

## Korelasi antara hasil pengujian hammer, UPV dan kuat tekan beton mutu sedang

Muhammad Alwan Dwi Widodo<sup>1</sup>, Malik Mushthofa<sup>1,2,\*</sup> dan Daru Salam<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

<sup>2</sup> Disaster Risk Reduction Center (DiRRcC), Universitas Islam Indonesia, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Non-Destructive Test  
Hammer Test  
UPV Test  
Correlation

### Corresponding Author:

Malik Mushthofa  
185111302@uii.ac.id

### Abstract

*Preserving the functional performance of buildings across their lifespan is crucial, especially when considering potential changes in use, unforeseen natural disasters, and the inevitable effects of time. Traditional destructive testing methods, while effective, can compromise structural integrity and disrupt building operations. Therefore, non-destructive testing methods have emerged as valuable tools for accurately assessing concrete condition without causing any damage. This study investigates the effectiveness of two such methods, the hammer test and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test, in evaluating the compressive strength of different concrete grades (K225 to K325). Sixty cubic specimens were tested, with each grade having twelve samples to ensure robust data analysis. Results reveal strong correlations between both non-destructive tests and compression strength. The hammer test, with its simplicity and ease of use, demonstrates a moderate correlation ( $R^2 = 0.5452$ ), while the UPV test, which provides deeper insights into internal concrete properties, exhibits a slightly lower correlation ( $R^2 = 0.0709$ ). Notably, a combined equation incorporating both tests yields a significantly improved correlation ( $R^2 = 0.405$ ), highlighting the potential for synergistic use of these two methods.*

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

Banyak bangunan di Indonesia perlu dievaluasi ulang karena alasan seperti perubahan fungsi, peningkatan beban, atau kerusakan akibat bencana alam. Dalam evaluasi tersebut, salah satu aspek penting adalah menilai kualitas beton yang menjadi struktur utama bangunan. Penilaian kualitas beton menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Pedoman Penilaian Kualitas Struktur Bangunan Gedung, dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya melalui Uji Non-Destruktif (NDT).

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, penilaian kualitas struktur bangunan gedung salah satunya dapat dilakukan dengan metode *non-destruktif test (NDT)*. NDT menawarkan kelebihan dalam hal kecepatan, efisiensi, dan kemampuan mempertahankan integritas struktur apabila dibandingkan dengan uji destruktif yang merusak sampel beton. Beberapa metode NDT yang umum digunakan untuk menilai kekuatan beton adalah uji hammer dan uji kecepatan gelombang ultrasonik (UPV) (Lottman, 2013).

Pada uji hammer, kekerasan beton diukur berdasarkan pantulan palu yang

dilentingkan ke permukaan beton. Semakin keras beton, semakin tinggi nilai pantulan yang diperoleh. Sementara itu, pada uji UPV, kecepatan gelombang ultrasonik yang merambat melalui beton diukur untuk mengindikasikan kepadatan dan kekuatan material. Secara teoretis, semakin keras beton, semakin tinggi nilai *rebound hammer* dan kecepatan gelombang ultrasonik.

Agunwamba & Adagba (2012) dan Amen, dkk (2016) dalam penelitiannya menyatakan bahwa kekerasan beton linier dengan peningkatan nilai hasil uji hammer dan nilai hasil uji UPV. Penelitian di Indonesia oleh Rahmawati et al. (2022) pada beton pracetak di Sumatera Barat menunjukkan korelasi yang cukup kuat antara nilai rebound hammer dengan kekuatan tekan beton, dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,87. Penelitian lain oleh Nugroho et al. (2020) di Jawa Timur juga menemukan korelasi positif antara kecepatan gelombang UPV dengan kekuatan beton cor in-situ, dengan  $R^2$  sebesar 0,74.

Namun, nilai korelasi antara hasil NDT dengan kekuatan beton aktual dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, seperti jenis dan umur beton, kadar air, serta kondisi lingkungan sekitar. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengidentifikasi hubungan spesifik antara nilai NDT dengan kekuatan beton yang dibuat dengan material berasal dari daerah-daerah tertentu.

### Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan beton mutu sedang dengan variasi mutu K225, K250, K275, K300, dan K325 dengan jumlah 12 benda uji dari masing-masing mutu beton. Setiap variasi benda uji akan diuji pada umur 28 hari. Benda uji terdiri dari kubus dengan ukuran  $15 \times 15 \times 15$  cm. Setiap benda uji akan dilakukan pengujian *hammer*, *UPV*, dan *compression*. Uji UPV dilakukan mengacu pada SNI ASTM C597:2012 tentang metode uji kecepatan rambat gelombang melalui beton (ASTM C 597 - 02, IDT) dan uji hammer dilakukan

mengacu pada SNI ASTM C805:2012 tentang metode uji angka pantul beton keras.

