

TUGAS AKHIR

**KORELASI ANTARA HASIL PENGUJIAN HAMMER DAN
UPV DENGAN HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON
MUTU SEDANG
(CORRELATION BETWEEN HAMMER TEST AND UPV
RESULTS WITH COMPRESSIVE STRENGTH TEST RESULTS
OF MEDIUM GRADE CONCRETE)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil**



MUHAMMAD ALWAN DWI WIDODO

19511112

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2023

TUGAS AKHIR

KORELASI ANTARA HASIL PENGUJIAN HAMMER DAN UPV DENGAN HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON MUTU SEDANG (CORRELATION BETWEEN HAMMER TEST AND UPV RESULTS WITH COMPRESSIVE STRENGTH TEST RESULTS OF MEDIUM GRADE CONCRETE)

Disusun oleh

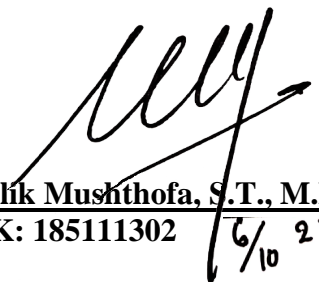
Muhammad Alwan Dwi Widodo
19511112

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil


Diuji pada tanggal
13 September 2023

Oleh Dewan Penguji:


Pembimbing I


Malik Mushthofa, S.T., M.Eng
NIK: 185111302 6/10 23

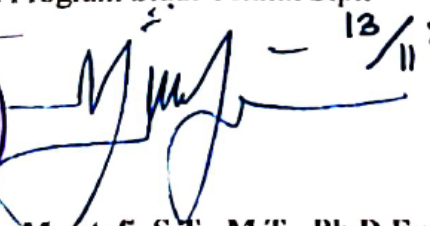

Penguji I


Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T. Ph.D.Eng
NIK: 095110101

Penguji II

06/10 23

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T
NIK: 185111304

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


13/11 2023

Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa sesungguhnya Tugas Akhir yang telah saya susun untuk syarat penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah.

Yogyakarta, 3 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Alwan Dwi W.
(19511112)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Korelasi Antara Hasil Pengujian *Hammer* dan UPV Dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Sedang. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada.

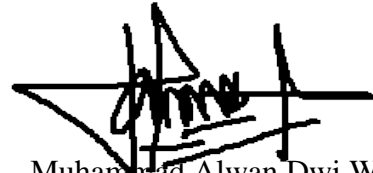
1. Imam Widodo, S.T. dan Fatina Ardi, S.T. selaku ayah dan ibu penulis yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Tugas Akhir ini.
2. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia juga selaku penguji 1.
3. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing.
4. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. Selaku penguji 2.
5. Muhammad Naufal Widodo, S.T., M.Eng. dan Reika Aprilia Putri Ardina selaku saudara penulis yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
6. M. Arkam Mussadat dan Fildza Nur Rizqiyah yang selalu membantu penulis dalam menyusun naskah Tugas Akhir hingga pembuatan dan pengujian beton.
7. Teman – teman seperjuangan kuliah ”TOXIC”, yang selalu mendukung penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Teman – teman ”Keluarga Cemara” yang selalu menghibur dan memotivasi penulis.

9. Maitsa Safira Nuraini, Agista Harismayanti dan Irene Nur Halisa yang selalu memberikan semangat serta dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Semua pihak dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Akhir kata Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 3 Oktober 2022

Penulis,



Muhammad Alwan Dwi W.

(19511112)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Bahasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Perbandingan Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Beton	10

3.2	Bahan Penyusun Beton	11
3.2.1	Semen	11
3.2.2	Agregat	13
3.2.3	Air	15
3.3	Metode Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	16
3.4	UPV Test	24
3.5	<i>Hammer Test</i>	27
3.6	<i>Compression Test</i>	29
3.7	Regresi	30
BAB IV METODE PENELITIAN		31
4.1	Umum	31
4.2	Lokasi Penelitian	31
4.3	Bahan	31
4.4	Alat	33
4.5	Benda Uji	38
4.6	Pelaksanaan Penelitian	38
4.7	Persiapan Penelitian	39
4.8	Pengujian Agregat	39
4.9	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	40
4.10	Pembuatan dan pengujian Benda Uji Trial dengan Umur 7 Hari	40
4.11	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	40
4.12	Pengujian Benda Uji	40
4.13	Olah Data	43
4.14	Analisis Data	43
4.15	Pembahasan	43
4.16	Kesimpulan dan Saran	44
4.17	Diagram Alur Penelitian	44
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN		46
5.1	Pemeriksaan Agregat Kasar	46
5.1.1	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	46

5.1.2	Analisis Saringan Agregat Kasar	47
5.1.3	Berat Isi Gembur Agregat Kasar	48
5.1.4	Berat Isi Padat Agregat Kasar	50
5.2	Pemeriksaan Agregat Halus	50
5.2.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	50
5.2.2	Analisis Saringan Agregat Halus	51
5.2.3	Berat Isi Gembur Agregat Halus	52
5.2.4	Berat Isi Padat Agregat Halus	52
5.2.5	Kadar Lumpur Agregat Halus	53
5.3	Perhitungan Campuran Beton	54
5.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	54
5.5	Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> Digital	60
5.6	Hasil Pengujian UPV	63
5.7	Hasil Pengujian <i>Compressive, Hammer, dan UPV</i>	69
5.8	Analisa Regresi dan Korelasi Linier Sederhana	71
5.8.1	Analisis Regresi dan Korelasi Linier Sederhana Antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	72
5.8.2	Analisi Regresi Sederhana dan Korelasi Linier Antara UPV Test dengan <i>Compression Test</i>	76
5.8.3	Analisa Regresi Linier Berganda dan Korelasi Linier Berganda	80
5.8.4	Grafik Hubungan Korelasi Antara <i>Hummer Test, UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i>	82
5.8.5	Analisis Regresi Antara <i>Hummer Test, UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i>	83
5.9	Kesalahan Relatif Antara Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	86
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		93
6.1	Kesimpulan	93
6.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN		97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Regresi Penelitian Simatupang (2016)	6
Tabel 2.2	Hasil Regresi Penelitian Wirotama (2018)	7
Tabel 2.3	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	8
Tabel 3.1	Gradasi Agregat Kasar	14
Tabel 3.2	Faktor Pengali Deviasi Standar	17
Tabel 3.3	Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan	18
Tabel 3.4	Perkiraan Kadar Air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa Tingkat kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	20
Tabel 3.5	Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	20
Tabel 4.1	Keterangan Benda Uji	39
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	47
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar	48
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar	49
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar	49
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	50
Tabel 5.6	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	51
Tabel 5.7	Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus	52
Tabel 5.8	Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	53
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	53
Tabel 5.10	Rekapitulasi Komposisi Campuran Beton	54
Tabel 5.11	Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K225 ($f'c : 18,625 \text{ MPa}$)	54
Tabel 5.12	Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K250 ($f'c : 20,75 \text{ MPa}$)	55

