

Korelasi antara hasil pengujian *hammer* dan hasil pengujian *UPV* dengan hasil pengujian kuat tekan beton mutu rendah

Fildza Nur Rizqiyah¹, Malik Mushthofa^{1,2,*} dan Daru Salam¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

² Disaster Risk Reduction Center (DiRRcC), Universitas Islam Indonesia, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Compression test
Destructive test
Hammer test
Non-destructive test
UPV test

Corresponding Author:

Malik Mushthofa
185111302@uii.ac.id

Abstract

Low-strength concrete, commonly used in complementary/supporting part of road infrastructure like roadside, sidewalks, and paving, requires quality testing despite its lower compressive strength. Destructive testing, involving core drilling and compression testing, is the most effective method but is not always feasible due to potential structural damage and increased costs. As an alternative, non-destructive testing methods such as hammer tests and ultrasonic pulse velocity (UPV) tests are employed. This study is aimed to obtain the relationship between the compressive strength values from compression testing and the results of non-destructive testing in the form of hammer test and ultrasonic pulse velocity (UPV) test. The samples used were cubic concrete of K-100, K-125, K-150, K-175, and K-200 strengths with an age of 28 days. The total number of samples was 60, with 12 samples for each variation of strength. The research results indicate that the average compression test value for K100 is 13,66 MPa, K125 is 19,93 MPa, K150 is 15,63 MPa, K175 is 19,40 MPa, and K200 is 20,78 MPa. The average value of the hammer test results was 18,29 for K100, 18,86 for K125, 20,80 for K150, 19,40 for K175, and 20,78 for K200. The average UPV test results for K-100 are 4182,47 m/s, K-125 is 4315,55 m/s, K-150 is 4323 m/s, K-175 is 4377,81 m/s, and K-200 is 4440,13 m/s. The correlation relationship between hammer testing and compression testing was obtained in the formula of $Y = 0,7199x + 1,9563$ ($R^2 = 0,5741$) (Where; X = hammer test; Y = compression test), UPV testing with compression testing in the formula of $Y = 0,3023e^{0,0009}$ ($R^2 = 0,4356$) (Where; X = UPV test; Y = compression test), and hammer testing, UPV testing with compressive test in the formula of $Y = -38,08524 + 1,06996 X_1 + 0,00778X_2$ ($R^2 = 0,656$) (Where; X_1 = hammer test; X_2 = UPV test; Y = compression test).

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Pemeriksaan keberlanjutan fungsi bangunan tidak hanya digunakan pada gedung, tetapi juga untuk infrastruktur yang menggunakan beton mutu rendah. Beton mutu rendah dapat digunakan pada infrastruktur jalan,

seperti bahu jalan, trotoar, dan pekerjaan paving. Menurut panduan teknis Pd T-07-2005-B mengenai Pekerjaan Beton untuk Jalan dan Jembatan, evaluasi kualitas bahan, campuran, atau hasil akhir konstruksi beton memerlukan pengujian tambahan sesuai kebutuhan. Pengujian tersebut termasuk

pemeriksaan non-destruktif menggunakan peralatan seperti *impact echo*, *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*, atau alat uji lainnya pada struktur yang meragukan. Selain metode *non-destructive test*, pengambilan dan pengujian benda uji inti beton juga dilakukan dengan *core drill* dan metode *destructive test* yang disarankan. Dalam pengujian *destructive test*, metode yang umum digunakan adalah dengan melakukan *core drill* pada beton dilanjutkan dengan uji desak beton (*compression test*). Di sisi lain, dalam pengujian *non-destructive test*, salah satu metode yang lazim digunakan adalah *hammer test* dan *ultrasonic pulse velocity (UPV) test*. Meskipun metode *destructive test* dianggap paling efektif karena memberikan nilai yang mendekati kekuatan tekan beton sebenarnya, ada situasi di mana metode ini tidak dapat digunakan. Hal ini bisa disebabkan oleh kekhawatiran akan merusak struktur bangunan atau resiko kerusakan pada titik kritis struktur. Oleh karena itu, metode pengujian *non-destructive* menjadi alternatif yang lebih baik karena tidak merusak struktur bangunan, lebih cepat dan lebih ekonomis.

