

Korelasi antara hasil pengujian hammer dan UPV dengan hasil pengujian kuat tekan beton *Fly-Ash* mutu sedang

Muhammad Arkam Mussadat¹, 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:

Fly ash
Destructive test
Non-Destructive Test
UPV Test
Hammer Test
Compression Test
Correlation

Corresponding Author:

Malik Mushthofa
185111302@uii.ac.id *

Abstract

The use of fly ash waste from power plants can be utilized as a substitute material in concrete production for construction purposes such as buildings. A building requires structural evaluation to identify potential damages or weaknesses. There are two commonly used methods for structural evaluation: destructive and non-destructive testing. In some conditions, carrying out destructive tests in the field is not feasible, hence non-destructive testing is employed. Common non-destructive tests include the hammer test and UPV test, yet the results obtained from these tests have not fully depicted the overall strength of the structure. Therefore, it is necessary to establish correlations with several other compressive strength tests. The purpose of this study is to determine the correlation between the results of concrete compressive strength tests conducted in the laboratory using a compression test apparatus, hammer test, and UPV test. The tests were carried out on cylindrical test specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, with variations in concrete quality including 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, and 30 MPa, with a 10% substitution of fly ash for cement. The correlations/relationships among the three tests obtained in this study are as follows: UPV test with compression test is represented by $Y = 145.88\ln(x) - 1201.9$ ($R^2 = 0.4691$), hammer test with compression test is represented by $Y = 1.8592x - 24.34$ ($R^2 = 0.5802$), and the combination of hammer test and UPV test with compression test is represented by $Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$ ($R^2 = 0.602$).

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Beton terbuat dari agregat halus, agregat kasar, semen, dan air yang dicampur dengan cara khusus untuk membentuk massa padat (SK SNI T-15-1991-03, 1993). Beton juga dapat ditambahkan dengan bahan tambahan untuk meningkatkan kinerjanya untuk dapat mengurangi retakan dan meningkatkan kekuatan, fleksibilitas, dan percepatan pengerasan beton (Tjokrodinuljo, 2007). Penggunaan *fly ash* atau abu terbang adalah contohnya (Marthinus, 2015).

Menurut SNI 03-6414-2002 pengertian abu terbang (*fly ash*) adalah limbah yang dihasilkan oleh pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolan. Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton dapat mengurangi jumlah semen sebagai material penyusun beton (Setiawati, 2018). *Fly ash* juga dapat meningkatkan kemampuan kerja beton (workability) dan kekuatan beton (Vairagade et al., 2015). Pemanfaatan *fly ash* dalam bidang konstruksi, telah umum diterapkan, seperti penggunaan beton *fly ash*

pada bangunan kantor administratif, bangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan sebagainya.

Sepanjang siklus umur layan sebuah bangunan membutuhkan kajian struktur atau evaluasi struktur untuk mengidentifikasi potensi kerusakan atau kelemahan yang mungkin terjadi pada bangunan. Secara umum terdapat dua metode pengujian yang umum digunakan untuk evaluasi struktur yaitu *destructive test* dan *non-destructive test*. *Destructive test* dalam beberap akondisi tidak dapat dilakukan di lapangan, untuk itu *non-destructive test* dapat menjadi opsi sebagai jalan keluar dari kondisi tersebut. Salah satu pengujian *non-destructive test* yang umum digunakan yaitu *hammer test* dan *UPV test*. Namun hasil yang diperoleh dari pengujian *non-destructive test* bukan nilai mutu beton atau kuat desak beton secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan suatu persamaan atau fungsi untuk menggambarkan hubungan antara nilai hasil uji NDT (*non-destructive test*) dengan nilai kuat desak beton.

Menurut SNI ASTM C805:2012 pengujian *hammer test* menghasilkan nilai pantul/rebound (R) yang dapat digunakan untuk menilai keseragaman beton di lapangan, memberikan gambaran bagian struktur yang mempunyai kualitas jelek atau beton yang mengalami kerusakan. Menurut SNI ASTM C597:2012 pengujian *UPV test* menghasilkan nilai cepat rambat gelombang (Vs) yang dapat digunakan untuk menilai atau mengetahui keseragaman beton dan mutu relatif beton.