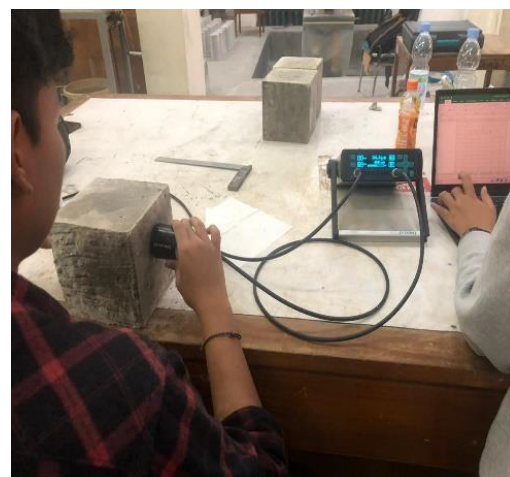
Tabel 1. Keterangan benda uji

Variasi	Umur beton (hari)	Jumlah (buah)
K225	28	12
K250	28	12
K275	28	12
K300	28	12
K325	28	12

Studi ini menggunakan sampel benda uji kubus karena kubus memiliki luas permukaan datar yang lebih banyak daripada benda uji silinder. Pengujian hammer dan UPV mengharuskan benda uji mempunyai permukaan yang halus. Rentang mutu beton karakteristik diambil pada rentang K225 sampai dengan K325 dengan interval 25  $\text{kg/cm}^2$  untuk merepresentasikan beton dengan mutu sedang.

### Metode pengujian

Setelah benda uji berumur 28 hari, selanjutnya dilakukan pengujian UPV, *hammer* dan kuat desak beton. Sehingga didapatkan nilai cepat rambat (m/s) dari *UPV test*, nilai *rebound (R)* dari *hammer test*, dan nilai kuat desak ( $f'_c$ ) dari *compression test*.



Gambar 1. Pengujian UPV



Gambar 2. Pengujian *hammer*



Gambar 3. Pengujian kuat tekan

Secara berurutan, dilakukan pengujian UPV terlebih dahulu pada benda uji (Gambar 1), kemudian dilanjutkan dengan pengujian *hammer* (Gambar 2) dan diakhiri dengan pengujian tekan sampai didapatkan nilai  $f_c'$  masing-masing benda uji (Gambar 3).

### Hasil dan Pembahasan

#### Komposisi campuran beton

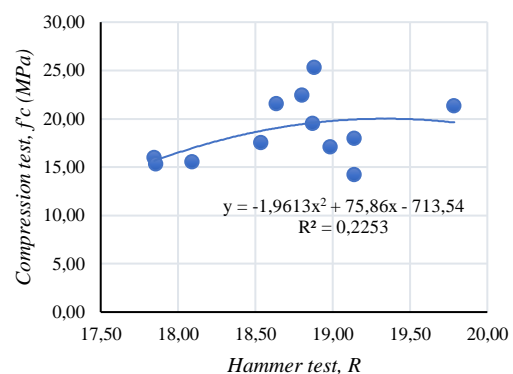
Hasil komposisi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2. Metode penyusunan *mix design* yang digunakan dalam perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000. Material yang digunakan antara lain agregat berasal dari Merapi. Semen PCC merk Tiga Roda dan air tawar dengan  $pH \pm 7$ .

Tabel 2. Komposisi campuran beton

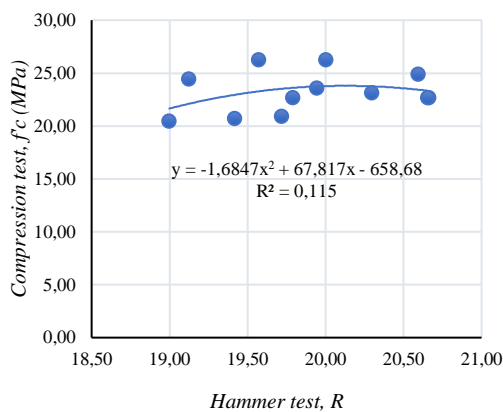
Material	Variasi mutu beton per- $m^3$				
	K225	K250	K275	K300	K325
Air (liter)	205	205	205	205	205
Semen (kg)	363	381	401	419	436
Agregat halus (kg)	927	906	884	865	849
Agregat kasar (kg)	819	822	824	825	824

