
37	34,75	355	39,50	403	27,50	281
40	40,00	408	45,00	459	32,75	334
42	43,50	444	48,50	495	36,50	372
45	49,00	500	54,00	551	42,75	436
47	52,50	536	58,00	592	47,00	480
50	58,50	597	63,75	651	53,00	541
52	62,50	638	67,00	684	57,00	582
55	68,50	699	73,66	752	63,00	643
57	72,89	744	77,89	795	68,08	695
60	79,43	810	84,40	861	75,21	767

Sumber: Hasil simulasi-2024

Tabel 6 Persamaan $Rn-f'c$ untuk Spesimen Kubus Hasil Modifikasi

No.	Posisi Hammer	Satuan $f'c$	Persamaan Regresi	r^2	Jenis
1	Pos. A ($\alpha=0$)	MPa	$f'c_{cu} = 0,0113Rn^2 + 0,8559Rn - 12,606$	1,0000	Polinom Kwadrat
		Kg/cm ²	$f'c_{cu} = 0,1154Rn^2 + 8,7341Rn - 128,63$		
2	Pos. B, ($\alpha=-90^\circ$)	MPa	$f'c_{cu} = 0,011Rn^2 + 0,882Rn - 8,176$	1,0000	Polinom Kwadrat
		Kg/cm ²	$f'c_{cu} = 0,1127Rn^2 + 8,9995Rn - 83,429$		
3	Pos. C, ($\alpha=+90^\circ$)	MPa	$f'c_{cu} = 0,0156Rn^2 + 0,5517Rn - 14,055$	0,9999	Polinom Kwadrat
		Kg/cm ²	$f'c_{cu} = 0,159Rn^2 + 5,657Rn - 143,69$		

Sumber: Hasil analisis-2024

Pada sisi lain nilai pantul yang terbaca pada skala sering menunjukkan nilai dibawah 25 untuk arah pantul keatas dan 20 untuk arah kebawah dan horisontal, namun tidak bisa ditentukan kuat tekannya karena grafik yang tersedia tidak memungkinkan untuk membacanya.

Bagaimana agar hasil bacaan *Original Hammer Test* Tipe-N dapat memberikan informasi yang cepat dan dapat mengakomodir bacaan dengan nilai pantul pada rentang $Rn < 20$ dan $Rn > 55$ seperti Gambar 2(a) dan 2(b)? Penelitian ini dilakukan untuk memodifikasi grafik asli serta melengkapinya dengan persamaan matematis yang merepresentasikan korelasi kuat tekan beton ($f'c$) dan nilai pantulan palu (Rn).

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode studi literatur. Data-data yang disiapkan berupa grafik, nilai pantul dan kuat tekan untuk spesimen kubus dan silinder. Nilai pantul palu (*Rebound number*) dan kuat tekan dikumpulkan dari grafik yang tersedia pada badan alat maupun buku panduan penggunaan alat, selanjutnya dianalisis secara regresi dengan mensimulasikan berbagai jenis persamaan regresi yang menyatakan hubungan Rn dan $f'c$. Persamaan regresi dengan faktor determinasi (r^2) tertinggi adalah persamaan yang mempresentasikan hubungan nilai pantul dan kuat tekan yang paling sesuai dengan grafik yang tersedia pada alat maupun pada buku panduan. Berdasarkan persamaan yang didapat disusun tabel simulasi nilai pantul mulai dari $Rn=2$ sampai kuat tekan mencapai maksimum yang tercantum pada grafik yang tersedia.

Teori statistik yang menyatakan korelasi dua buah data atau lebih disebut regresi, dimana satu variabel terikat (*dependent variable*) dapat dipengaruhi oleh satu atau lebih variabel bebas (*independent variable*) yang presentasikan dalam

satu persamaan matematis (Sudjana, 2005), (Kartiningrum et al., 2022), (Winarno, 2024). Persamaan 1 – 5 adalah persamaan regresi yang mempresentasikan korelasi 1 variabel terikat (y) dan 1 variabel bebas (x). Dalam penelitian ini kuat tekan merupakan variabel terikat sedangkan nilai pantulan palu sebagai variabel terikat.