Menurut *International Atomic Energy Agency* (Vienna, 2002), berikut ini adalah situasi dimana pengujian *non-destructive-test* dibutuhkan, yaitu *quality control* dari beton *pre-cast* atau konstruksi in-situ, memastikan dan menghilangkan keraguan tentang kualitas beton di lapangan, mengevaluasi dan mengkonfirmasi dugaan kerusakan beton akibat faktor-faktor kelebihan beban, kerusakan karena pembebanan yang berulang (*fatigue*), kebakaran, gempa, alih fungsi bangunan, dan efek lingkungan. Oleh karena itu, dalam analisis ini akan dilakukan pengujian *compression test* serta *non-destructive test* berupa *hammer test* serta *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test*. Selanjutnya, dari ketiga pengujian tersebut didapatkan hubungan (korelasi) antara kuat tekan aktual (f_c) dengan nilai *rebound* (R) dari *hammer test* serta nilai cepat rambat (m/s) dari *UPV test*.

Penelitian mengenai korelasi hasil pengujian *hammer* dan *UPV* dengan hasil pengujian *compression* telah dilakukan oleh Aribawa, dkk. (2019), Manopo (2019), Wirotama (2018), dan Mussadat (2023). Secara umum, analisis ini menggunakan metode regresi dengan mencari korelasi antara variabel X yaitu hasil pengujian *hammer* dan *UPV* dengan variabel Y yaitu hasil pengujian *compression* pada benda uji beton.

Penelitian-penelitian serupa yang sudah dilakukan adalah korelasi antara hasil uji NDT dengan nilai kuat tekan aktual pada beton dengan mutu normal. Penelitian mengenai korelasi antara hasil uji *hammer* dan *UPV test* dengan hasil uji kuat tekan aktual pada beton mutu rendah, dengan material beton berasal dari Indonesia masih belum dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengulas korelasi antara nilai hasil uji NDT (*hammer test* dan *UPV test*) dengan nilai kuat desak aktual pada beton mutu rendah. Pengujian yang dilakukan meliputi *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test* terhadap beton dengan kuat desak karakteristik K100, K125, K150, K175 dan K200. Analisis regresi akan dilakukan untuk mencari persamaan dengan nilai koefisien korelasi yang tertinggi antara nilai hasil uji NDT dengan nilai kuat desak beton mutu rendah.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan terhadap beton mutu rendah dengan variasi mutu K100, K125, K150, K175, dan K200, dengan setiap variasi mutu memiliki 12 benda uji. Semua benda uji pada setiap variasi akan diuji pada umur 28 hari. Benda uji berupa beton kubus dengan ukuran $15 \times 15 \times 15$ cm. Setiap benda uji akan dilakukan pengujian dengan metode *hammer*, *UPV*, dan *compression*. Keterangan benda uji dapat dilihat pada Tabel 1. berikut ini.

Tabel 1. Keterangan Benda Uji

Variasi	Umur Beton	Bentuk Benda Uji	Jumlah
K100	28	Kubus	12
K125	28	Kubus	12
K150	28	Kubus	12
K175	28	Kubus	12
K200	28	Kubus	12

Hasil dan Pembahasan

Komposisi Campuran Beton

Hasil komposisi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2. Mix design untuk beton dengan mutu rendah dilakukan dengan mengacu pada komposisi beton dalam SNI 7394 2008.

Penentuan mix design tidak sepenuhnya mengacu pada SNI 03-2834-2000. Berdasarkan trial mix yang dilakukan mengacu pada SNI 03-2834-2000, mutu beton yang dihasilkan untuk mix design dibawah K200 akan didapatkan nilai yang rata-rata pada rentang diatas K200. Oleh karena itu, mix design untuk beton dengan mutu dibawah K200 didekati dengan SNI 7394 2008.

Tabel 2. Komposisi campuran beton

Material	Variasi mutu beton per-m ³				
	K100	K125	K150	K175	K200
Air (liter)	215	215	215	215	306,1
Semen (kg)	247	276	299	326	205
Agregat halus (kg)	869	828	799	760	736,6
Agregat kasar (kg)	999	1012	1017	1029	982,4

Pengujian UPV, hammer, dan compression

Pengujian UPV, hammer dan compression tes dilakukan pada benda uji setelah berumur 28 hari. Hasil dari ketiga pengujian tersebut mencakup nilai kecepatan rambat (m/s) dari UPV test (Gambar 1), nilai rebound (R) dari hammer test (Gambar 2), dan nilai kuat desak (f'c) dari compression test (Gambar 3).