Tabel 5.13 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K275 (f_c : 22,825 MPa)	57
Tabel 5.14 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K300 (f_c : 24,9 MPa)	58
Tabel 5.15 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K325 (f_c : 26,975 MPa)	59
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Uji <i>Hammer</i> Beton K225	60
Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Uji <i>Hammer</i> Beton K250	61
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Uji <i>Hammer</i> Beton K275	62
Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Uji <i>Hammer</i> Beton K300	63
Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Uji <i>Hammer</i> Beton K325	65
Tabel 5.21 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K225	66
Tabel 5.22 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K250	68
Tabel 5.23 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K275	69
Tabel 5.24 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K300	71
Tabel 5.25 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K325	72
Tabel 5.26 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasar-kan Kecepatan Gelombang	74
Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Compressive</i> , <i>Hammer</i> , dan UPV	74
Tabel 5.28 Rekapitulasi Regresi Antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	80
Tabel 5.29 Klasifikasi Nilai Koefisien Korelasi	113
Tabel 5.30 Rekapitulasi Regresi Antara UPV Test dengan <i>Compression Test</i>	84
Tabel 5.31 Persamaan Regresi Antara <i>Hammer Test</i> , UPV Test, dan <i>Compression Test</i>	118
Tabel 5.32 Persamaan Regresi Antara <i>Non-Destructive Test</i> dengan <i>Compression test</i>	120
Tabel 5.33 Kesalahan Relatif Antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil <i>Non-Destructive Test</i>	121
Tabel 5.34 Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu dengan penelitian yang dilakukan	123
Tabel 5.35 Kesalahan Relatif Antara Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Regresi	124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Kubus 150 x 150 x 150 mm)	19
Gambar 3.2	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 10 mm)	22
Gambar 3.3	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20 mm)	22
Gambar 3.4	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 40 mm)	23
Gambar 3.5	Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Bersih	24
Gambar 3.6	Pengujian UPV Secara Langsung (<i>direct</i>)	25
Gambar 3.7	Pengujian UPV Secara Semi Langsung (<i>Semi Direct</i>)	26
Gambar 3.8	Pengujian UPV Secara Tidak Langsung (<i>Indirect</i>)	26
Gambar 3.9	Skema Cara Kerja Alat UPV	27
Gambar 3.10	Skema Cara Kerja Alat <i>Hammer</i>	28
Gambar 3.11	Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	30
Gambar 4.1	Semen	33
Gambar 4.2	Pasir	33
Gambar 4.3	Agregat Kasar	33
Gambar 4.4	Air	34
Gambar 4.5	Saringan Agregat	34
Gambar 4.6	Timbangan	35
Gambar 4.7	Neraca Ohaus	35
Gambar 4.8	Oven	35
Gambar 4.9	Concrete Mixer	36
Gambar 4.10	Kerucut Abrams	36
Gambar 4.11	Bekisting Kubus	37
Gambar 4.12	Clamp F	37
Gambar 4.13	Mesin Uji Tekan	37

Gambar 4.14 Alat <i>Hammer Test</i>	38
Gambar 4.15 Alat UPV	38
Gambar 4.16 Skema Titik Pengujian UPV	41
Gambar 4.17 Kalibrasi Alat Pengujian UPV	42
Gambar 4.18 Penjepitan Benda Uji Menggunakan Clamp F	43
Gambar 4.19 Tampilan Layar <i>Hammer Test</i>	43
Gambar 4. 20 Diagram alur penelitian	45
Gambar 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K225	55
Gambar 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K250	56
Gambar 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K275	57
Gambar 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K300	58
Gambar 5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K325	59
Gambar 5.6 Regresi Benda Uji Kubus K225 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	77
Gambar 5.7 Regresi Benda Uji Kubus K250 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	78
Gambar 5.8 Regresi Benda Uji Kubus K275 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	78
Gambar 5.9 Regresi Benda Uji Kubus K300 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	79
Gambar 5.10 Regresi Benda Uji Kubus K325 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	79
Gambar 5.11 Gabungan Regresi antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	80
Gambar 5.12 Regresi Benda Uji Kubus K225 antara UPV <i>Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	81
Gambar 5.13 Regresi Benda Uji Kubus K250 antara UPV <i>Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	81
Gambar 5.14 Regresi Benda Uji Kubus K275 antara UPV <i>Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	82
Gambar 5.15 Regresi Benda Uji Kubus K300 antara UPV <i>Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	82

Gambar 5.16 Regresi Benda Uji Kubus K325 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	83
Gambar 5.17 Gabungan Regresi antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	84
Gambar 5.18 Grafik korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dengan <i>Compression</i> <i>Test</i> Variasi K225	115
Gambar 5.19 Grafik korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dengan <i>Compression</i> <i>Test</i> Variasi K250	116
Gambar 5.20 Grafik korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dengan <i>Compression</i> <i>Test</i> Variasi K275	116
Gambar 5.21 Grafik korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dengan <i>Compression</i> <i>Test</i> Variasi K300	117
Gambar 5.22 Grafik korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dengan <i>Compression</i> <i>Test</i> Variasi K325	117
Gambar 5.23 Grafik korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dengan <i>Compression</i> <i>Test</i> Seluruh Variasi Benda Uji	119

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium	131
Lampiran 2 Laporan Hasil Sementara Perencanaan Campuran	132
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Uji <i>Hammer Test</i>	137
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Uji <i>UPV</i>	167
Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian	172

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SNI	= Standar Nasional Indonesia
UPV	= <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>
NDT	= <i>Non Destructive Test</i>
$f'c$	= Kuat tekan beton (MPa)
MPa	= Megapascal
M	= Nilai tambah
Sr	= Deviasi Standar
W	= Kadar air bebas
Wh	= Perkiraan air untuk agregat halus
Wk	= Perkiraan air untuk agregat kasar
BJAG	= Berat jenis aegat gabungan
BJAK	= Berat jenis agregat kasar
%AH	= Persentase agregat halus
%AK	= Persentase agregat kasar
P	= Beban Maksimum
A	= Luas penampang benda uji (mm ²)

ABSTRAK

Sepanjang usia bangunan beroperasi, adakalanya bangunan mengalami perubahan fungsi, bencana alam, atau bangunan mencapai usia tertentu. Oleh sebab itu, penting untuk melakukan pemeriksaan keberlanjutan fungsi bangunan. Pengujian pada material bangunan merupakan salah satu pemeriksaan dalam keberlanjutan fungsi bangunan. Metode pengujian yang paling efektif adalah pengujian *destructive test* berupa *core drill* dilanjutkan dengan *compression test*. Namun pengujian tersebut adakalanya tidak dapat dilakukan karena dikhawatirkan dapat menurunkan performa struktur bangunan dan memerlukan biaya yang lebih tinggi. Sehingga metode *non-destructive test* menjadi alternatif pengujian agar tidak merusak struktur bangunan. Studi ini dilakukan untuk memperoleh korelasi antara *compression test* dengan *non-destructive test* berupa *hammer test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test*. Sampel yang digunakan berupa kubus K225, K250, K275, K300, dan K325 dengan umur 28 hari. Jumlah sampel adalah 60 dengan masing – masing variasi mutu berjumlah 12 sampel.

Hasil penelitian menunjukkan nilai *compression test* rata – rata pada K225 adalah 18,67 MPa, K250 adalah 23,20 MPa, K275 adalah 23,04 MPa, K300 adalah 25,20 MPa, serta K325 adalah 28,06 MPa. Nilai rata – rata hasil *hammer test* adalah 18,71 untuk K225, 19,89 untuk K250, 19,70 untuk K275, 21,50 untuk K300, serta 21,31 untuk K325. Nilai rata – rata hasil *UPV test* K225 adalah 4335,55 m/s, K250 adalah 4303,90 m/s, K275 adalah 4218,97 m/s, K300 adalah 4388,31 m/s, serta K325 adalah 4353,194 m/s. Serta didapatkan hubungan korelasi antara *hammer test* dengan *compression test* berupa $Y = -0,339X^2 + 16,087X - 163,05$ ($R^2 = 0,58371$), *UPV test* dengan *compression test* berupa $Y = -0,339X^2 + 16,087X - 163,05$ ($R^2 = 0,58371$), dan *hammer test*, *UPV test* dengan *compressive test* berupa $Y = -26,231 + 1,482X_1 + 0,00X_2$ ($R^2 = 0,405$).