Penelitian ini akan mencoba mengulas hubungan antara nilai lenting hasil uji *hammer* dan nilai cepat rambat hasil uji *UPV test* dengan nilai kuat desak beton pada beton *fly ash* mutu sedang. Output dari penelitian ini adalah persamaan atau hubungan yang menggambarkan nilai pantul hasil *hammer test* dan nilai cepat rambat hasil *UPV test* dengan nilai kuat desak beton *fly ash* mutu sedang, disertai dengan nilai koefisien korelasi pada setiap persamaan yang didapatkan.

Metode penelitian

Material penyusun beton

Bahan yang digunakan dalam campuran beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bahan penyusun beton

Material	Keterangan
Agregat halus	Agregat dengan ukuran butir yang lolos saringan 4,8 mm
Agregat kasar	Agregat dengan ukuran butiran antara 4,8 mm hingga 20 mm
Semen portland	Bahan yang berfungsi untuk merekatkan butiran agregat dan menjadi pengisi rongga antara agregat
Air	Material yang digunakan untuk memicu proses kimiawi dari semen
<i>Fly Ash</i>	Bahan tambah yang digunakan untuk menggantikan semen

Penelitian ini menggunakan sampel berbentuk silinder ukuran 15 x 30 cm dengan variasi beton mutu sedang mulai dari 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Setiap variasi berjumlah 15 sampel dan masing-masing sampel ditambahkan dengan *fly ash* pengganti semen sebesar 10%. Seluruh sampel dilakukan uji *UPV test*, *hammer test*, dan *compression test*.

Tabel 2. Jumlah benda uji

Variasi	Umur beton	Persentase <i>flyash</i> terhadap berat semen	Jumlah
21 MPa	28	10%	15
25 MPa	28	10%	15
30 MPa	28	10%	15

Perencanaan campuran beton dilakukan sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Proporsi campuran dengan bahan tambah sebesar 10% dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Proporsi campuran beton

Material	fc' beton yang direncanakan		
	21 MPa	25 MPa	30 MPa
Air (liter)	19,55	19,55	19,55
Semen (kg)	32,92	36,05	39,73
<i>Fly ash</i> (kg)	3,68	4,01	4,41
Agregat halus (kg)	86,14	82,45	78,59
Agregat Kasar (kg)	78,38	78,59	78,37
Total (kg)	220,66	220,66	220,66

Metode pengujian

Pengujian UPV digunakan untuk menilai atau mengetahui keseragaman beton dan mutu relatif beton (SNI ASTM C597:2012). Pengujian UPV dilakukan pada sampel silinder yang terdiri dari 4 variasi dengan masing-masing variasi terdiri dari 15 sampel. Pengujian UPV dilakukan dengan metode *direct transmission* dengan meletakkan transducer UPV pada ujung permukaan silinder, setiap benda uji dilakukan 5 kali pengujian kemudian dihitung nilai reratanya.



Gambar 2. Pengujian UPV test

Pengujian *hammer test* dilakukan dengan mengambil data benda uji dari posisi B (-90°) berada di bagian atas permukaan benda uji dan posisi C (90°) berada dibagian bawah permukaan benda uji dengan pengambilan nilai *rebound* sebanyak 10 titik tiap jarak 2,5 cm setiap penembakan.



Gambar 3. Pengujian *hammer test*

Uji tekan dilaksanakan menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan permukaan berlapis capping pada umur beton 28 hari. Pengujian dilaksanakan dengan bantuan alat uji tekan Automax Pro-M Controls.