- Regresi linear sederhana
 $y = a + bx$ (1)
- Regresi eksponensial
 $y = ae^{bx}$ (2)
- Regresi Logaritma
 $y = a + b \ln(x)$ (3)
- Regresi polinom kwadratik
 $y = ax^2 + bx + c$ (4)
- Regresi geometrik
 $y = ax^b$ (5)

Dimana:

- y = Variabel terikat, Kuat tekan ($f'c$)
 x = Variabel bebas, nilai pantulan palu (Rn)
 a, b = Koefesien regresi
 c = Konstanta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

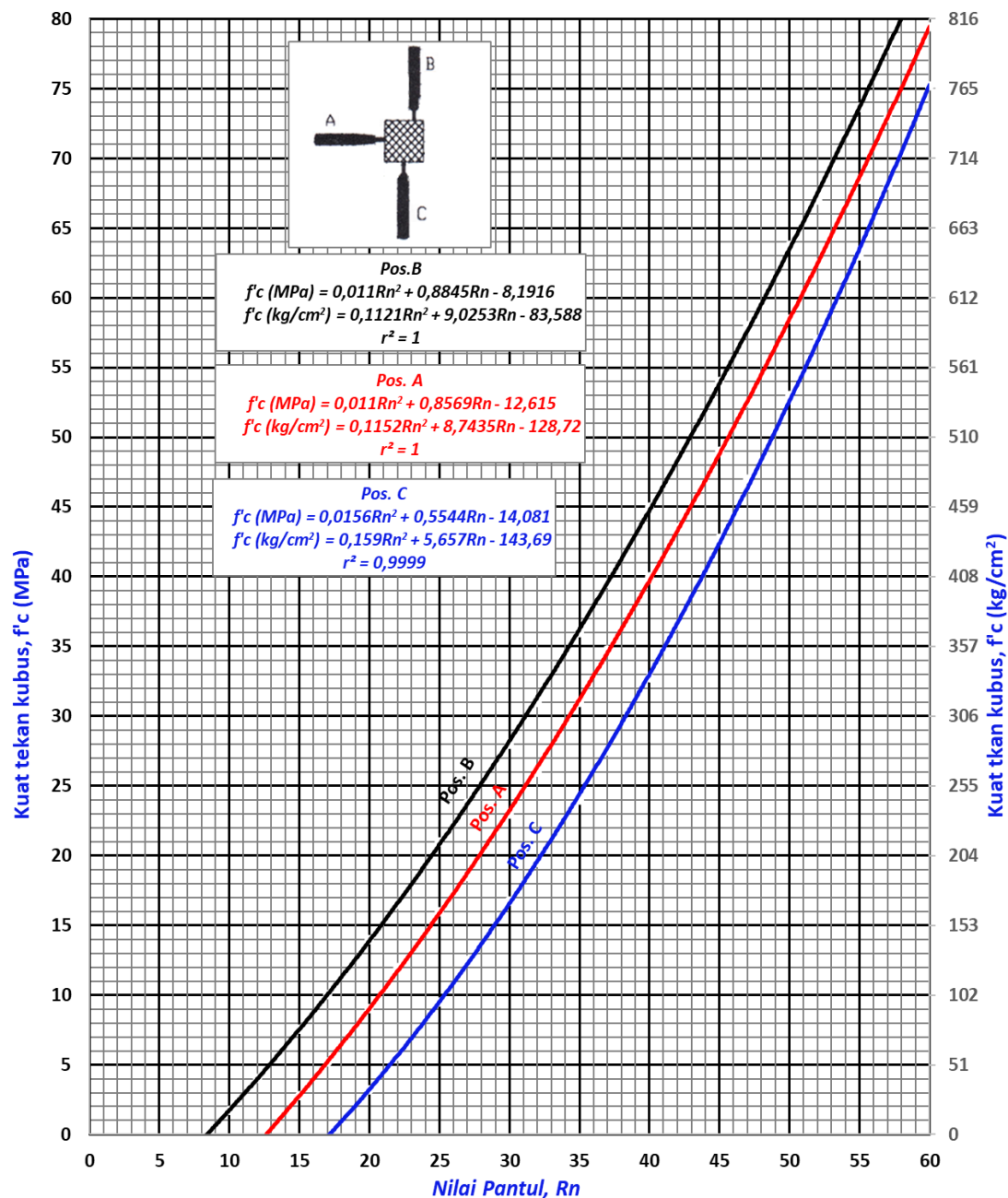
Data Rn dan $f'c$ untuk masing-masing grafik spesimen kubus dan silinder ditabulasi dan disajikan pada Tabel 1 dan 3. Persamaan yang mempresentasikan korelasi antara Rn dan $f'c$ didapat berdasarkan analisis regresi menggunakan fitur Graph pada Microsoft Excel. Persamaan-persamaan yang didapat selanjutnya disajikan dalam Tabel 2 dan 4 dan disimulasi ulang dengan

nilai pantul $R_n = 2$ sampai 60 untuk mendapatkan data kuat tekan, sehingga data Tabel 1 dan 3 dilengkapi menjadi Tabel 5 dan 6. Dalam Tabel 2 dan 4 dapat dibaca faktor determinasi (r^2) mendekati 1 yang dimaknai kuat tekan beton sepenuhnya dapat ditentukan berdasarkan nilai pantul palu (R_n) (Sudjana, 2005), (Kartiningrum et al., 2022).