Kata kunci : *Non-Destructive Test, Destructive Test, Hammer Test, UPV Test, Compression Test, Korelasi.*

ABSTRACT

Throughout the lifespan of a building's operation, there are times when the building undergoes changes in function, natural disasters, or reaches a certain age. Therefore, it is important to conduct assessments of the building's functional sustainability. Testing on building materials is one of the evaluations in maintaining the building's functional sustainability. The most effective testing method is conducting destructive tests such as core drilling followed by a compression test. However, these tests cannot be performed due to concerns about potentially compromising the structural performance of the building and incurring higher costs. Therefore, non-destructive testing methods become an alternative to assess the building's condition without causing damage. In this study, testing was conducted to establish a correlation between compression tests and non-destructive tests, namely the hammer test and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test. The samples used were cubic specimens of K225, K250, K275, K300, and K325 with an age of 28 days. A total of 60 samples were used, with each quality variation consisting of 12 samples.

The research results indicate that the average compression test value for K225 is 18,67 MPa, K250 is 23,20 MPa, K275 is 23,04 MPa, K300 is 25,20 MPa, and K325 is 28,06 MPa. The average hammer test results are 18,71 for K225, 19,89 for K250, 19,70 for K275, 21,50 for K300, and 21,31 for K325. The average UPV test results for K225 are 4335,55 m/s, K250 is 4303,90 m/s, K275 is 4218,97 m/s, K300 is 4388,31 m/s, and K325 is 4353,194 m/s. Correlation relationships were also established between the hammer test and compression test, represented as $Y = -0,339X^2 + 16,087X - 163,05$ ($R^2 = 0,58371$), between the UPV test and compression test, represented $Y = -0,00001X^2 + 0,116X - 255,28$ ($R^2 = 0,0713$), and between the hammer test, UPV test, and compressive test, represented as $Y = -26,231 + 1,482X1 + 0,00X2$ ($R^2 = 0,405$).

Keywords : *Non-Destructive Test, Destructive Test, Hammer Test, UPV Test, Compression Test. Correlation*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton umumnya terbentuk melalui pencampuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan proporsi tertentu (BSN, 2019). Beton memainkan peran penting dalam perencanaan konstruksi karena kemampuannya untuk menahan tekanan yang tinggi dan kemudahan dalam pembentukan. Permintaan yang tinggi terhadap beton untuk konstruksi menunjukkan bahwa beton adalah bahan bangunan yang paling banyak digunakan dalam era modern ini. Dengan pertumbuhan penduduk yang pesat dan kemajuan teknologi di Indonesia, minat masyarakat dalam menggunakan beton untuk konstruksi bangunan mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa beton telah menjadi komponen yang penting dalam industri konstruksi (Sumajouw dkk., 2019).

Dalam kasus perubahan fungsi bangunan eksisting, bencana alam, atau ketika bangunan mencapai usia tertentu, penting untuk melakukan pengujian keberlanjutan fungsi bangunan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menganalisis apakah bangunan eksisting tersebut masih layak digunakan atau perlu dilakukan perkuatan. Dalam menentukan keberlanjutan penggunaan suatu bangunan, struktur tersebut perlu diperiksa dan diuji. Ada berbagai metode pengujian yang dapat digunakan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton, antara lain pengujian *destructive test* (pengujian yang merusak struktur) dan *non-destructive test* (pengujian yang tidak merusak struktur). Dalam pengujian *destructive test*, pada umumnya metode digunakan adalah *core drill* kemudian dilanjutkan dengan pengujian desak (*compression test*), sedangkan pada pengujian *non-destructive test* digunakan *Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test*. Metode *destructive test* dianggap sebagai metode pengujian yang paling efektif karena nilai hasilnya mendekati nilai kuat tekan beton yang sebenarnya. Namun, terdapat beberapa kasus di mana pengujian *destructive test* tidak dapat dilakukan

Karena dikhawatirkan dapat menurunkan performa struktur bangunan dan memerlukan biaya yang lebih tinggi. Oleh karena itu, metode *non-destructive test* menjadi alternatif pengujian yang digunakan karena tidak merusak struktur bangunan dan relatif lebih ekonomis (Suseno, 2022).

Aspek keamanan merupakan syarat utama dalam pengajuan PBG. Hasil dari PBG kemudian menjadi dasar untuk mendapatkan SLF (Sertifikat Laik Fungsi). SLF menjadi dokumen yang wajib dimiliki oleh setiap bangunan gedung, baik yang baru dibangun maupun yang sudah berdiri lama. Standar kelayakan struktur bangunan ditetapkan melalui Sertifikat Laik Fungsi. Tanpa adanya SLF, sebuah gedung tidak dapat beroperasi secara legal (Suseno, 2022). Berdasarkan UU No. 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, pemilik bangunan diwajibkan untuk mengurus IMB (Ijin Mendirikan Bangunan) atau PBG (Persetujuan Bangunan Gedung). Proses pengajuan dokumen tersebut melibatkan *building structure assesment* guna memastikan faktor keamanan bangunan. Salah satu aspek pemeriksaan keamanan adalah menggunakan *non-destructive test*. Maka, pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian berupa *compression test* dan *non-destructive test* berupa *hammer test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test*. Kemudian, dari ketiga pengujian tersebut akan ditemukan suatu persamaan yang menggambarkan hubungan antara kuat tekan aktual (f'_c) dengan nilai *rebound* (R) dari *hammer test* dan nilai cepat (m/s) rambat dari *UPV test*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, maka diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil pengujian kekuatan tekan beton dengan mutu sedang menggunakan metode uji tekan, dan nilai *rebound* dari *hammer test*, serta kecepatan rambat gelombang dari uji *ultrasonik pulse velocity (UPV)*.
2. Bagaimana persamaan regresi antara nilai kuat tekan beton dengan menggunakan nilai hasil uji *hammer test* dan *UPV (ultrasonic pulse velocity) test* dengan *compression test* pada benda uji beton dengan variasi mutu beton sedang (K225, K250, K275, K300, dan K325).
3. Bagaimana hubungan (korelasi) antara nilai kuat tekan beton dengan menggunakan nilai hasil uji *hammer test* dan *UPV (ultrasonic pulse velocity)*

test dengan *compression test* pada benda uji beton dengan variasi mutu beton sedang (K225, K250, K275, K300, dan K325).

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan tersebut, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Memperoleh hasil pengujian kekuatan tekan beton dengan mutu sedang menggunakan metode uji tekan, dan nilai *rebound* dari *hammer test*, serta kecepatan rambat gelombang dari uji *ultrasonik pulse velocity* (UPV).
2. Memperoleh persamaan regresi antara nilai kuat tekan beton dengan menggunakan nilai hasil uji *hammer test*, UPV (*ultrasonic pulse velocity*) *test* dan *compression test* pada benda uji beton dengan mutu sedang.
3. Memperoleh hubungan (korelasi) antara nilai kuat tekan beton dengan menggunakan nilai hasil uji *hammer test*, UPV (*ultrasonic pulse velocity*) *test* dan *compression test* pada benda uji beton dengan mutu sedang.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan dan pemahaman dalam pengujian beton *hammer test*, UPV, dan *compression test*
2. Penelitian ini berpotensi untuk mengetahui kelayakan suatu bangunan berdasarkan persyaratan yang telah ditetapkan.
3. Penelitian ini memiliki potensi untuk mengidentifikasi masalah pada struktur beton, sehingga memungkinkan dilakukannya tindakan perbaikan sebelum kerusakan mencapai tingkat yang lebih parah.

1.5 Batasan Masalah

Batasan penelitian yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Analisis dilakukan dengan menggunakan sampel kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm.
2. Analisis menggunakan variasi campuran beton mutu sedang yaitu K225, K250, K275, K300, dan K325.

3. Umur beton yang akan diuji adalah 28 hari.
4. Pengujian dilakukan dengan metode *compression test* dan metode NDT (*non-destructive test*) berupa *hammer test* serta UPV (*ultrasonic pulse velocity*).
5. Alat *hammer test* yang digunakan adalah merk *Control* seri 58-C0181/DGT dan alat UPV yang digunakan adalah merk *Proceq*
6. Benda uji berupa kubus dengan jumlah 60 sampel.
7. Desain campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000.
8. Material dalam desain campuran beton adalah sebagai berikut.
 - a. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *Portland* tipe 1 dengan merk Gresik.
 - b. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Merapi.
 - c. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Sungai Progo
 - d. Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang berasal dari Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan literatur pada penelitian sebelumnya dilakukan dengan tujuan untuk menemukan informasi yang relevan atau terkait dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Dengan melihat tinjauan literatur, penulis dapat melakukan perbandingan atau komparasi terhadap objek penelitian yang telah diteliti sebelumnya, sehingga menghindari pengulangan penelitian yang serupa.