Gambar 1. Pengujian UPV



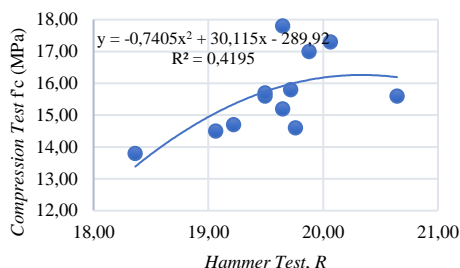
Gambar 2. Pengujian Hammer



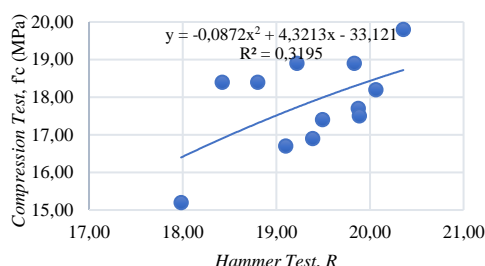
Gambar 3. Pengujian Kuat Tekan

Analisis regresi 1 variabel

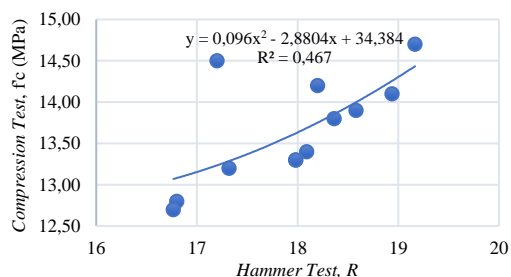
Analisis regresi bertujuan untuk menggambarkan pola hubungan di antara ketiga pengujian, yaitu *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Dalam mengevaluasi korelasi antara *hammer test* dengan *compression test* dan *UPV test* dengan *compression test*, metode analisis regresi yang digunakan melibatkan satu variabel independen. Sedangkan untuk memahami korelasi antara *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test* digunakan analisis regresi linier berganda dengan melibatkan dua variabel independen. Regresi yang dilakukan meliputi regresi linier, polinomial, logaritmik, power dan eksponensial. Berdasarkan beberapa analisis regresi yang dilakukan didapatkan nilai koefisien korelasi tertinggi ada pada trend polinomial. Regresi polinomial sebagai regresi dengan koefisien korelasi yang tertinggi antara *hammer test* dengan *compression test* disajikan pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.



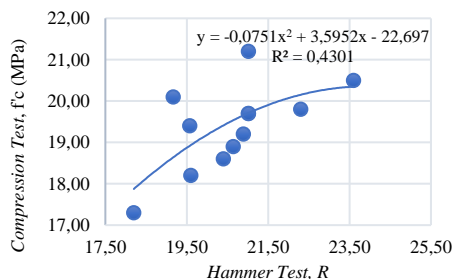
Gambar 6. Regresi polinomial antara *hammer test* dengan *compression test* mutu beton K150



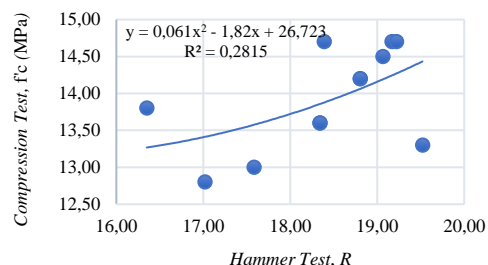
Gambar 7. Regresi polinomial antara *hammer test* dengan *compression test* mutu beton K175



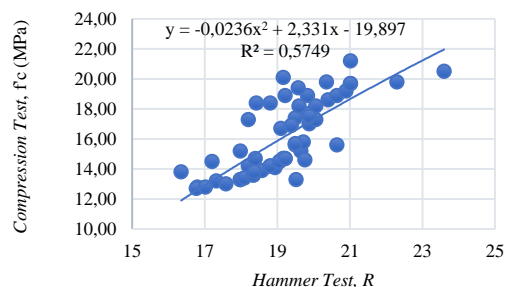
Gambar 4. Regresi polinomial antara *hammer test* dengan *compression test* mutu beton K100



Gambar 8. Regresi polinomial antara *hammer test* dengan *compression test* mutu beton K200



Gambar 5. Regresi polinomial antara *hammer test* dengan *compression test* mutu beton K125



Gambar 9. Regresi polinomial antara *hammer test* dengan *compression test* mutu beton K100, K125, K150, K175, K200

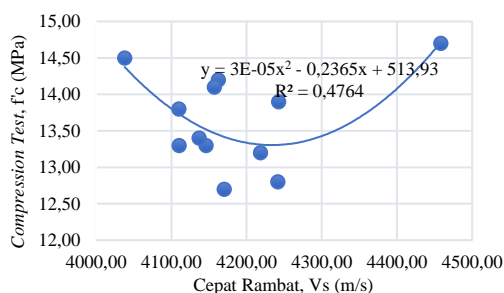
Rekapitulasi persamaan regresi polinomial beserta nilai koefisien korelasi antara nilai lenting hasil hammer test dengan nilai kuat desak dirangkum dalam Tabel 3 berikut.