#### Analisis regresi 1 variabel

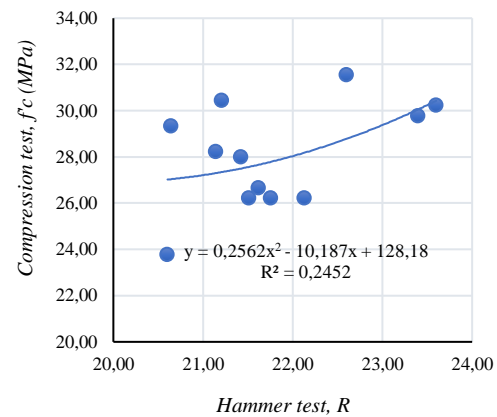
Analisis regresi digunakan untuk menggambarkan pola hubungan antara ketiga pengujian yaitu *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Analisis regresi yang digunakan dalam mencari korelasi antara *hammer test* dengan *compression test* dan *UPV test* dengan *compression test* adalah regresi yang menggunakan 1 variabel independen. Sedangkan, untuk mendapatkan korelasi dari *hammer test*, *UPV test*, dengan *compression test* menggunakan analisis regresi linier berganda dengan 2 variabel independen.



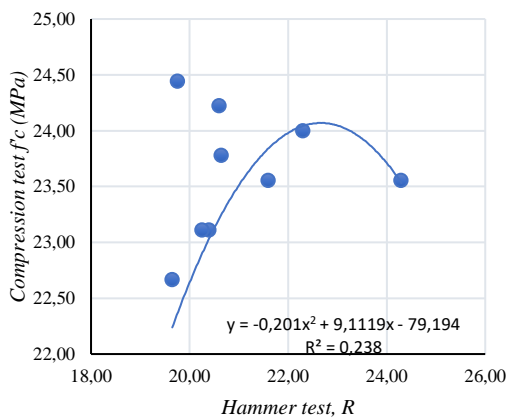
Gambar 4. Regresi polinomial antara *hammer test* dengan *compression test* mutu beton K225



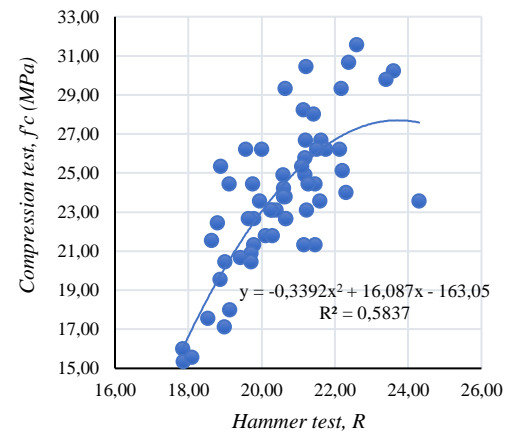
Gambar 5. Regresi polinomial antara hammer test dengan compression test mutu beton K250



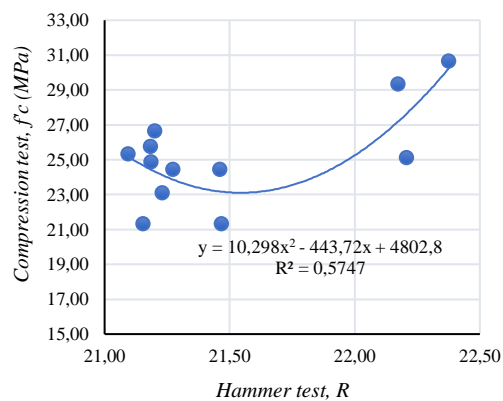
Gambar 8. Regresi polinomial antara hammer test dengan compression test mutu beton K325



Gambar 6. Regresi polinomial antara hammer test dengan compression test mutu beton K275



Gambar 9. Regresi polinomial antara hammer test dengan compression test mutu gabungan K225, K250, K275, K300, K325

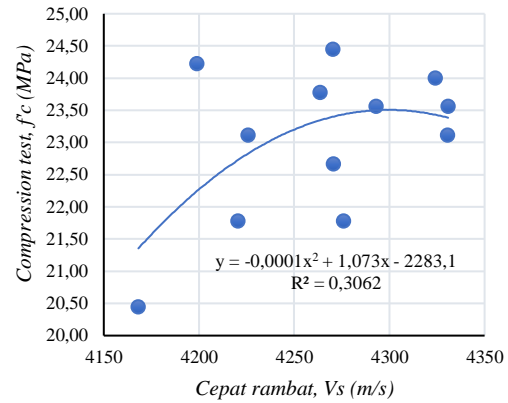


Gambar 7. Regresi polinomial antara hammer test dengan compression test mutu beton K300