2.2 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini, studi pustaka dilakukan untuk memperoleh pemahaman tentang perkembangan penelitian sebelumnya yang terkait dengan korelasi antara nilai pengujian *hammer* dan UPV terhadap nilai kuat beton.

Dalam penelitian Mohammad, R (2009), dilakukan penelitian mengenai *non-destructive test* (NDT) dengan menggunakan metode *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan persamaan korelasi antara metode pengujian tersebut dengan berbagai parameter beton, termasuk agregat, semen, dan faktor-faktor lainnya.

Berdasarkan hasil tes pada benda uji, diketahui bahwa penggunaan metode kombinasi untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dengan memanfaatkan hasil *hammer test* (R) dan hasil UPV test lebih baik daripada hanya mengandalkan salah satu nilai tersebut. Secara umum, nilai metode kombinasi ini dapat diperoleh melalui analisis multi regresi yang dapat digambarkan dalam bentuk diagram tiga dimensi.

$$S = k_1 + k_2UPV + k_3R \quad (2.1)$$

Dimana k_1 , k_2 , dan k_3 adalah konstanta empiris. dituliskan persamaan korelasi antara UPV, *rebound hammer* dan *compression test* sebagai berikut.

$$C = 0.0148UPV + 0.5285R - 43.32$$

Penelitian yang dilakukan oleh Simatupang (2016) bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara hasil pengujian kuat tekan beton menggunakan alat *compression strength machine (compression test)* dan pengujian *non-destructive test* menggunakan alat *hammer test* dan UPV test.

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan antara hasil pengujian menggunakan *hammer test* dan *compression test*. Oleh karena itu, diperlukan suatu faktor pengali atau konstanta untuk memperoleh nilai kuat tekan beton yang akurat. Berikut ini adalah hasil regresi yang diperoleh melalui penelitian tersebut.

Tabel 2.1 Hasil Regresi Penelitian Simatupang (2016)

Benda Uji	Mutu Beton	Persamaan
Silinder	K-175	$C = -787.269 + 4.5962H + 0.1191U$
	K-225	$C = -710.025 + 1.0406H + 0.11508U$
	K-250	$C = 471.838 - 1.7425H + 0.0922U$
Kubus	K-175	$C = 259.677 - 0.6250H + 0.0213U$
	K-225	$C = 501.952 - 0.2036H - 0.0403U$
	K-250	$C = 832.988 - 0.5908H - 0.0971U$

$C =$ *Compression strength* (kg/cm^2), $H =$ *Rebound number* (kg/cm^2), $U =$ *ultrasonic pulse velocity* (m/s).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Wirotama (2018), dengan tujuan untuk mengevaluasi hubungan antara pengukuran kekuatan tekan beton melalui metode uji *hammer*, uji *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*, dan uji kuat tekan (*compression test*) pada sampel beton dengan berbagai tingkatan mutu beton ($f'c$).

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan antara hasil pengujian *non-destructive test* berupa *hammer test* dan UPV test dengan *compression test*. Oleh karena itu, faktor pengali atau konstanta diperoleh untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang akurat. Berikut ini merupakan hasil regresi yang diperoleh melalui penelitian tersebut

Tabel 2.2 Hasil Regresi Penelitian Wirotama (2018)

Benda Uji	Mutu Beton	Persamaan Regresi
Silinder	20 MPa	$Y = 37,517 - 0,413X_1 - 0,413X_2$
	25 MPa	$Y = 79,749 + 1,519X_1 + 0,021X_2$
	30 MPa	$Y = -77,420 + 0,046X_1 + 0,023X_2$
	35 MPa	$Y = -4,708 + 0,051X_1 + 0,006X_2$
	Gabungan	$Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021X_2$
Kubus		$Y = -132,711 + 0,339X_1 + 0,033X_2$

$Y = \text{Compression test}$, $X_1 = \text{hammer test}$, $X_2 = \text{ultrasonic pulse velocity}$.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Manopo (2019) dengan tujuan utamanya adalah untuk menentukan persamaan regresi antara UPV *test*, *hammer test*, dan *compression test* pada beton silinder dengan diameter 3" dan 6".

Hasil dari penelitian ini adalah diperolehnya persamaan regresi dari hubungan ketiga metode yang dilakukan diantaranya pengujian UPV, pengujian *hammer*, dan pengujian kuat desak pada mutu beton 25 MPa. Persamaan dari pengujian tersebut ditulis sebagai berikut. $Y = -44,42541145 + X_1 * 0,364325668 + X_2 * 0,016144329$. Keterangan : $Y = \text{compression test}$, $X_1 = \text{hammer test}$, $X_2 = \text{UPV test}$.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mudhatsir H (2020) berjudul "Studi Perbandingan Hasil Uji UPV dan *Schmidt Hammer Test*," tujuannya adalah untuk mengevaluasi nilai kuat tekan beton dan menghubungkan hasil kuat tekan dari pengujian dengan *Schmidt Hammer* dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengujian mutu dengan UPV menghasilkan nilai kuat tekan paling rendah, sementara pengujian dengan Core Drill menghasilkan nilai kuat tekan paling tinggi. Berikut ini adalah hasil nilai korelasi antara ketiga metode pengujian.

$$UPVT = 0,93 HT, UPVT = 0,6 CD, HT = 0,64 CD.$$

2.3 Perbandingan Penelitian

Perbandingan penelitian disajikan dalam Tabel 2.1 yang dapat dilihat di halaman berikutnya.

Tabel 2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Mohammad, R (2009)	Simatupang (2016)	Wirotama (2018)	Manopo (2019)	Mudhatsir H (2020)	Widodo (2023)
Judul penelitian	<i>Statistical Case Study On Schmidt Hammer, Ultrasonic and Core Compression Strength Test</i>	Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton antara <i>Hammer Test, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), dan Compression Test</i>	Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan <i>Non-Destructive Test dan Destructive Test</i>	Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton dari Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), Hammer Test, dan Compression Test</i>	Studi Perbandingan Hasil Uji UPV dan <i>Schmidt Hammer Test</i>	Korelasi Antara Hasil Pengujian <i>Hammer</i> dan UPV Dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Mutu Sedang
Tujuan Penelitian	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh persamaan korelasi yang melibatkan berbagai parameter beton seperti agregat, semen, dan faktor-faktor lainnya.	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai korelasi antara hasil pengujian kuat tekan beton di laboratorium menggunakan alat <i>compression strength machine</i> dengan pengujian yang tidak merusak menggunakan alat <i>hammer test</i> dan UPV test.	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami hubungan atau korelasi antara pembacaan nilai kuat tekan beton dengan menggunakan <i>hammer test, UPV, dan kuat tekan pada benda uji beton</i> yang memiliki variasi mutu beton (f_c).	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi persamaan regresi antara pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), hammer test, dan compression test</i> pada beton silinder dengan diameter 3" dan 6".	Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melakukan evaluasi terhadap nilai kuat tekan beton dan menghasilkan hubungan antara hasil kuat tekan yang diperoleh dari pengujian menggunakan <i>Schmidt Hammer</i> dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)</i> .	Memperoleh hubungan (korelasi) antara nilai kuat tekan beton dengan menggunakan <i>hammer test, UPV (ultrasonic pulse velocity) test</i> dan <i>Compression Test</i> pada benda uji beton dengan mutu sedang.