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

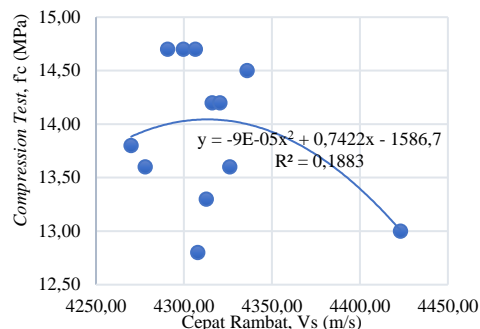
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = 0,096X^2 - 2,8804X + 34,384$	0,467
K125	$Y = 0,061X^2 - 1,82X + 26,723$	0,2815
K150	$Y = -0,7405X^2 + 30,115X - 289,92$	0,4195
K175	$Y = -0,0872X^2 + 4,3213X - 33,121$	0,3195
K200	$Y = -0,0751X^2 + 3,5952X - 22,697$	0,4301
Gabungan	$Y = -0,0236X^2 + 2,331X - 19,897$	0,5749

Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = *hammer test*

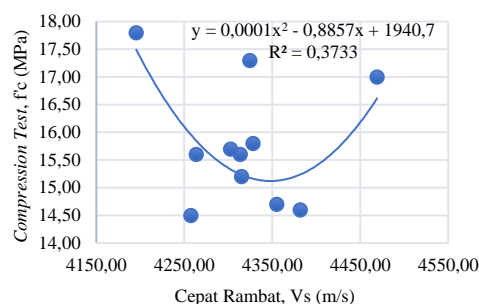
Serupa dengan korelasi antara hasil pengujian hammer dengan nilai kuat desak, korelasi antara nilai cepat rambat hasil UPV dengan nilai kuat desak juga mempunyai nilai koefisien korelasi tertinggi pada trend polinomial. Regresi polinomial sebagai regresi dengan koefisien korelasi yang tertinggi antara nilai cepat rambat hasil *UPV test* dengan *compression test* disajikan dalam bentuk *trendline* pada Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15.



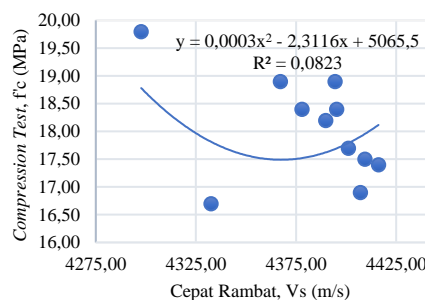
Gambar 10. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test* mutu beton K100



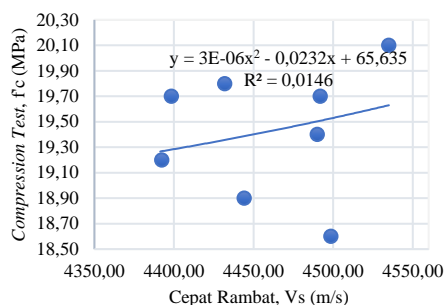
Gambar 11. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test* mutu beton K125



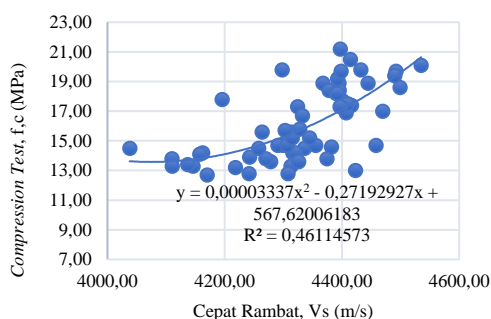
Gambar 12. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test* mutu beton K150



Gambar 13. Regresi polinomial antara *UPV test* dengan *compression test* mutu beton K175