Hasil modifikasi grafik dan persamaan tiap kurva pada Tabel 6 serta Gambar 3 dan 4 jika dikomparasi dengan beberapa data saat evaluasi dan investigasi mutu beton menggunakan *Hammer Test* pada beberapa bangunan seperti: pelaksanaan *Hammer Test* saat investigasi keandalan struktur beton pada

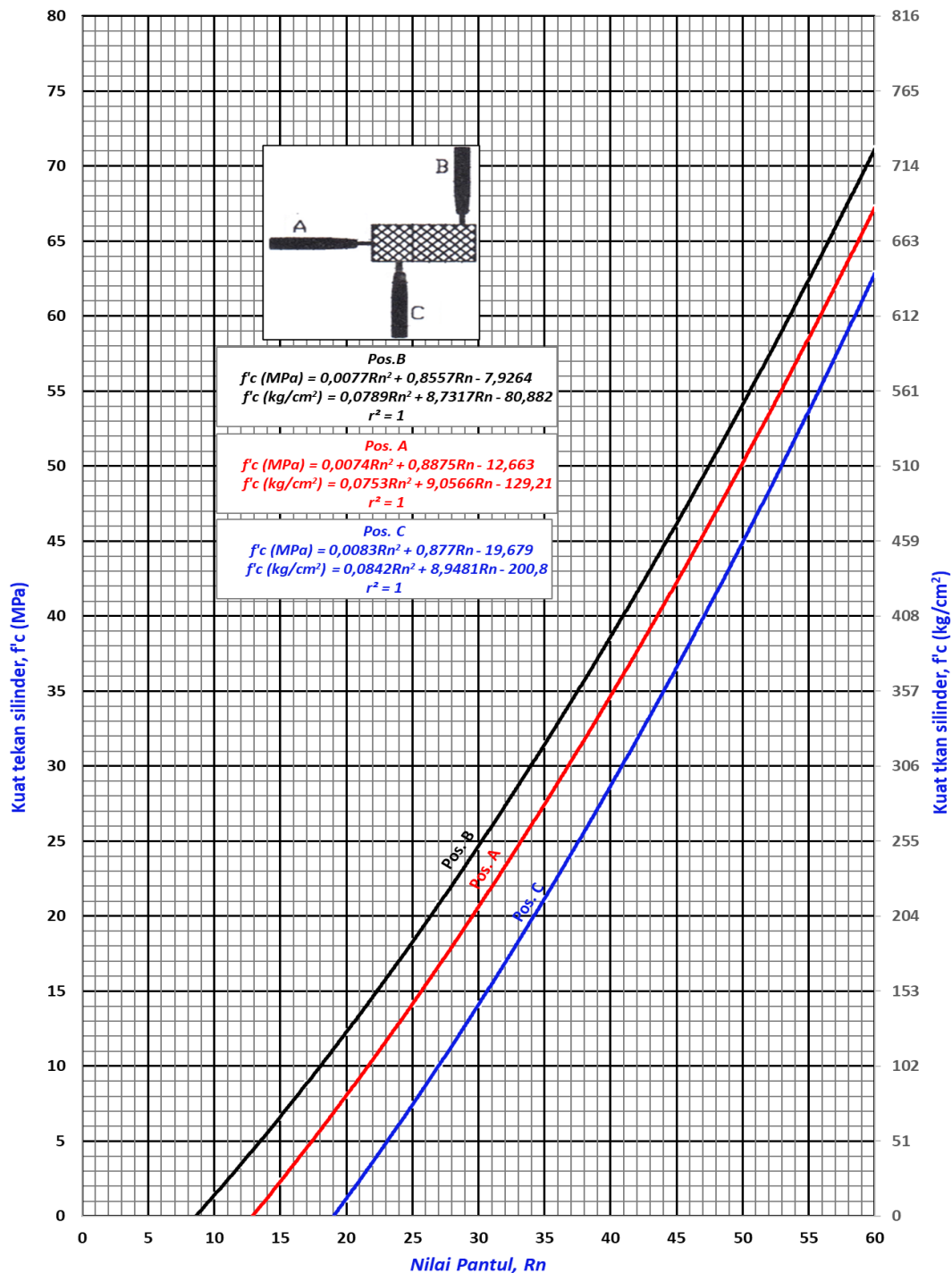
Stadion Utama Riau, nilai pantul palu (R_n) berturut-turut 37; 38; 39; 40; 41; 42; 44 dan 45 dalam arah horisontal (Pos. A, $a=0$) diterjemahkan dari grafik spesimen kubus (Gambar 2 (a)) menjadi kuat tekan (f'_c) berturut-turut 357; 374; 390; 408; 426; 442; 479 dan 497 kg/cm^2 (Apriani, 2016). Nilai yang ditampilkan adalah nilai pantul tunggal sehingga saat menempatkan nilai R_n pada grafik mudah ditentukan namun saat menetapkan f'_c dapat memberikan nilai yang berbeda saat orang lain mengerjakannya.