Lanjutan Tabel 2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Mohammad, R (2009)	Simatupang (2016)	Wirotama (2018)	Manopo (2019)	Mudhatsir H (2020)	Widodo (2023)
Parameter Uji	Kuat tekan, <i>hammer test</i> , UPV test.	Kuat tekan, <i>hammer test</i> , UPV test.	Kuat tekan, <i>hammer test</i> , UPV test.	Kuat tekan, <i>hammer test</i> , UPV test.	Kuat tekan, <i>hammer test</i> , UPV test.	Kuat tekan, <i>hammer test</i> , UPV test.
Benda Uji	Beton silinder diameter 4 inci.	Beton silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm dan kubus ukuran 15x15x15	Beton silinder Beton silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm	Beton silinder diameter 3 inci dan 6 inci	Beton silinder <i>core drill</i> Stadion Barombong	Beton kubus K225, K250, K275, K300, K325
Hasil Uji	Dari hasil tes terhadap benda uji, nilai regresi untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dari metode kombinasi dalam hal ini adalah hasil <i>hammer test</i> (R) dan hasil UPV <i>test</i> lebih baik daripada hanya menggunakan salah satu nilai	Hasil dari penelitian ini adalah terjadi perbedaan antara hasil <i>hammer test</i> dan <i>compression test</i> . Sehingga untuk mengetahui nilai kuat tekan beton diperlukan suatu faktor pengali atau konstanta.	Hasil dari penelitian ini terjadi perbedaan antara hasil non- <i>destructive test</i> dan <i>destructive test</i> . Sehingga untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton diperlukan suatu faktor pengali atau konstanta.	Hasil dari penelitian ini adalah diperolehnya persamaan regresi dari 3 metode pengujian pada mutu beton 25 MPa. Persamaan dari pengujian tersebut adalah sebagai berikut, $Y = -44,42541145 + X1*0,364325668 + X2*0,016144329.$	Hasil dari penelitian ini adalah hasil pengujian mutu uji UPV memiliki mutu uji paling rendah, sedangkan mutu hasil <i>Core Drill</i> memiliki mutu paling besar.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah campuran berbagai bahan, termasuk semen *Portland*, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), dan air. Bahan tambahan (*additive*) juga dapat digunakan sesuai kebutuhan. Campuran ini membentuk massa padat sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI-03-2847-2002). Ketika semen *Portland* dan air bereaksi secara kimia, mereka membentuk pasta yang mengisi rongga-rongga di antara butiran pasir dan krikil. Agregat halus dan kasar berfungsi sebagai bahan pengisi yang diikat oleh pasta, tetapi tidak mengalami proses kimia. Beton mencapai kekuatan tekan yang direncanakan ($f'c$) setelah mengalami pengerasan dan perawatan selama 28 hari.

Kelebihan dan kekurangan beton dalam pekerjaan konstruksi, menurut Tjokrodinuljo (2007), adalah sebagai berikut.

1. Kelebihan.
 - a. Beton menggunakan bahan dasar yang umumnya mudah didapatkan, sehingga memiliki harga yang relatif terjangkau.
 - b. Beton memiliki ketahanan terhadap karat dan pembusukan akibat kondisi lingkungan, sehingga memerlukan sedikit perawatan dan pemeliharaan.
 - c. Beton memiliki kuat tekan yang cukup tinggi. Ketika disatukan dengan tulangan baja yang mempunyai kekuatan tarik tinggi, beton dan baja tulangan akan membentuk satu kesatuan struktur yang kuat, mampu menahan gaya tekan maupun tarik.
 - d. Beton segar mudah dicetak sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Fleksibilitas ini memudahkan proses konstruksi dan memungkinkan berbagai bentuk struktur yang kompleks.

2. Kekurangan.
 - a. Beton memiliki kekuatan tarik yang relatif rendah dibandingkan dengan kekuatan tekannya. Oleh karena itu, dalam struktur yang mengalami gaya tarik yang signifikan, biasanya digunakan baja tulangan untuk meningkatkan kekuatan tarik beton.
 - b. Rentan terhadap retak: Beton dapat rentan terhadap retakan atau retak akibat gaya yang berlebihan, perubahan suhu, atau perubahan kelembaban. Untuk mengatasi masalah ini, seringkali diperlukan penambahan serat atau penggunaan teknik tambahan seperti perkuatan struktural.
 - c. Beton memiliki berat yang relatif tinggi, sehingga dapat memberikan beban sendiri yang signifikan pada struktur. Hal ini perlu diperhitungkan dalam perencanaan dan desain struktur.
 - d. Beton membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengering dan mencapai kekuatan yang optimal. Oleh karena itu, waktu pengerasan dan perawatan selama proses ini harus diperhatikan dengan cermat.

Dalam praktek konstruksi, kelebihan dan kekurangan ini menjadi pertimbangan penting dalam memilih dan mengelola penggunaan beton untuk memastikan keandalan dan kualitas struktur yang dibangun.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton adalah elemen yang digunakan baik dalam struktur bangunan maupun dalam elemen non-struktural. Beton terdiri dari campuran beberapa bahan penyusun yang memiliki standar yang telah ditetapkan sebagai pedoman dalam perencanaan dan pembuatan beton. Bahan-bahan penyusun ini memiliki peran penting dalam memberikan karakteristik yang spesifik pada beton. Berikut ini adalah penjelasan mengenai bahan-bahan penyusun beton.

3.2.1 Semen

Semen ialah materi yang memiliki sifat yang melekat dan saling berikat antar butiran mineral, membentuk suatu bahan padat (Kristiandono, 2019). Seperti yang dijelaskan dalam SNI 15-2049-2004, semen *Portland* adalah jenis semen hidrolis yang diproduksi dengan cara menggiling terak semen *Portland* yang terutama terdiri dari kalsium silikat yang mudah dihidrolisis. Terak tersebut digiling

bersama-sama dengan bahan tambahan, seperti senyawa kalsium sulfat dalam bentuk kristal, dan dapat ditambahkan dengan bahan tambahan lainnya.

Teknologi semen telah diterapkan sejak masa kuno Mesir, Yunani, dan Romawi, menggunakan bahan perekat sederhana seperti gypsum, batu kapur, gamping, dan abu vulkanik. Bahan-bahan utama yang digunakan dalam produksi semen terdiri dari bahan yang mengandung mineral kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), serta oksida besi (Fe_2O_3). Di Indonesia, dalam industri semen, komponen-komponen seperti tanah liat, batu kapur, pasir silika, dan pasir besi digunakan sebagai bahan baku.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, semen *Portland* dibedakan menjadi lima jenis berdasarkan jenis dan penggunaannya. Berikut adalah penjelasan singkat mengenai masing-masing jenis semen *Portland*.

1. Jenis I adalah semen *Portland* yang secara umum tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang diperlukan oleh jenis-jenis semen lainnya. Jenis ini digunakan dalam aplikasi umum yang tidak memiliki kebutuhan khusus terhadap sifat-sifat tertentu.
2. Jenis II adalah semen *Portland* yang digunakan dalam kondisi penggunaan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi yang sedang. Sifat-sifat ini penting dalam lingkungan dengan kandungan sulfat yang tinggi atau dalam aplikasi yang memerlukan kontrol terhadap kalor yang dihasilkan selama proses hidrasi.
3. Jenis III adalah semen *Portland* yang digunakan dalam kondisi penggunaan yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi setelah proses pengikatan terjadi. Jenis ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan awal yang cepat, seperti dalam konstruksi cepat atau dalam situasi di mana beban awal harus ditanggung dengan segera.
4. Jenis IV adalah semen *Portland* yang digunakan dalam kondisi penggunaan yang memerlukan kalor hidrasi rendah. Jenis ini cocok untuk aplikasi di mana pengontrolan terhadap kalor yang dihasilkan selama proses hidrasi sangat penting, seperti dalam konstruksi massal atau beton yang sangat tebal.
5. Jenis V adalah semen *Portland* yang digunakan dalam kondisi penggunaan yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Jenis ini cocok untuk

lingkungan dengan kandungan sulfat yang tinggi atau dalam aplikasi di mana perlindungan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh sulfat sangat penting.