Gambar 14. Regresi polinomial antara UPV test dengan compression test mutu beton K200



Gambar 15. Regresi polinomial antara UPV test dengan compression test mutu gabungan

Rekapitulasi persamaan regresi polynomial beserta nilai koefisien korelasi antara nilai cepat rambat hasil UPV test dengan nilai kuat desak dirangkum dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Regresi Polinomial Antara UPV Test dengan Compression Test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = 3E-05x^2 - 0,2365x + 513,93$	0,4764
K125	$Y = -9E-05x^2 + 0,7422x - 1586,7$	0,1183
K150	$Y = 0,0001x^2 - 0,8857x + 1940,7$	0,3733
K175	$Y = 0,0003x^2 - 2,3116x + 5065,5$	0,0823
K200	$Y = 0,000006x^2 - 0,0232x + 65,635$	0,0146
Gabungan	$Y = 3E-05x^2 - 0,2719x + 567,62$	0,4611

Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = UPV test.

Analisis regresi yang dilakukan untuk menggambarkan hubungan antara nilai lenting hasil uji hammer dengan nilai kuat desak aktual pada penelitian ini meliputi antara lain regresi polynomial sebagaimana sudah diulas sebelumnya, regresi linier (Tabel 5), regresi eksponensial (Tabel 7), regresi logaritmik (Tabel 9), dan regresi power (Tabel 11). Sedangkan analisis regresi antara nilai cepat rambat hasil UPV test dengan nilai kuat desak beton dengan regresi linier ditunjukkan oleh Tabel 6, regresi eskponensial ditunjukkan oleh Tabel 8, regresi logaritmik ditunjukkan oleh Tabel 10 dan regresi power pada Tabel 12.

Tabel 5. Rekapitulasi regresi linier antara hammer test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = 0,0938X + 11,9420$	0,1771
K125	$Y = 0,2538X + 9,1379$	0,0536
K150	$Y = -0,2174X + 20,1560$	0,1377
K175	$Y = 0,8696X + 0,9626$	0,4083
K200	$Y = 0,0589X + 18,1600$	0,2356
Gabungan	$Y = 0,7199X + 1,9563$	0,5314

Keterangan : Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = hammer test.

Tabel 6. Rekapitulasi regresi linier antara UPV test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = -0,003X + 31,5$	0,0016
K125	$Y = 0,0068X - 5,9391$	0,4024
K150	$Y = -0,0003X + 24,102$	0,2282
K175	$Y = 0,0111X - 23,641$	0,0358
K200	$Y = -0,0072X + 59,449$	0,0583
Gabungan	$Y = 0,0131X - 33,014$	0,0708

Keterangan : Y= nilai kuat tekan beton (MPa), X= UPV test (m/s).

Tabel 7. Rekapitulasi regresi eksponensial antara hammer test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = 9,6596e^{8E-05X}$	0,0389
K125	$Y = 93,227e^{-4E-04X}$	0,1172
K150	$Y = 39,078e^{-2E-04X}$	0,0401

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K175	$Y = 35,818e^{-2E-04X}$	0,0137
K200	$Y = 10,188e^{0,0001X}$	0,0146
Gabungan	$Y = 0,3023e^{0,0009X}$	0,4356

Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = hammer test.

Tabel 8. Rekapitulasi regresi eksponensial antara UPV test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = 9,6596e^{8E-05X}$	0,0389
K125	$Y = 93,227e^{-4E-04X}$	0,1172
K150	$Y = 39,078e^{-2E-04X}$	0,0401
K175	$Y = 35,818e^{-2E-04X}$	0,0137
K200	$Y = 10,188e^{0,0001X}$	0,0146
Gabungan	$Y = 0,3023e^{0,0009X}$	0,4356

Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = UPV test (m/s).

Tabel 9. Rekapitulasi regresi logaritmik antara hammer test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = 9,8897\ln(X) - 14,89$	0,4574
K125	$Y = 6,6108\ln(X) - 5,3134$	0,2727
K150	$Y = 24,739\ln(X) - 57,947$	0,3406
K175	$Y = 18,745\ln(X) - 37,708$	0,3192
K200	$Y = 9,6828\ln(X) - 9,8976$	0,4035
Gabungan	$Y = 27,275\ln(X) - 64,419$	0,5736

Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = hammer test.