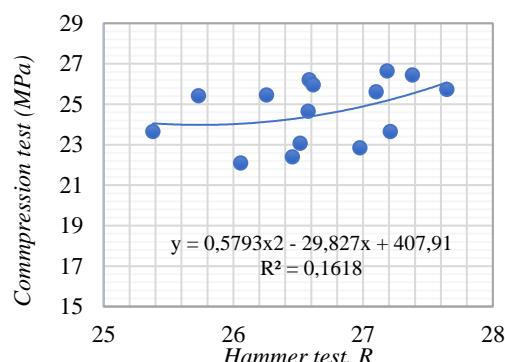


Gambar 4. Pengujian *Compression Test*

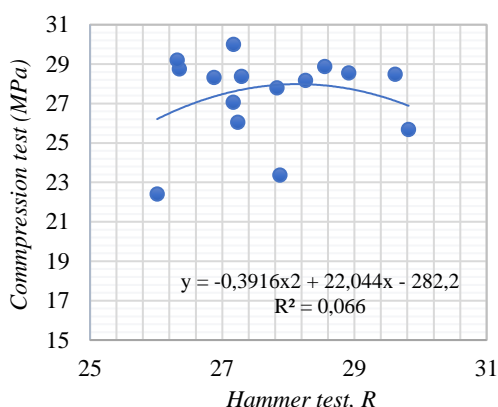
Hasil dan pembahasan

Analisis regresi 1 variabel

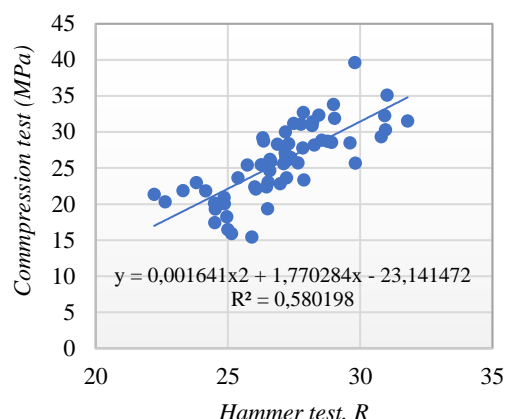
Analisis regresi digunakan untuk menggambarkan hubungan antara ketiga hasil pengujian yaitu nilai cepat rambat hasil UPV test, nilai lenting/rebound hasil *hammer test*, dan nilai kuat desak hasil *compression test*. Analisis regresi yang digunakan menggunakan 5 jenis *trendline* yang berbeda untuk hubungan nilai pantul hasil *hammer test* dengan nilai kuat desak hasil *compression test* dan nilai cepat rambat hasil UPV test dengan nilai kuat desak hasil *compression test*. Kemudian dilakukan analisis regresi berganda untuk 2 variabel yaitu kombinasi nilai cepat rambat hasil UPV test dan nilai pantul hasil *hammer test* dengan nilai kuat desak hasil *compression test*. Berdasarkan persamaan yang dihasilkan dari beberapa jenis persamaan sebagaimana disebutkan sebelumnya, persamaan dengan trend *polynomial* memiliki nilai koefisien korelasi yang tertinggi.



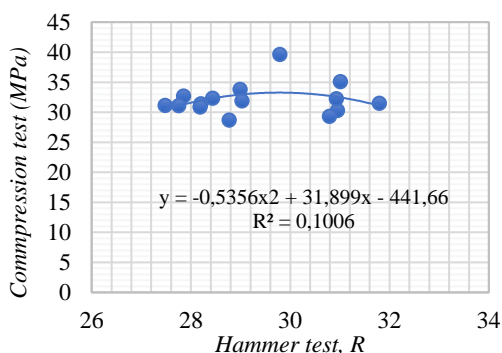
Gambar 5. Grafik regresi *polynomial* antara nilai pantul hasil *hammer test* dan nilai kuat desak hasil *compression test* f_c '21 MPa



Gambar 6. Grafik regresi *polynomial* antara nilai pantul hasil *hammer test* dan nilai kuat desak hasil *compression test* f_c' 25 MPa



Gambar 8. Grafik regresi *polynomial* gabungan antara *hammer test* dan *compression test*



Gambar 7. Grafik regresi *polynomial* antara nilai pantul hasil *hammer test* dan nilai kuat desak hasil *compression test* f_c' 30 MPa

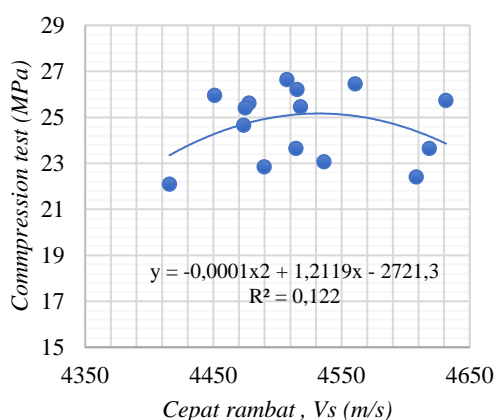
Trend *polynomial* memberikan nilai koefisien korelasi yang tertinggi untuk menggambarkan hubungan nilai lenting hasil *hammer test* terhadap nilai kuat desak hasil *compression test* jika dibandingkan dengan trend regresi yang lain. Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan trend *polynomial* untuk nilai lenting hasil uji *hammer* dengan nilai kuat desak hasil *compression test* untuk beton f_c' 21 MPa, f_c' 25 MPa, f_c' 30 MPa dan gabungan mutu beton 21 MPa, 25 MPa, 30 MPa secara berurutan. Rekapitulasi dari grafik tersebut disajikan pada Tabel 4.