3.2.2 Agregat

Agregat merupakan komponen dengan persentase tertinggi dalam campuran beton jika dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya. Secara umum, sekitar 70% hingga 80% dari volume total campuran beton didominasi oleh agregat. Hal ini mencerminkan peran yang sangat penting serta pengaruh agregat terhadap sifat-sifat beton, sebagaimana diuraikan oleh Mindess et al. (2003). Pemilihan agregat yang tepat dalam campuran beton memiliki dampak signifikan, di mana gradasi yang cocok diperlukan untuk memastikan bahwa seluruh massa beton dapat bekerja bersama sebagai suatu kesatuan yang padu, seragam, dan konsisten, sesuai penjelasan dari Nawy (1998). Pentingnya gradasi yang baik pada agregat ini menciptakan kepadatan optimal dalam beton serta berpengaruh pada kemampuan beton dalam hal kekuatan, kekakuan, rentan retak, dan ketahanan terhadap beban. Berdasarkan dimensinya, agregat dapat digolongkan menjadi dua jenis.

1. Agregat Halus

Agregat halus adalah jenis agregat dengan ukuran butir maksimum 5,00 mm, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 03-2834-2000. Agregat halus biasanya terdiri dari pasir alam yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu (stone crusher) dan terbentuk secara alami melalui disintegrasi batuan. Ukuran butir agregat halus kurang dari 5,00 mm dan melewati saringan No.200, namun tertahan pada saringan No.4. Pada PBI 1971, terdapat syarat-syarat untuk agregat halus, yaitu.

- a. Agregat halus harus memiliki butiran yang kuat dan tahan terhadap perubahan cuaca, seperti paparan sinar matahari yang panas dan hujan.
- b. Agregat halus tidak boleh mengandung komponen organik yang berlebihan.
- c. Kandungan lumpur dalam agregat halus tidak boleh melebihi 5% dari berat kering agregat. Jika melebihi batas ini, Sebelum digunakan, agregat harus menjalani tahap pembersihan terlebih dahulu.

d. Agregat halus harus memiliki variasi butiran yang sesuai, dan proses pengayakan harus dilakukan menggunakan saringan yang telah ditetapkan dalam PBI 1971 pasal 3.4 ayat 1 berikut ini.

- 1) Jumlah agregat halus yang tertahan minimal 2% dari total berat agregat halus pada saringan 4 mm.
- 2) Jumlah agregat halus yang tertahan minimal 10% dari total berat agregat halus pada saringan 1 mm.
- 3) Jumlah agregat halus yang tertahan berkisar antara 80% hingga 90% pada saringan 0,25 mm.
- 4) Syarat-syarat tersebut diterapkan untuk memastikan kualitas dan karakteristik agregat halus yang digunakan dalam campuran beton.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar umumnya merujuk pada batuan atau kerikil dengan ukuran antara 4,75 mm hingga 50 mm. Menurut ketentuan dalam SNI 03-1969-2008, agregat kasar merujuk pada hasil proses disintegrasi alami batuan atau pecahan batu yang diperoleh dari kegiatan industri pemecah batu. Ukuran butirnya berkisar antara 4,75 mm hingga 40 mm. Distribusi ukuran partikel dalam agregat kasar, yang dikenal dengan istilah gradasi, memiliki dampak yang penting pada sifat-sifat seperti keluwesan pengolahan, kepadatan, dan juga biaya dalam pembuatan beton, sebagaimana dibicarakan oleh Aji dan Purwono (2011). Spesifikasi mengenai gradasi yang harus ditemui oleh agregat kasar sesuai standar SNI 03-2834-2000 dijelaskan dalam Tabel 3.1 seperti yang berikut ini.

Tabel 3.1 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	35-70	95-100
10	10-40	30-60
4,8	0-5	0-10

Persyaratan dalam gradasi ini digunakan untuk memastikan bahwa agregat kasar memenuhi standar yang ditetapkan dan sesuai dengan kebutuhan dalam campuran beton. Dalam pembuatan beton, terdapat persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat kasar sesuai dengan PBI 1971, antara lain:

- a. Agregat kasar harus memiliki pori-pori sebesar 20% dari total berat agregat dan memiliki ketahanan terhadap suhu panas dan dingin. Ini penting untuk memastikan agregat kasar tidak rentan terhadap kerusakan akibat perubahan suhu.
- b. Kandungan lumpur dalam agregat kasar tidak boleh melebihi 1% dari berat agregat kering. Jika kandungan lumpur melebihi batas ini, agregat harus dicuci hingga kandungan lumpur berkurang.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan kimia yang dapat merusak beton. Hal ini penting untuk menjaga kestabilan dan kualitas beton yang dihasilkan.
- d. Ukuran maksimum agregat kasar harus memenuhi ketentuan yang diatur dalam SNI 2847-2013. Persyaratan ukuran butir agregat kasar adalah sebagai berikut.
 - 1) Ukuran butir agregat kasar tidak boleh lebih dari $\frac{1}{5}$ dari dimensi terkecil kedua cetakan beton.
 - 2) Ukuran butir agregat kasar tidak boleh lebih dari $\frac{1}{3}$ dari tebal pelat beton.
 - 3) Ukuran butir agregat kasar tidak boleh lebih dari $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih antara tulangan atau kawat tandon prategang dalam beton.
 - 4) Dengan memenuhi persyaratan tersebut, agregat kasar dapat memberikan kontribusi yang sesuai dalam mencapai kualitas dan kekuatan yang diinginkan dalam campuran beton.

3.2.3 Air

Air memiliki peranan yang sangat penting dan memiliki biaya yang terjangkau dalam komposisi beton. Fungsi air sebagai pelumas membantu memastikan bahwa butiran agregat terdistribusi dengan baik dalam campuran beton, sehingga memudahkan proses pencampuran dan pencetakan beton. Namun,

penting untuk mengontrol jumlah air yang digunakan dalam campuran beton dengan hati-hati. Penggunaan air yang berlebihan dapat memiliki beberapa dampak negatif pada mutu beton. Salah satunya adalah fenomena yang disebut "bleeding", yaitu ketika air bergerak ke permukaan beton bersama-sama dengan semen. Hal ini dapat menyebabkan terbentuknya buih-buih dan mempengaruhi lekatan antara lapisan-lapisan beton. Selain itu, penggunaan air yang berlebihan juga dapat mengurangi kekuatan dan ketahanan beton serta meningkatkan risiko retak dan penyusutan.

Persyaratan air untuk campuran beton sebagaimana dijelaskan dalam SNI 03-6861.1-2002 adalah sebagai berikut.

1. Air harus bersih dan tidak mengandung lumpur, minyak, atau benda terapung lainnya. Hal ini penting agar air tidak mencemari campuran beton dan mempengaruhi kualitas serta kekuatan beton yang dihasilkan.
2. Air tidak boleh mengandung garam-garam perusak seperti asam dan zat organik dalam jumlah yang melebihi 0,5 gram per liter. Garam-garam perusak ini dapat merusak beton dan mengurangi umur pakai serta kekuatannya.
3. Kandungan benda-benda tersuspensi dalam air tidak boleh melebihi 2 gram per liter. Benda-benda tersuspensi seperti partikel-partikel padat dapat mengganggu kinerja beton dan menyebabkan masalah seperti segregasi atau pengendapan yang tidak merata.
4. Air tidak boleh mengandung klorida dalam jumlah yang melebihi 0,5 gram per liter. Klorida dapat menyebabkan korosi pada material baja yang digunakan dalam struktur beton, sehingga adanya batasan kandungan klorida bertujuan untuk melindungi integritas struktural beton.
5. Air tidak boleh mengandung senyawa sulfat dalam jumlah yang melebihi 1 gram per liter. Kandungan sulfat yang tinggi dalam air dapat menyebabkan kerusakan pada beton, seperti pembengkakan dan keretakan, terutama jika terjadi reaksi antara sulfat dan beberapa komponen dalam beton.