Tabel 10. Rekapitulasi regresi logaritmik antara UPV test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K-100	$Y = 4,7549 \ln(x) - 25,99$	0,0331
K-125	$Y = -26,01\ln(x) + 231,63$	0,1183
K-150	$Y = -15,15 \ln(x) + 142,45$	0,0403
K-175	$Y = -17,3 \ln(x) + 162,9$	0,0138
K-200	$Y = 11,042 \ln(x) - 73,349$	0,0145

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
Gabungan	$Y = 63,448\ln(x) - 515,14$	0,4172

Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = UPV test (m/s).

Tabel 11. Rekapitulasi regresi power antara hammer test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K-100	$Y = 1,6486x^{0,7321}$	0,4591
K-125	$Y = 3,4527x^{0,478}$	0,2741
K-150	$Y = 0,1258x^{1,6205}$	0,3287
K-175	$Y = 0,6972x^{1,0933}$	0,3182
K-200	$Y = 4,1317x^{0,5107}$	0,3982
Gabungan	$Y = 0,1108x^{1,6828}$	0,5715

Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = hammer test.

Tabel 12. Rekapitulasi regresi power antara UPV test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = 0,8756X^{0,3293}$	0,0345
K125	$Y = 1E+08X^{-1,908}$	0,1161
K150	$Y = 44710X^{-0,951}$	0,0429
K175	$Y = 6587,6X^{-0,705}$	0,0139
K200	$Y = 0,0866X^{0,6441}$	0,0145
Gabungan	$Y = 9E-14X^{3,9139}$	0,4324

Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = UPV test.

Rekapitulasi dari keseluruhan regresi antara nilai lenting hasil hammer test dengan nilai kuat desak beton aktual gabungan disajikan pada Tabel 13. Sebagaimana ditunjukkan dalam tabel tersebut, nilai koefisien korelasi tertinggi didapatkan pada persamaan regresi polynomial yaitu 0,5749. Kemudian nilai koefisien korelasi tertinggi berikutnya didapatkan pada persamaan regresi linier yaitu sebesar 0,5741.

Tabel 13. Rekapitulasi hasil *tredline* regresi antara *hammer test* dengan *compression test*

Tredline Regresi	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
Linier	$Y = 0,7199x + 1,9563$	0,5741
Eksponensial	$Y = 3,01e^{0,0868x}$	0,5621
Logaritmik	$Y = 27,275\ln(x) - 64,419$	0,5736
Polinomial	$Y = -0,0236x^2 + 2,331x - 19,897$	0,5749
Power	$Y = 0,1108x^{1,6828}$	0,5715

Keterangan: Y = *compression strength* (MPa), X = *hammer test*.

Tabel 14. Rekapitulasi hasil *trendline* regresi antara *UPV test* dengan *compression test*

Tredline Regresi	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
Linier	$Y = 0,0148x - 48,181$	0,4215
Eksponensial	$Y = 0,3023e^{0,0009}$	0,4356
Logaritmik	$Y = 63,448\ln(x) - 515,14$	0,4172
Polinomial	$Y = 3E - 05x^2 - 0,2719x + 567,62$	0,4611
Power	$Y = 9E - 14x^{3,9139}$	0,4324

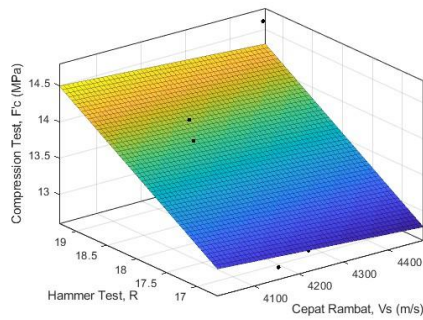
Keterangan: Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = *UPV test*.

Rekapitulasi dari keseluruhan regresi antara nilai cepat rambat hasil UPV test dengan nilai kuat desak beton aktual gabungan disajikan pada Tabel 14. Sebagaimana ditunjukkan dalam tabel tersebut, nilai koefisien korelasi tertinggi didapatkan pada persamaan regresi polinomial yaitu 0,4611. Kemudian nilai koefisien korelasi tertinggi berikutnya didapatkan pada persamaan regresi eskponensial yaitu sebesar 0,4356.