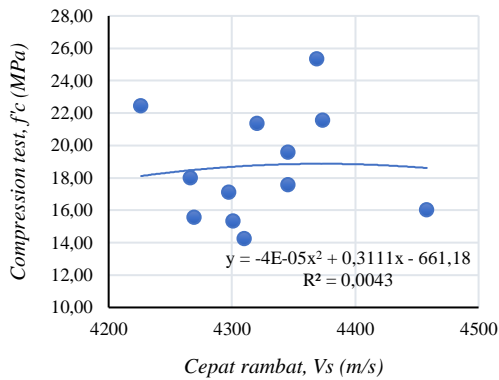
Berdasarkan analisis yang dilakukan, nilai koefisien korelasi yang tertinggi didapatkan pada analisis regresi dengan menggunakan persamaan polinomial. Trend hubungan antara nilai lenting hasil hammer test dengan nilai hasil compression test ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9. Rekapitulasi persamaan regresi polinomial untuk masing-masing mutu beton disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi regresi polinomial antara *hammer test* dengan *compression test*

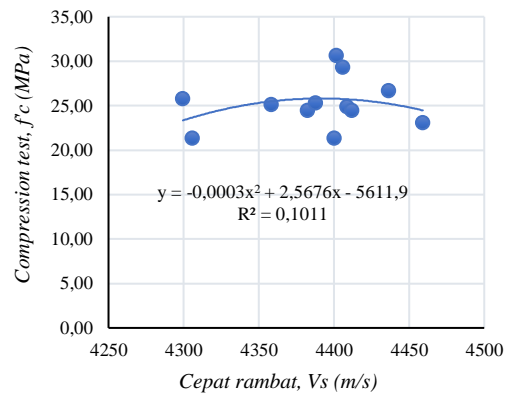
Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y = -1,9613X^2 + 75,86X - 713,54$	0,2253
K250	$Y = -1,6847^2 + 67,817X - 658,68$	0,115
K275	$Y = -0,201^2 + 9,111X - 79,194$	0,238
K300	$Y = 10,298X^2 - 443,72X + 4802,8$	0,5747
K325	$Y = 0,2562X^2 - 10,187X + 128,18$	0,2335
Gabungan	$Y = -0,339X^2 + 16,087X - 163,05$	0,5837



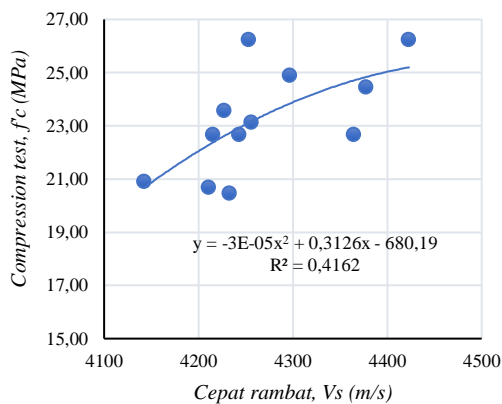
Gambar 12. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test mutu beton K275*



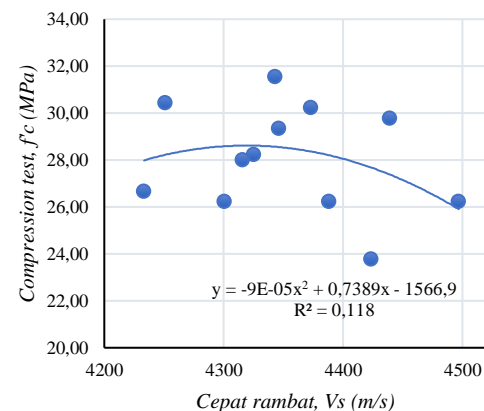
Gambar 10. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test mutu beton K225*



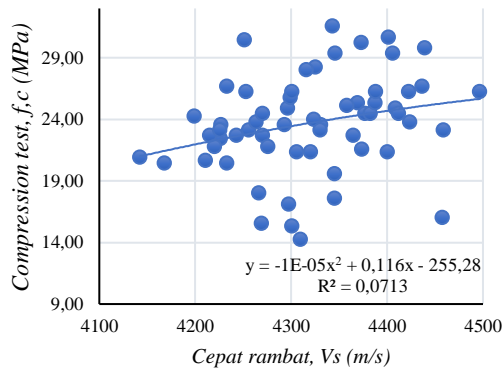
Gambar 13. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test mutu beton K300*



Gambar 11. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test mutu beton K250*



Gambar 14. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test mutu beton K325*



Gambar 15. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test* mutu gabungan K225, K250, K275, K300, K325