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

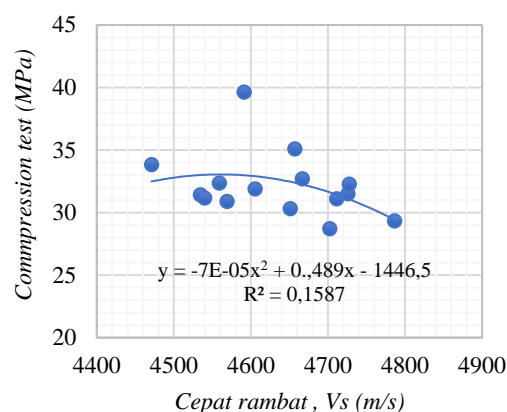
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)
21 MPa	$Y = 0,5793x^2 - 29,827x + 407,91$	0,1618
25 MPa	$Y = -0,3916x^2 + 22,044x - 282,2$	0,066
30 MPa	$Y = -0,5356x^2 + 31,899x - 441,66$	0,1006
Gabungan	$Y = 0,0016x^2 + 1,7703x - 23,141$	0,5802

Trend *polynomial* juga memberikan nilai koefisien korelasi yang tertinggi untuk menggambarkan hubungan nilai cepat rambat hasil UPV test terhadap nilai kuat desak hasil *compression test* jika dibandingkan dengan trend regresi yang lain. Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan trend *polynomial*

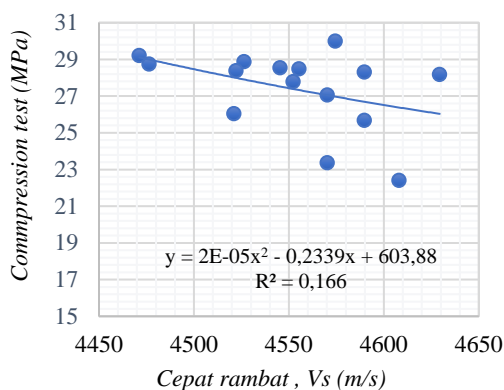
untuk nilai cepat rambat hasil UPV test dengan nilai kuat desak hasil *compression test* untuk beton f_c' 21 MPa, f_c' 25 MPa, f_c' 30 MPa dan gabungan mutu beton 21 MPa, 25 MPa, 30 MPa secara berurutan. Rekapitulasi dari grafik tersebut disajikan pada Tabel 5.



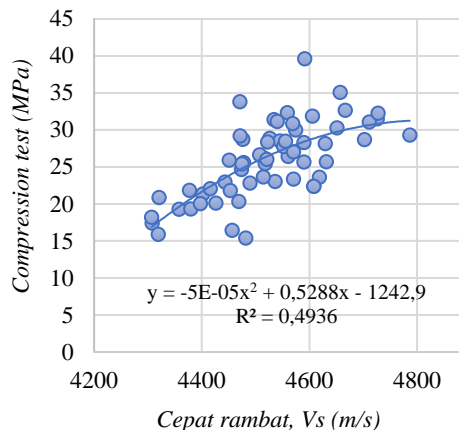
Gambar 9. Grafik regresi *polynomial* antara UPV test dan *compression test* fc' 21 MPa



Gambar 11. Grafik regresi *polynomial* antara UPV test dan *compression test* fc' 30 MPa



Gambar 10. Grafik regresi *polynomial* antara UPV test dan *compression test* fc' 25 MPa



Gambar 12. Grafik regresi *polynomial* gabungan antara UPV test dan *compression test*

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

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = -0,00001x^2 + 1,2119x - 2721,3$	0,122
25 MPa	$Y = 2E-05x^2 - 0,2339x + 603,88$	0,166
30 MPa	$Y = -7E-05x^2 + 0,6489x - 1446,5$	0,159
Gabungan	$Y = -5E-05x^2 + 0,5288x - 1242,9$	0,494

Analisis regresi dilakukan dengan menggunakan trend regresi linier, regresi eksponensial, regresi logaritmik dan regresi power. Tabel 6 memberikan gambaran hubungan linier nilai lenting hasil hammer test dengan kuat desak aktual beton, trend logaritmik disajikan pada Tabel 8, trend eksponensial disajikan pada Tabel 10 dan

trend power disajikan pada Tabel 12. Tabel 7 memberikan gambaran hubungan linier nilai lenting hasil hammer test dengan kuat desak aktual beton, trend logaritmik disajikan pada Tabel 9, trend eksponensial disajikan pada Tabel 11 dan trend power disajikan pada Tabel 13.