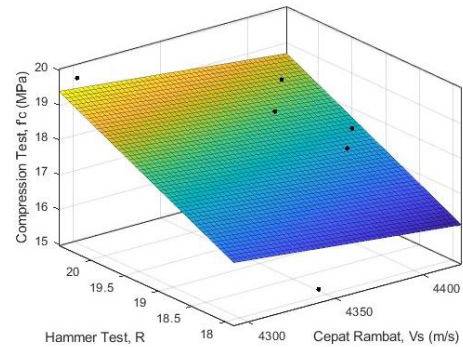
Pola trend polinomial memiliki titik puncak, baik itu polinomial tingkat 2 atau lebih. Pola ini memberikan intepretasi bahwa saat nilai variable pada sumbu X meningkat, nilai pada variable Y dapat mengalami peningkatan atau penurunan setelah menyentuh titik puncak. Hal ini yang menjadikan trend polinomial tidak relevan untuk diaplikasikan pada evaluasi mutu beton dengan menggunakan nilai hasil uji NDT. Oleh karena itu, trend yang dinilai terbaik adalah trend linier untuk hubungan nilai lenting hasil hammer test terhadap kuat desak aktual, dan trend eksponensial untuk hubungan nilai cepat rambat hasil UPV test terhadap kuat desak aktual beton mutu rendah.

Analisis regresi 2 variabel

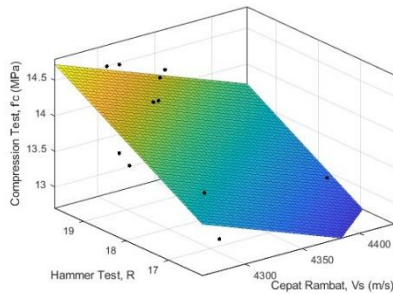
Analisis regresi selain sebagaimana diulas sebelumnya, hubungan antara 2 variabel nilai lenting dari hasil hammer test dan nilai cepat rambat dari hasil UPV test terhadap kuat desak beton aktual digambarkan dengan pola linier berganda. Regresi linier berganda untuk beton mutu K100 digambarkan pada Gambar 16, beton mutu K125 sebagaimana Gambar 17, beton mutu K150 sebagaimana Gambar 18, beton mutu K175 sebagaimana Gambar 19 dan beton mutu K200 sebagaimana Gambar 20. Sedangkan pola regresi gabungan nilai hasil NDT (nilai lenting dan nilai cepat rambat) mutu beton K100, K125, K150, K175 dan K200 terhadap kuat desak aktual beton ditunjukkan apda Gambar 21.



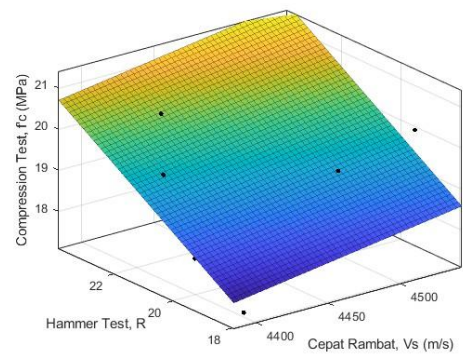
Gambar 16. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test mutu beton K100



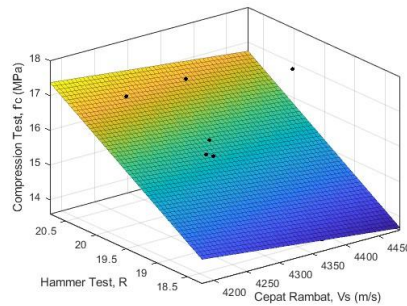
Gambar 19. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test mutu beton K175



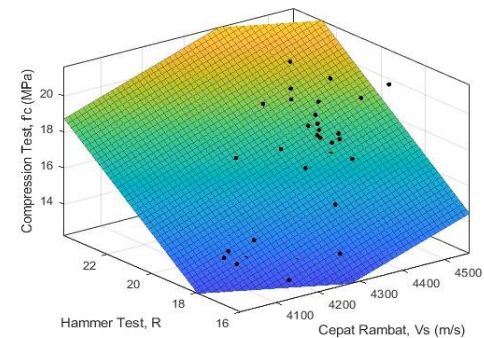
Gambar 17. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test mutu beton K125



Gambar 20. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test mutu beton K200



Gambar 18. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test mutu beton K150



Gambar 21. Regresi linier berganda antara hammer test, UPV test dengan compression test seluruh variasi benda uji