Berdasarkan analisis yang dilakukan, nilai koefisien korelasi yang tertinggi didapatkan pada analisis regresi dengan menggunakan persamaan polinomial. Trend hubungan antara nilai cepat rambat hasil *UPV test* dengan nilai hasil *compression test* ditunjukkan pada Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15. Rekapitulasi persamaan regresi polinomial untuk masing-masing mutu beton disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y = -0,00004X^2 + 0,3111X - 661,18$	0,0043
K250	$Y = -0,0003X^2 + 0,3126X - 680,19$	0,4162
K275	$Y = -0,001X^2 + 1,073X - 2283,1$	0,3062
K300	$Y = -0,003X^2 + 2,5676X - 5611,9$	0,1011
K325	$Y = -0,00009X^2 + 0,7389X - 1566,9$	0,118
Gabungan	$Y = -0,00001X^2 + 0,116X - 255,28$	0,0713

Analisis regresi yang dilakukan dengan 1 parameter sebagaimana diuraikan sebelumnya juga dilakukan dengan pola regresi yang lain, antara lain linier, logaritmik, power dan eksponensial. Persamaan analisis regresi linier disertai dengan koefisien korelasi yang dilakukan

disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Persamaan analisis regresi eksponensial disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7, persamaan regresi logaritmik disajikan pada Tabel 8 dan Tabel 9. Persamaan analisis regresi untuk pola power disajikan pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 4. Rekapitulasi regresi linier antara *hammer test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y = 2,5129X - 28,363$	0,1771
K250	$Y = 0,7993X + 7,2976$	0,0536
K275	$Y = 0,169X + 19,63$	0,1377
K300	$Y = 3,7848X - 56,17$	0,4083
K325	$Y = 0,5211X + 16,683$	0,2356
Gabungan	$Y = 2,0258X + 17,986$	0,5314

Tabel 5. Rekapitulasi regresi linier antara *UPV test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y = -0,003X + 31,5$	0,0016
K250	$Y = 0,0068X - 5,9391$	0,4024
K275	$Y = -0,0003X + 24,102$	0,2282
K300	$Y = 0,0111X - 23,641$	0,0358
K325	$Y = -0,0072X + 59,449$	0,0583
Gabungan	$Y = 0,0131X - 33,014$	0,0708

Tabel 6. Rekapitulasi regresi eksponensial antara *hammer test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$y = 1,4794 * 10^{0,1347X}$	0,1686
K250	$y = 10,929 * 10^{0,0377X}$	0,0525
K275	$y = 16,97 * 10^{0,0146X}$	0,1353
K300	$y = 1,1802 * 10^{0,1421X}$	0,4169
K325	$y = 11,364 * 10^{0,0413X}$	0,2373
Gabungan	$y = 3,6292 * 10^{0,0905X}$	0,499

Tabel 7. Rekapitulasi regresi eksponensial antara *UPV test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y = 11,945 * 10^{(0,00001X)}$	0,0016
K250	$Y = 1,3233 * 10^{(0,0007X)}$	0,3981
K275	$Y = 2,8354 * 10^{(0,0005X)}$	0,2249
K300	$Y = 3,5414 * 10^{(0,0314X)}$	0,0347
K325	$Y = 90,572 * 10^{(0,00003X)}$	0,0569
Gabungan	$Y = 2,3415 * 10^{(0,0005X)}$	0,0704

Tabel 8. Rekapitulasi regresi logaritmik antara *hammer test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y=47,381\ln(X)-120,11$	0,1804
K250	$Y=16,106\ln(X)-24,959$	0,0551
K275	$Y=7,2943\ln(X)-0,9115$	0,1451
K300	$Y=81,928\ln(X)-226,14$	0,4055

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K325	$Y=25,168\ln(X)-49,493$	0,2335
Gabungan	$Y=42,309\ln(X)-104,15$	0,5452

Tabel 9. Rekapitulasi regresi logaritmik antara *UPV test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y=9,8747\ln(X)-64,002$	0,0017
K250	$Y=66,697\ln(X)-534,34$	0,4039
K275	$Y=46,01\ln(X)-361,51$	0,2298
K300	$Y=49,0491\ln(X)-386,1$	0,0364
K325	$Y=-31,13\ln(X)-288,85$	0,0571
Gabungan	$Y=56,691\ln(X)-450,92$	0,0709