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

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = 0,9179x + 0,02025$	0,1353
25 MPa	$Y = 0,171x + 22,675$	0,0085
30 MPa	$Y = 0,2157x + 25,824$	0,0138
Gabungan	$Y = 1,8592x - 24,34$	0,5802

Tabel 7. Rekapitulasi regresi linier antara UPV test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = -0,00004x + 24,822$	0,000002
25 MPa	$Y = -0,0197x + 116,92$	0,1654
30 MPa	$Y = -0,0099x + 77,993$	0,1134
Gabungan	$Y = 0,321x - 119,46$	0,4657

Tabel 8. Rekapitulasi regresi logaritmathic antara hammer test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = 24,2\ln(x) - 54,774$	0,1337
25 MPa	$Y = 5,0256\ln(x) + 10,723$	0,0094
30 MPa	$Y = 6,6388\ln(x) + 9,7267$	0,015
Gabungan	$Y = 49,887\ln(x) - 138,41$	0,5769

Tabel 9. Rekapitulasi regresi logaritmathic antara UPV test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = 0,1258\ln(x) + 23,6$	$1 \times 10^{(-0,6)}$
25 MPa	$Y = -89,4\ln(x) + 780,46$	0,1655
30 MPa	$Y = -45,52\ln(x) + 416,39$	0,112
Gabungan	$Y = 145,88\ln(x) - 1201,9$	0,4691

Tabel 10. Rekapitulasi regresi exponential antara hammer test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = 9,1212e^{0,0373X}$	0,1368
25 MPa	$Y = 22,034e^{0,078X}$	0,0083
30 MPa	$Y = 26,872e^{0,006X}$	0,0136

Tabel 14. Rekapitulasi hasil tredline regresi antara hammer test dengan compression test

Tredline Regresi	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
Linier	$Y = 1,8592x - 24,34$	0,5802
Polynomial	$Y = 0,0016x^2 + 1,7703x - 23,141$	0,5802
Logaritmathic	$Y = 49,887\ln(x) - 138,41$	0,5769
Exponential	$Y = 3,5076e^{0,00732X}$	0,5717
Power	$Y = 0,0388x^{1,9685}$	0,5796

Gabungan $Y = 3,5076e^{0,00732X}$ 0,5717

Tabel 11. Rekapitulasi regresi exponential antara UPV test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = 24,456e^{1E-06x}$	2E-06
25 MPa	$Y = 855,07e^{-8E-04x}$	0,1657
30 MPa	$Y = 132,94e^{-3E-04x}$	0,1134
Gabungan	$Y = 0,0668e^{0,0013x}$	0,4399

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

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = 0,9802x^{0,982}$	0,1353
25 MPa	$Y = 12,861x^{0,227}$	0,0092
30 MPa	$Y = 17,155x^{0,1851}$	0,0148
Gabungan	$Y = 0,0388x^{1,9685}$	0,5796

Tabel 13. Rekapitulasi regresi power antara UPV test dengan compression test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
21 MPa	$Y = 21,079x^{0,0184}$	1E-06
25 MPa	$Y = 1E+14x^{-3,439}$	0,1657
30 MPa	$Y = 5E+06x^{-1,413}$	0,1101
Gabungan	$Y = 4E-21x^{5,9659}$	0,4448

Rekapitulasi analisis regresi yang telah dilakukan disajikan pada Tabel 14 dan Tabel 15. Sebagaimana disajikan pada tabel tersebut, nilai koefisien korelasi tertinggi pada hubungan nilai lenting hasil uji hammer dengan nilai kuat desak beton diperoleh pada trend polynomial yaitu sebesar 0,5802. Begitu juga untuk hubungan antara nilai cepat rambat hasil UPV test dengan nilai kuat desak beton, nilai koefisien korelasi tertinggi juga didapatkan pada trend polynomial, yaitu sebesar 0,4936.