Berdasarkan pola penggambaran yang telah ditunjukkan sebelumnya, disajikan rekapitulasi persamaan dan nilai koefisien korelasi untuk masing-masing mutu beton sebagaimana disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Rekapitulasi regresi antara *hammer test*, *UPV test* dengan *compression test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K100	$Y = 0,57533X_1 - 0,00042X_2 + 5,0728$	0,464
K125	$Y = 0,36951X_1 - 0,00596X_2 + 532,87321$	0,393
K150	$Y = 1,22343X_1 - 0,00212X_2 + 0,85785$	0,348
K175	$Y = 0,99617X_1 - 0,009X_2 + 21,80243$	0,343
K200	$Y = 0,49901X_1 + 0,00535X_2 - 14,65256$	0,458
Gabungan	$Y = 1,06996X_1 + 0,00778X_2 - 38,08524$	0,656

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

Tabel 16. Persamaan regresi antara *non-destructive test* dengan *compression test*

Pengujian yang dilakukan	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)	Koefisien Korelasi (R)
<i>UPV test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = 0,3023e^{0,0009}$	0,4356	0,6600
<i>Hammer test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = 0,7199x + 1,9563$	0,5741	0,7577
<i>Hammer test</i> , <i>UPV test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = 1,06996X_1 + 0,00778X_2 - 38,08524$	0,6560	0,8099

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

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 16 dan klasifikasi koefisien korelasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 17 (Sarwono, 2017), didapatkan gambaran hasil hubungan antara hasil UPV test dengan nilai kuat tekan beton memiliki korelasi dalam kategori kuat. Adapun dalam hubungan tersebut dapat dikatakan bahwa 43,56% nilai mutu beton aktual mempunyai pengaruh secara langsung terhadap nilai hasil UPV, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh hal lain. Pola hubungan hasil uji hammer test dengan kuat tekan beton aktual menunjukkan korelasi yang masuk dalam kategori sangat kuat tetapi berada pada batas bawah. Kemudian pola hubungan antara 2 parameter yaitu nilai hasil uji hammer dan hasil uji UPV terhadap kuat tekan beton menunjukkan korelasi yang sangat kuat, dengan keterlibatan variable terhadap hasil secara langsung sebesar 65,6%. Sedangkan 34,4% sisanya dipengaruhi oleh hal lain.

Tabel 17. 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

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan tersebut, diperoleh gambaran bahwa hasil NDT memiliki pola yang baik terhadap nilai kuat tekan dengan pola linier. Meski begitu korelasi yang ditunjukkan tidak sempurna (ditunjukkan nilai koefisien korelasi < 0,99). Ketidaksempurnaan ini diakibatkan oleh hal lain yang masih diperlukan studi mendalam, mengingat hasil nilai uji NDT yang didapatkan dari pengujian hammer dan pengujian UPV dominan menggambarkan mutu atau kesergaaman beton pada bagian permukaan beton.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa nilai korelasi nilai cepat

rambat hasil *UPV test* dengan kuat desak hasil *compression test* sebesar 0,4356, nilai lenting hasil *hammer test* dengan nilai kuat desak hasil *compression test* sebesar 0,5741, dan kombinasi nilai lenting hasil *hammer test* dan nilai cepat rambat hasil *UPV test* dengan nilai kuat desak hasil *compression test* sebesar 0,6560.

Nilai korelasi kombinasi nilai lenting hasil *hammer test* dan nilai cepat rambat hasil *UPV test* dengan kuat desak hasil *compression test* memiliki nilai korelasi tertinggi dibandingkan dengan nilai korelasi antara nilai cepat rambat hasil *UPV test* dengan kuat desak hasil *compression test* maupun nilai korelasi antara nilai lenting hasil *hammer test* dan kuat desak hasil *compression test*.

Daftar pustaka

- Aribawa, B.B., Wijatmiko, I. and Simatupang, R.M., 2019. Studi Evaluasi Pengaruh Variasi Mutu Beton Terhadap Kekuatan Struktur Beton Normal Menggunakan Metode Non-Destructive Test dan Destructive Test. *Rekayasa Sipil*, 13(3), pp.184-192.
- International Atomic Energy Agency. 2002. *Guidebook On Non-Destructive Testing of Concrete Structures*. Vienna
- 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>
- Mussadat, A. 2023. Korelasi Antara Hasil Pengujian *Hammer* dan *UPV* dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Fly Ash* Mutu Sedang. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- PD T-07-2005-B. 2005. Pengaruh pekerjaan beton untuk jalan dan jembatan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- 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 7394:2008 tentang tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan beton untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan.
- SNI 03-2834-2000 tentang Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal
- Wiroatama, 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>