Tabel 10. Rekapitulasi regresi *power* antara *hammer test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y = 0,0109 * X^{2,5385}$	0,1719
K250	$Y = 2,3976 * X^{0,758}$	0,0539
K275	$Y = 8,5313 * X^{0,3271}$	0,1427
K300	$Y = 0,002 * X^{3,0763}$	0,4141
K325	$Y = 1,6994 * X^{0,909}$	0,2354
Gabungan	$Y = 0,0758 * X^{1,8966}$	0,5172

Tabel 11. Rekapitulasi regresi *power* antara *UPV test* dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y = 0,47 X^{0,438}$	0,0016
K250	$Y = 8e-12 X^{2,88}$	0,3996
K275	$Y = 6e-07 X^{2,09}$	0,2264
K300	$Y = 2e-06 X^{1,96}$	0,0353
K325	$Y = 488496 X^{1,166}$	0,0557
Gabungan	$Y = 1e-07X^{2,977}$	0,0706

Rekapitulasi persamaan regresi antara nilai lenting hasil pengujian hammer dengan nilai kuat tekan berdasarkan hasil uji desak ditunjukkan pada Tabel 12. Sedangkan,

rekapitulasi persamaan regresi antara nilai cepat rambat hasil *UPV test* dengan nilai

kuat tekan beton hasil uji desak disajikan pada Tabel 13.

Tabel 12. Rekapitulasi hasil *trendline* regresi antara *hammer test* dengan *compression test*

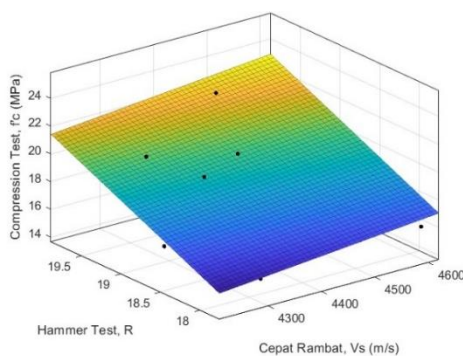
Tredline regresi	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
Linier	$Y = 2,0258X + 17,986$	0,5314
Eksponensial	$y = 3,6292 * 10^{0,0905X}$	0,499
Logaritmik	$Y=42,309\ln(X)-104,15$	0,5452
Polinomial	$Y=-0,00001X^2 + 0,116X - 255,28$	0,5837
Power	$Y = 0,0758 * X^{1,8966}$	0,5172

Tabel 13. Rekapitulasi hasil *trendline* regresi antara *UPV test* dengan *compression test*

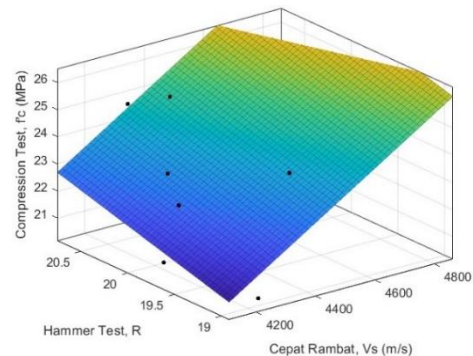
Tredline regresi	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
Linier	$Y = 0,0131X - 33,014$	0,0708
Eksponensial	$Y = 2.3415 * 10^{(0.0005X)}$	0,0704
Logaritmik	$Y=56,691\ln(X)-450,92$	0,0709
Polinomial	$Y=-0,00001X^2 + 0,116X - 255,28$	0,0713
Power	$Y = 1e-07X^{2,977}$	0,0706

**Analisis regresi 2 variabel**

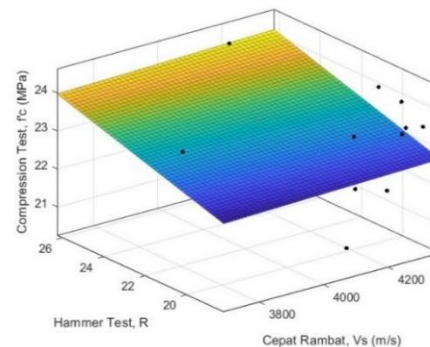
Analisis regresi juga dilakukan dengan melibatkan 2 variabel terhadap variable kuat desak sebagaimana Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18, Gambar 19, Gambar 20 dan Gambar 21.