Tabel 15. Rekapitulasi hasil *tredline* regresi antara UPV test dengan *compression test*

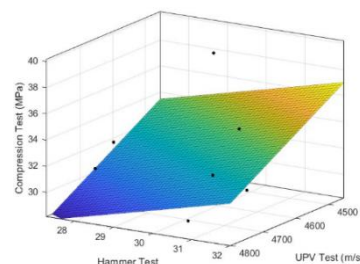
Tredline Regresi	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
Linier	$Y = 0,321x - 119,46$	0,4657
Polynomial	$Y = -5E-05x^2 + 0,5288x - 1242,9$	0,4936
Logarithmic	$Y = 145,88\ln(x) - 1201,9$	0,4691
Exponential	$Y = 0,0668e^{0,0013x}$	0,4399
Power	$Y = 4E-21x^{5,9659}$	0,4448

Berdasarkan Tabel 14 dan Tabel 15 hasil korelasi tertinggi terjadi pada analisis regresi *polynomial*. Namun, penggunaan persamaan dengan *tredline polynomial* kurang relevan digunakan dibandingkan dengan kelima jenis *tredline* yang lain. Hal ini disebabkan karena kurva *polynomial* membentuk garis melengkung yang memiliki titik puncak/tertinggi kemudian garis tersebut akan menurun. Pola ini menggambarkan data hasil variabel X yang semakin tinggi, maka variabel Y semakin rendah.

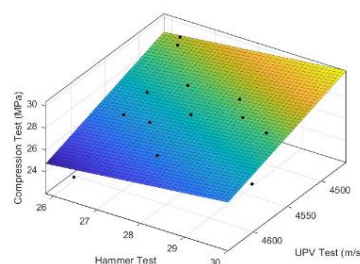
Oleh karena itu, analisis regresi yang memberikan representasi yang lebih tepat terhadap nilai korelasi hasil *hammer test* dan UPV test dengan *compression test* yaitu *tredline* dengan nilai koefisin (R²) tertinggi kedua setelah *polynomial*. Trend tersebut antara lain adalah trend linier untuk menggambarkan hubungan antara nilai lenting hasil hammer test terhadap nilai kuat desak beton, dengan nilai R² sebesar 0,5802. Sedangkan untuk hubungan antara nilai cepat rambat hasil UPV test terhadap nilai kuat desak digambarkan oleh trend logaritmik dengan nilai R² sebesar 0,4691.

Analisis regresi 2 variabel

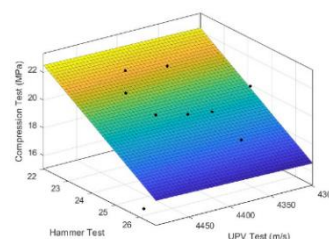
Analisis regresi linier berganda digunakan untuk memproyeksikan perubahan dalam nilai suatu variabel jika variabel lain mengalami perubahan. Ini disebut "berganda" karena melibatkan lebih dari satu variabel independen sebagai prediktor. Di sisi lain, analisis korelasi berganda digunakan untuk mengukur sejauh mana hubungan atau kekuatan interaksi antara variabel X (nilai hasil *hammer test* dan UPV test) dan variabel Y (nilai hasil *compression test*).



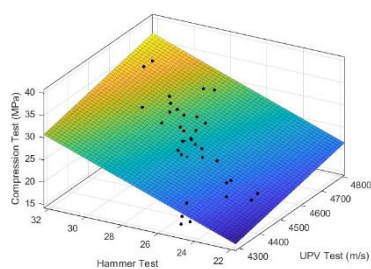
Gambar 13. Regresi linier berganda antara *hammer test*, UPV test dengan *compression test* mutu beton *fc'* 21 MPa



Gambar 14. Regresi linier berganda antara *hammer test*, UPV test dengan *compression test* mutu beton *fc'* 25 MPa



Gambar 15. Regresi linier berganda antara *hammer test*, UPV test dengan *compression test* mutu beton *fc'* 30 MPa