3.3 Metode Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Tujuan dari perencanaan campuran beton (*mix design*) adalah untuk menentukan proporsi yang tepat dari setiap bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar beton yang dihasilkan memiliki kuat tekan sesuai dengan yang

direncanakan. Dalam penelitian ini, digunakan metode perencanaan campuran beton (mix design) yang sesuai dengan standar SNI 03-2834-2000. Berikut adalah langkah-langkah untuk perencanaan campuran beton.

1. Menentukan tingkat pengendalian mutu sebagai acuan untuk nilai standar deviasi. Semakin tinggi tingkat pengendalian mutu, nilai standar deviasi yang digunakan semakin kecil. Jika jumlah pengujian kurang dari 30, nilai standar deviasi perlu dikoreksi dengan menggunakan faktor pengali yang tercantum dalam Tabel 3.2. Jika data uji lapangan tidak tersedia, nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan harus kurang dari ($f'_c + 12$ MPa).

Tabel 3.2 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Standar Deviasi
<15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

Sumber: SNI 03-2834-2000

Dalam perhitungan nilai tambah (M) pada perencanaan campuran beton, dapat menggunakan persamaan 3.1 berikut.

$$M = 1,64 \times Sd \times k \quad (3.1)$$

dengan:

M = Nilai tambah (dalam satuan MPa)

1,64 = Nilai tetap yang digunakan dalam perhitungan

Sd = Deviasi standar (dalam satuan MPa)

K = Faktor pengali deviasi standar

Dalam prakteknya, nilai deviasi standar (Sd) biasanya ditentukan berdasarkan tingkat pengendalian mutu yang diinginkan dan jumlah pengujian yang dilakukan. Nilai faktor pengali (k) biasanya diperoleh dari Tabel atau pedoman yang sesuai dengan standar yang digunakan.

2. Dalam langkah ketiga perencanaan campuran beton, nilai kuat tekan beton rata-rata rencana (f_{cr}) dapat dihitung menggunakan persamaan 3.2 berikut.

$$f_{cr} = f'_c + M \quad (3.2)$$

dengan:

f_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata rencana (dalam satuan MPa)

f'_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan (dalam satuan MPa)

M = Nilai tambah (dalam satuan MPa)

3. Menentukan tipe semen yang akan diterapkan.
4. Menentukan agregat yang akan digunakan dalam pengujian agregat.
5. Memutuskan faktor perbandingan air-semen.

Langkah-langkah menentukan faktor air semen sebagai berikut:

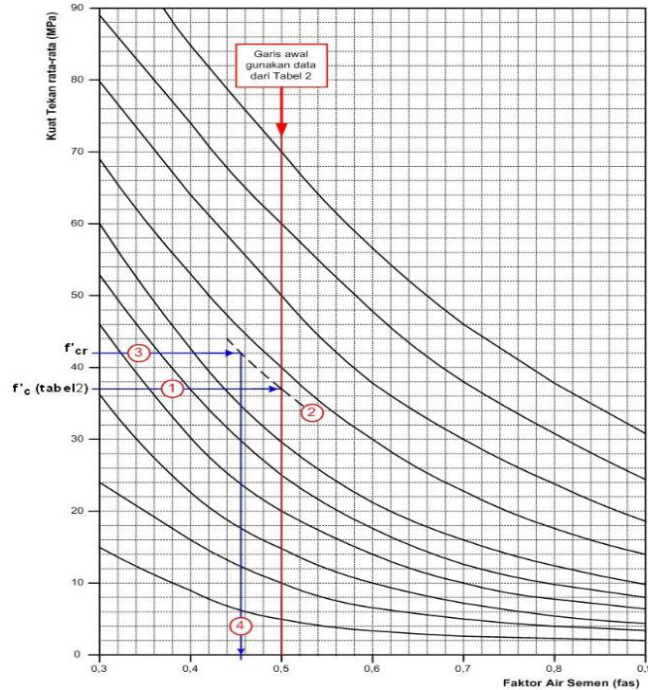
- a. Menentukan nilai kuat tekan beton yang diinginkan pada umur 28 hari berdasarkan jenis semen dan agregat yang digunakan menggunakan Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk Uji
Semen <i>Portland</i> Tipe 1 Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	23	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen <i>Portland</i> Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

- b. Menentukan kurva lengkung baru berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang didapat pada poin 7a diatas dengan faktor air semen.



Gambar 3. 1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Kubus 150 x 150 x 150 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

- c. Dengan menggunakan kurva lengkung baru pada poin 7b, kita dapat menentukan faktor air semen yang diperlukan berdasarkan kuat tekan beton rencana yang diperoleh dari poin 4.
6. Menentukan faktor air semen maksimum dengan memilih nilai terkecil antara perhitungan pada poin 7 dan poin 8.
7. Menentukan slump beton.
8. Menetapkan ukuran agregat maksimum yang ditentukan berdasarkan hasil pengujian properties agregat.
9. Menentukan Kadar air bebas dengan menggunakan Tabel 3.4 dan persamaan 3.3 yang diberikan.

Tabel 3.4 Perkiraan Kadar Air bebas (Kg/m³) yang dibutuhkan untuk beberapa Tingkat kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

<i>Slump</i> (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis Agregat	-	-	-	-
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

$$w = \frac{2}{3} wh + \frac{2}{3} wk \quad (3.3)$$

Dengan :

W = Kadar air bebas

W_h = Perkiraan air untuk agregat halus

W_k = Perkiraan air untuk agregat kasar

10. Menghitung jumlah semen kasar per m³ dengan menggunakan persamaan 3.4 berikut ini. Jumlah semen kasar per m³ beton = $\frac{\text{Kadar air bebas}}{FAS}$ (3.4)
11. Untuk menentukan proporsi agregat halus dan kasar, digunakan grafik yang terdapat di bawah ini.

Tabel 3.5 Persyaratan Jumlah Semen minimum dan Faktor Air Semmen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

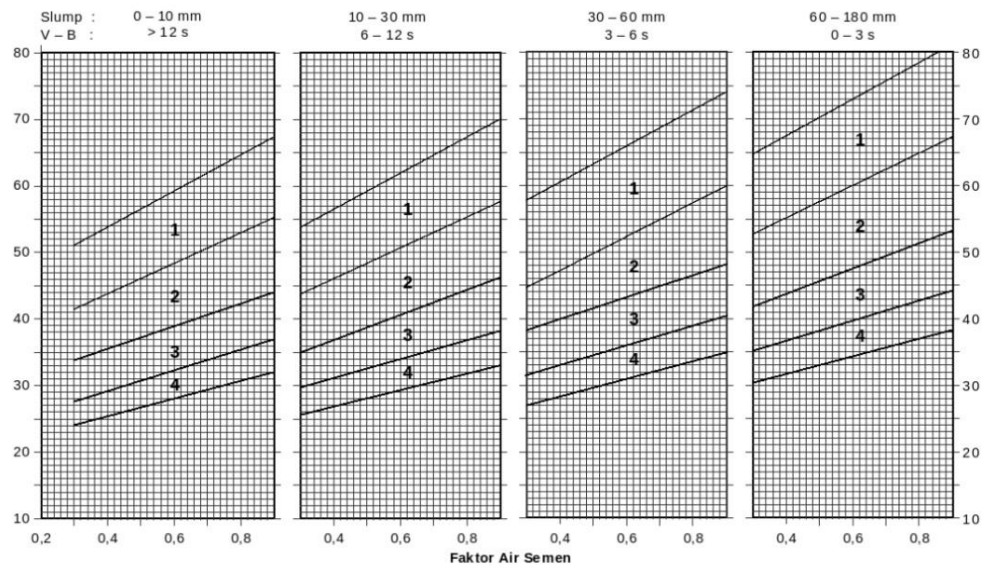
Lokasi	Jumlah Semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton didalam ruangan bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif.	325	0,52