Saat nilai R_n tersebut diatas dimasukkan ke persamaan pada Tabel 5 untuk posisi horisontal (Pos. A) didapat nilai kuat tekan berturut-turut



Gambar 3 Grafik Modifikasi Korelasi R_n - f'_c untuk Spesimen Kubus

Sumber: Hasil analisis-2024



Gambar 4 Grafik Modifikasi Korelasi R_n - f'_c untuk Spesimen Silinder

Sumber: Hasil analisis-2024

352,50; 369,88; 387,50; 405,34; 423,41; 441,72; 479,02; 498,02. Jika keduanya dicari reratanya untuk hasil plotting grafik secara langsung dan menggunakan persamaan hasil modifikasi yaitu 421,63 dan 419,67 kg/cm², hasil modifikasi lebih kecil 1,95 kg/cm² atau 0,46%.

Hasil komparasi ini menunjukkan persamaan modifikasi cukup representatif untuk dapat digunakan dalam menghitung kuat tekan

berdasarkan *original hammer test* tipe-N dan dengan mudah juga bisa mengkonversinya ke kuat tekan sesuai spesimen kubus atau silinder karena masing-masing sudah tersedia persamaan dan grafik yang sudah dimodifikasi untuk bisa menginformasikan kuat tekan dengan R_n minimal 8 (Alshaikh, I.M.H., Zeyad, 2022).

Grafik yang sedang dibahas adalah terbatas pada memodifikasi dan menyempurnakan grafik aslinya,

namun terkait dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya, beberapa penelitian telah mencoba melakukan kajian dengan melibatkan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengujian *Original Hammer Test* Tipe-N. Perbedaan mutu beton salah satu yang mempengaruhi akurasi kuat tekan yang diinformasikan berdasarkan nilai pantul, dimana untuk masing-masing tingkatan mutu beton (*grade*) rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi mempunyai hubungan linear antara nilai pantul dan kuat tekannya, berbeda dengan grafik yang sedang dibahas yaitu grafik dalam korelasi non-linear (polinom) derajat 2 (Elrazek dan Shafy Gamal, 2021), (Atoyebe, Ayanrinde, dan Oluwafemi, 2019). Kondisi ini menggiring para ahli untuk melakukan kajian dalam rangka menyiapkan grafik tersendiri untuk masing-masing *grade* beton.

Penelitian ini fokus untuk menawarkan alternatif untuk mempermudah menentukan kuat tekan berdasarkan hasil pengujian dengan *Original Hammer Test* Tipe-N, menggunakan persamaan matematis yang dapat memberikan informasi kuat tekan beton dengan nilai pantul (R_n) dari 8-60 atau nilai kuat tekan (f'_c) mulai 2-80 MPa.