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

Kombinasi nilai lenting hasil *hammer test* dan nilai cepat rambat hasil *UPV test* terhadap kuat desak beton ditunjukkan pada Gambar 13 untuk beton *fly-ash* f_c' 21 MPa, Gambar 14 untuk beton *fly-ash* f_c' 25 MPa, Gambar 15 untuk beton *fly-ash* f_c' 30 MPa dan Gambar 16 untuk kombinasi beton *fly-ash* dengan mutu ketiganya. Rekapitulasi persamaan regresi linier 2 variabel disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Rekapitulasi regresi antara *hammer test*, UPV test dengan *compression test*

Benda uji	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R^2)
21 MPa	$Y = 18.611 - 0.006x_1 + 1.185x_2$	0,176
25 MPa	$Y = 118.702 - 0.023x_1 + 0.405x_2$	0,209
30 MPa	$Y = 85.047 - 0.016x_1 + 0.742x_2$	0,232
Gabungan	$Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$	0,602

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

Tabel 17. Persamaan regresi antara *non-destructive test* dengan *compression test*

Pengujian yang dilakukan	Persamaan regresi	Koefisien determinasi (R^2)	Koefisien korelasi (R)
UPV test dengan <i>compression test</i>	$Y = 145,88\ln(x) - 1201,9$	0,4691	0,6849
Hammer test dengan <i>compression test</i>	$Y = 1,8592x - 24,34$	0,5802	0,7617
Hammer test, UPV test dengan <i>compression test</i>	$Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$	0,6020	0,7759

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

Berdasarkan Tabel 17 analisis regresi antara kombinasi nilai lenting hasil *hammer test* dan nilai cepat rambat hasil *UPV test* dengan nilai kuat desak *compression test* memiliki nilai korelasi tertinggi dibandingkan dengan korelasi yang lain. Artinya, hubungan antara variabel dependent Y (*compressive test*) dengan dua variabel independent X1 (*hammer test*) dan X2 (UPV test) ini cukup erat, namun tidak cukup kuat untuk dianggap signifikan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan besar dalam rentang nilai antara hasil pengujian *compression test* dan pengujian *non-destructive test* (*hammer test* dan UPV test), serta adanya perbedaan satuan dalam data yang digunakan dalam analisis.

Kesimpulan

1. Analisis regresi satu variabel yang digunakan menggunakan jenis *trendline* linier untuk korelasi hasil pengujian *hammer test* dengan *compression test* dan *trendline logarithmic* untuk korelasi pengujian UPV test dengan *compression test*.
2. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai koefisien korelasi antara *hammer test* dengan *compression test* sebesar 0,7617, UPV test dengan *compression test* sebesar 0,6849 dan kombinasi *hammer*, UPV dengan *compression test* sebesar 0,7759.

3. Nilai korelasi antara *hammer* dan UPV dengan *compression test* memiliki nilai korelasi tertinggi.

Daftar pustaka

International Atomic Energy Agency, Vienna. (2002). *Guidebook on non destructive testing of concrete structures*. Training Course Series No. 17.

Manado, Tribunnews. 2022. PLN Memanfaatkan FABAs, Limbah PLTU Amurang Sebagai Material Gedung PLTA Tanggari. <https://manado.tribunnews.com/2022/03/31/pln-memanfaatkan-faba-limbah-pltu-amurang-sebagai-material-gedung-plta-tanggari>. (Diakses pada 12 Juni 2023).

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>

Marthinus, A.P., Sumajouw, M.D. and Windah, R.S., 2015. *Pengaruh penambahan abu terbang (Fly Ash) terhadap kuat tarik belah beton*. Jurnal Sipil Statik, 3(11).

Mulyono, 2005. *Teknologi Beton*. First Ed. Andi. Yogyakarta

Setiawati, M., 2018. *Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton*. Prosiding Semnastek.

SK SNI T-15-1991-03 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton

SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-6468-2000. *Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu terbang*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1974:2011. *Cara Uji Kuat tekan Beton Dengan Benda uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI ASTM C597:2012. *Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI ASTM C805:2012. *Metode Uji Angka Pantul Beton Keras*. Badan Standarisasi Nasional.

Tjokrodinuljo, 2007. *Teknologi Beton*. Biro penerbit: Yogyakarta

Vairagade, V.S., Parbat, D.K. and Dhale, S.A., 2015. Fly ash as sustainable material for green concrete-A state of art. *Int. J. Res. Eng. Sci. Technol*, 1(2), pp.17-24.