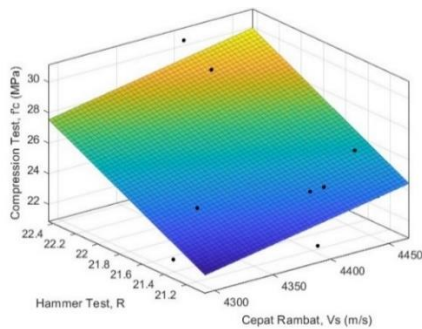
Gambar 16. Regresi linier berganda antara *hammer test*, *UPV test* dengan *compression test* mutu Beton K225



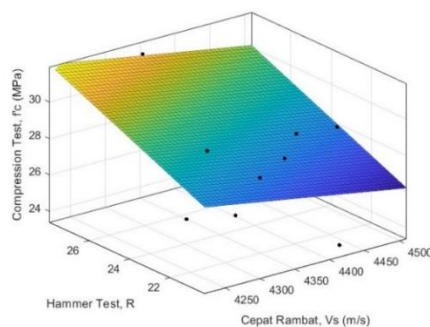
Gambar 17. Regresi linier berganda antara *hammer test*, *UPV test* dengan *compression test* mutu beton K250



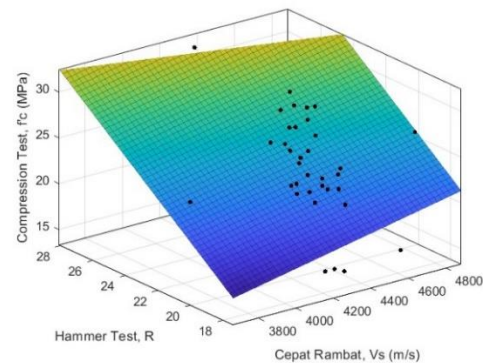
Gambar 18. Regresi linier berganda antara *hammer test*, *UPV test* dengan *compression test* mutu beton K275



Gambar 19. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test mutu beton K300



Gambar 20. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test mutu gabungan K325



Gambar 21. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test mutu gabungan K225, K250, K275, K300, K325

Berdasarkan pemodelan regresi terhadap 2 variabel didapatkan rekapitulasi hasil bagaimana disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi regresi antara hammer test, UPV test dengan compression test

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
K225	$Y = 48,419 + 2,749X_1 + 0,004X_2$	0,186
K250	$Y = -27,769 + 1,024 X_1 + 0,007X_2$	0,454
K275	$Y = 18,565 + 0,174 X_1 + 0,00029X_2$	0,074
K300	$Y = -117,692 + 3,872X_1 + 0,014X_2$	0,461
K325	$Y = 46,193 + 0,51X_1 - 0,007X_2$	0,231
Gabungan	$Y = -26,231 + 1,482X_1 + 0,00X_2$	0,405

Keterangan: Y= compression test; X1= hammer test; X2= UPV test

Tabel 15. Persamaan regresi antara non-destructive test dengan compression test

Pengujian yang dilakukan	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )	Koefisien korelasi (R)
UPV test dengan compression test	$Y = 56,691 \ln(X_2) - 450,92$	0,0709	0,26627
Hammer test dengan compression test	$Y = 42,309 \ln(X_1) - 104,15$	0,5452	0,7384
Hammer test, UPV test dengan compression test	$Y = -26,231 + 1,482X_1 + 0,00X_2$	0,4050	0,6364

Keterangan: Y= compression test; X1= hammer test; X2= UPV test

Berdasarkan 3 analisis regresi diatas menunjukkan bahwa korelasi antara *hammer test* dengan *compression test* memiliki nilai korelasi tertinggi dibandingkan dengan korelasi *UPV test* dengan *compression test* maupun korelasi antara *UPV test*, *hammer test* dengan *compression test*. Nilai korelasi antara *UPV test* dengan *compression test* yang sangat kecil menunjukkan bahwa tidak ada korelasi yang signifikan antara pengaruh nilai *UPV* dengan nilai kuat tekan beton aktual.

Tabel 16. Klasifikasi koefisien korelasi

Koefisien korelasi (R)	Kategori korelasi
0,00	Tidak ada korelasi
0,00 – 0,25	Korelasi sangat lemah
0,25 – 0,50	Korelasi cukup
0,50 – 0,75	Korelasi kuat
0,75 – 0,99	Korelasi sangat kuat
1,00	Korelasi sempurna

Klasifikasi koefisien korelasi menurut Sarwono (2017) antara lain ditunjukkan pada Tabel 16. Sebagaimana ditunjukkan pada tabel tersebut, korelasi yang kuat ditunjukkan oleh hubungan antara nilai R dengan  $f_c'$  serta kombinasi nilai R dan  $V_s$  dengan nilai  $f_c'$ . Sedangkan korelasi antara nilai  $V_s$  dengan nilai  $f_c'$  termasuk dalam kategori cukup rendah.

Nilai koefisien determinasi yang ditunjukkan pada Tabel 15 menunjukkan bahwa nilai R hanya mempengaruhi atau menggambarkan 54,52% nilai  $f_c'$ , sedangkan sisanya sebesar 45,48% dipengaruhi oleh hal yang lain.