Akurasi hasil pengujian tergantung pada kondisi spesimen dan keterampilan dalam menggunakan alat, oleh karena itu disarankan agar sebelum melakukan pengujian di lapangan dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan operator yang sama. Hal ini disarankan agar pengoperasian alat saat kalibrasi dengan saat pengujian menjadi konsisten.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menyimpulkan untuk menyempurnakan pelaksanaan pengujian *Original Hammer test* Tipe-N dapat menggunakan grafik hasil modifikasi dengan persamaan regresi polinom derajat 2 (kwadratik) yaitu: Kuat tekan hasil *Hammer Test* yang setara spesimen kubus arah horisontal, kebawah dan keatas masing-masing formulasi $f'_{cu} = 0,0113R_n^2 + 0,8569R_n - 12,615$; $f'_{cu} = 0,011R_n^2 + 0,8845R_n - 8,1916$; $f'_{cu} = 0,0156R_n^2 + 0,5544R_n - 14,081$, sedangkan untuk spesimen silinder dengan persamaan $f'_{ci} = 0,0077R_n^2 + 0,8557R_n - 7,9264$; $f'_{ci} = 0,0074R_n^2 + 0,8875R_n - 12,663$; $f'_{ci} = 0,0083R_n^2 + 0,877R_n - 19,679$, dengan f'_c dalam MPa dan R_n = Nilai pantul palu. Nilai R_n adalah parameter utama dalam persamaan diatas dan disarankan untuk menggunakan dan mengoperasikan *Hammer Test* sesuai ASTM C805. Hasil modifikasi dan persamaan yang direkomendasikan pada tingkat kewajaran yang diterima untuk rentang R_n = 8-60 atau f'_c = 1-80 MPa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada seluruh jajaran Civitas Akademika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Ngurah Rai yang telah memberikan dukungan moril dan pendanaan sehingga penelitian ini terselesaikan dan dapat terpublikasi pada waktu dan jurnal yang ditargetkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alshaikh, I.M.H., Zeyad, A.M. (2022). "Reliability of the Tests' Results of Schmidt Hammer and Core Cutting for Assessing Actual Compressive Strength of Concrete." *Springer Link* 7 (70). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41024-022-00211-z>.
- American Concrete Institute. (2019). *ACI 228.1R-19, Report on Methods for Estimating In-Place Concrete Strength*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Apriani, Widya. (2016). "Aplikasi Non Destructive Test Pada Investigasi Keandalan Struktur Beton (Studi Kasus: Kolom Basement-K4 Pada Bangunan Stadion Utama Riau)." *Jurnal Teknik Sipil Siklus 2* (2): 95-103.
- ASTM International. (2022). *ASTM E18-22, Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. West Conshohocken: American Standard Testing Material.
- Atoyebe, O. D., O. P. Ayanrinde, and J. Oluwafemi. (2019). "Reliability Comparison of Schmidt Rebound Hammer as a Non-Destructive Test with Compressive Strength Tests for Different Concrete Mix." *Journal of Physics: Conference Series* 1378 (3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/3/032096>.
- 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 Indonesia. (2012). *Metode Uji Angka Pantul Beton Keras (ASTM C 805-02, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia. https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/357/preview_357-1-5.pdf.
- Benjeddou, Omrane, Malek Jedidi, Mohamed Amine Khadimallah, Gobinath Ravindran, and Jayaprakash Sridhar. (2022). "Effect of Posidonia Oceanica Fibers Addition on the

- Thermal and Acoustic Properties of Cement Paste." *Buildings* 12 (7). <https://doi.org/10.3390/buildings12070909>
- Elrazek, Mostafa Abd, and Yasser Abdel Shafy Gamal. 2021. "The Reliable Concrete Compression Strength Assessment by SCHMIDT Hammer for Different Concrete Grades." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1171 (1): 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1171/1/012004>.
- Humboldt. (2005). *Product Manual H-2987 Concrete Rebound Hammer*. Illinois: Humboldt Mfg. Co.
- Kartiningrum, Eka Diah, Hari Basuki, Notobroto Bambang, Widjanarko Otok, Endah Nurul, and Kumarijati Endang Yuswatiningsih. (2022). *Aplikasi Regresi Dan Korelasi Dalam Analisis Data Hasil Penelitian*. Edited by Rifaatul Laila Mahmuha. *E-Book Penerbit STIKes Majapahit*. Mojokerto: STIKes Majapahit. <https://ejournal.stikesmajapahit.ac.id/index.php/EBook/article/view/807>.
- Matest. (2017). "Operating Manual Concrete Test Hammer Type N C-380" 1 (1): 4766.
- Onyeka, Festus Chukwudi. (2020). "A Comparative Analysis of the Rebound Hammer and Pullout as Non-Destructive Method in Testing Concrete." *European Journal of Engineering Research and Science* 5 (5): 554–58. <https://doi.org/10.24018/ejers.2020.5.5.1903>.
- Proceq. (2002). *Beton Prüfhammer, Concrete Test Hammer, Scléromètre à Béton N / NR - L / LR*. Zürich: PROCEQ SA. https://www.pcte.com.au/images/pdf/Original_Schmidt_Hammer/Schmidt-Hammer-Type-N-L-NR-LR-Manual.pdf.
- Saremi, Setare G., Dimitrios G. Goulias, and Anjuman Ara Akhter. (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>.
- Sudjana. (2005). *Metoda Statistika*. Edisi 6. Bandung: PT. Tarsito Bandung.
- Wang, Min, and Wen Wan. (2019). "A New Empirical Formula for Evaluating Uniaxial Compressive Strength Using the Schmidt Hammer Test." *Elsevier* 123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.104094>.
- Winarno, Wing Wahyu. (2024). *Mengenal 350+ Jenis Regresi*. Pertama. Yogyakarta: UPP STIM YPKN.