Regresi dengan *trend polynomial* sebetulnya memiliki nilai koefisien korelasi yang paling tinggi. Meski begitu persamaan *polynomial* tidak disarankan untuk digunakan pada pekerjaan penilaian beton. Hal tersebut dikarenakan pola *polynomial* memberikan pola dimana nilai Y akan kembali turun setelah mencapai titik optimum meskipun nilai X terus bertambah. Oleh karena itu disarankan menggunakan *trend* regresi

logaritmik sebagaimana disajikan pada Tabel 15.

### Kesimpulan

Nilai korelasi *hammer test* dengan *compression test* memiliki nilai korelasi tertinggi dibandingkan dengan nilai *UPV test* dengan *compression test* maupun nilai antara *hammer test*, *UPV test* dengan *compression test*.

Nilai korelasi antara *UPV test* dengan *compression test* yang sangat kecil menunjukkan bahwa korelasi antara nilai *UPV* dengan nilai kuat tekan beton aktual dalam kategori cukup rendah.

Regresi logaritmik pada analisis regresi 1 variabel memiliki korelasi tertinggi dibandingkan *trendline* lainnya. Adapun tidak digunakannya regresi *polynomial* karena, regresi *polynomial* memiliki *trend* negatif setelah mencapai titik optimum.

### Daftar Pustaka

- Agunwamba, Jonah & Adagba, Terlunum. (2012). A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE REBOUND HAMMER AND ULTRASONIC PULSE VELOCITY IN TESTING CONCRETE. *Nigerian Journal of Technology*. 31. 31-39.
- Amen, Dillshad & Rasheed, Rafah & Khalid Hasan, Nazik. (2016). Comparative Analysis of the Rebound Hammer and Ultrasonic Pulse Velocity in Testing Concrete with Multi-Variation Equation. *International Review of Civil Engineering (IRECE)*. 7. 196. 10.15866/irece.v7i6.10111.
- Arioz, O., Tuncan, A., Tuncan, M., Kavas, T., Ramyar, K., Kilinc, K., dan Karasu, B. (2012). Use of Combined Non-Destructive Methods to Assess The Strength of Concrete in Structures. *Journal of Science, Afyon Kotape University, Turkey*. h: 147-154 (Online). <http://fenbildergi.aku.edu.tr/pdf/OS/S%28157-164%29.pdf>,
- Handbook on Non-Destructive Testing of Concrete, oleh John L. Lottman, 2nd Edition, 2013
- International Atomic Energy Agency, Vienna. (2002). *Guidebook on non des-truective testing of concrete structures*. Training Course Series No. 17.
- Manopo, H, M. (2019). Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Dari Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Hammer Test dan Compression Test Pada

- Beton Mutu Sedang. *Tugas Akhir*. Universitas Negeri Yogyakarta. <http://eprints.uny.ac.id/id/eprint/66300>
- Mohammad, R. *Statistical Case Study on Schmidt Hammer, Ultrasonic & Core Compression Strength Tests, Results Performed on Cores Obtained From Behbahan Cement Factory In Iran*. SANO Consulting. No.11. TavanirSt. Tehran. Iran. <http://dx.doi.org/10.6026/97320630011243>
- Nugroho, A. T., & Wibowo, D. D. (2020). Hubungan Kecepatan Gelombang Ultrasonik dan Kekuatan Beton Cor In-Situ pada Gedung Bertingkat di Surabaya. *Jurnal Konstruksi*, 19(3), 229-237.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Pedoman Penilaian Kualitas Struktur Bangunan Gedung
- Rahmawati, I., & Syafei, M. (2022). Analisis Korelasi Nilai Rebound Hammer terhadap Kekuatan Beton Pracetak di Kawasan Industri Kota Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15(2), 129-136.
- Sarwono, J. (2017). Mengenal Prosedur-Prosedur Populer dalam SPSS 23. Elex Media Komputindo.
- 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(1), 26–32,
- SNI 03-2834-2000 tentang Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal
- SNI ASTM C597:2012 tentang Metode uji kecepatan rambat gelombang melalui beton (ASTM C 597 - 02, IDT)
- SNI ASTM C805:2012 tentang Metode uji angka pantul beton keras
- Suseno, D, P. (2022). *Analisis Struktur Bangunan Hotel Sato Kudus Di Kota Kudus*, *Journal of Civil Engineering and Technology Sciences*, 1(1), 7–16,
- Wirotama, I, N, G. (2018). Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Non- Destructive Test Dan Destructive Test. *Tugas Akhir*. Universitas Brawijaya, Malang. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/9327>