Lanjutan Tabel 3.5 Persyaratan Jumlah Semen minimum dan Faktor Air Semmen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

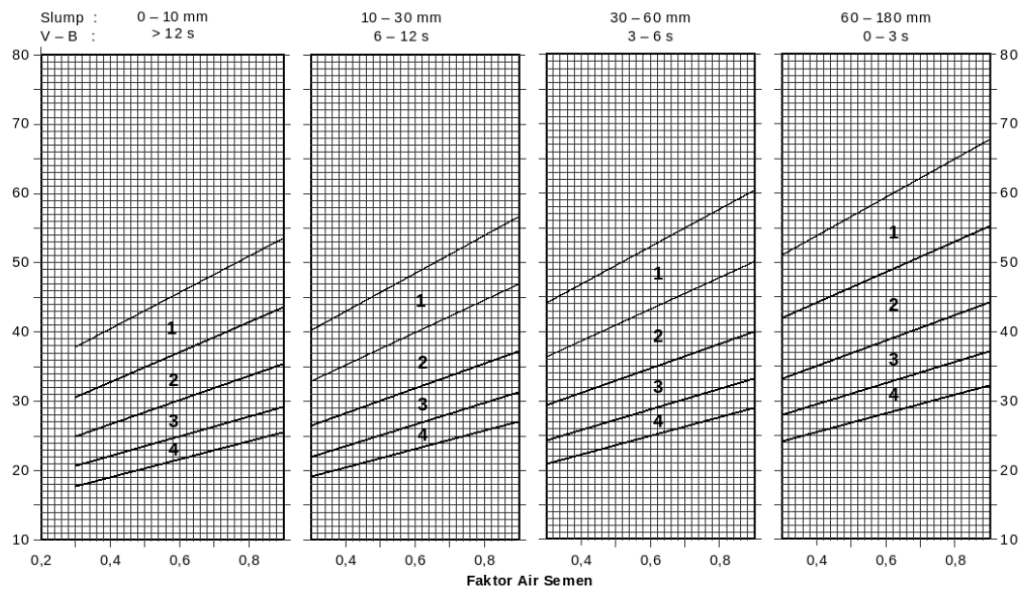
Lokasi	Jumlah Semen minimum per m³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton diluar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	274	0,60
Beton masuk kedalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

Sumber : SNI 03-2834-2000

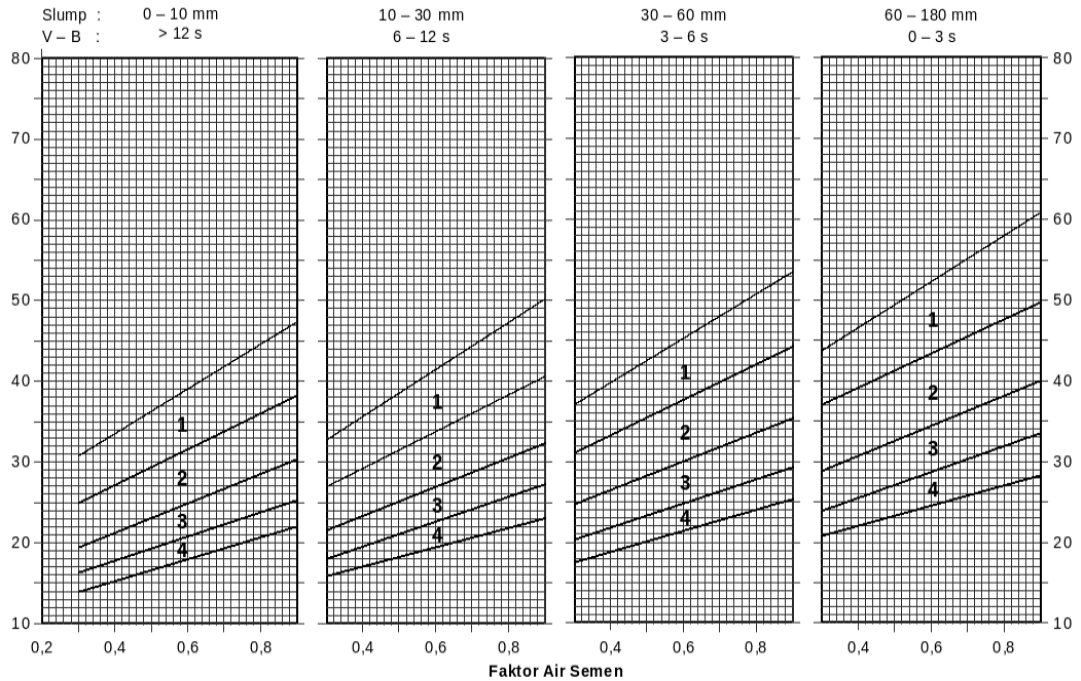
12. Menghitung jumlah semen yang akan digunakan dengan memilih jumlah semen terbesar dari hasil perhitungan, yakni jumlah semen maksimum (jika sudah ditetapkan), dan juga jumlah semen minimum.
13. Menentukan faktor air-semen yang disesuaikan dengan mempertimbangkan perubahan jumlah semen dari perhitungan poin 11 menjadi jumlah semen maksimum atau jumlah semen minimum.
14. Merencanakan distribusi ukuran partikel pada agregat halus berdasarkan hasil pengujian analisis penyaringan agregat halus.
15. Mengatur distribusi ukuran partikel pada agregat kasar dengan mengacu pada hasil analisis penyaringan agregat kasar.
16. Menentukan proporsi agregat halus melalui penggunaan Gambar 3.2 hingga Gambar 3.4. Pemanfaatan grafik disesuaikan dengan ukuran terbesar butir agregat kasar dan distribusi ukuran agregat halus.



Gambar 3.2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 10 mm)
(Sumber: SNI 3-2834-2000)



Gambar 3.3 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20 mm)
(Sumber: SNI 3-2834-2000)



Gambar 3.4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 40 mm)

(Sumber: SNI 3-2834-2000)

17. Menghitung berat jenis relatif agregat dengan persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$BJ_{AGk} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan :

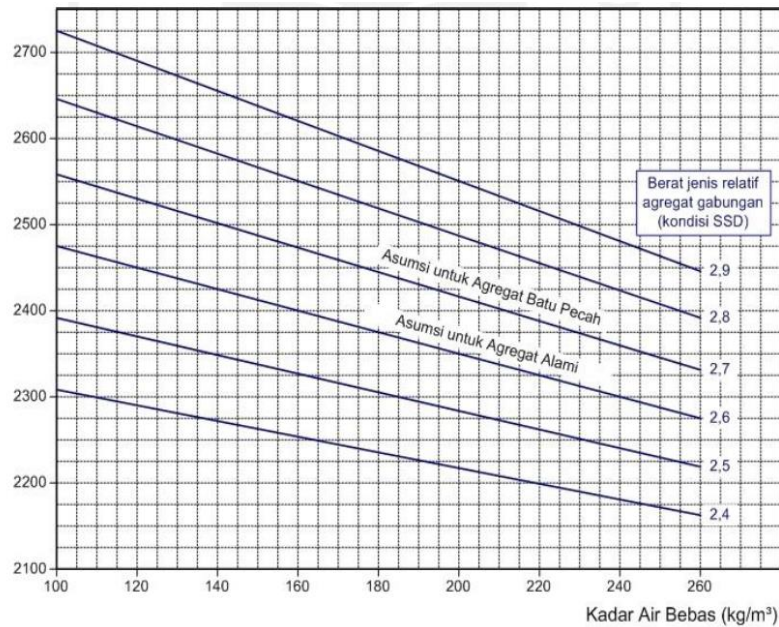
BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

$\%AH$ = Persentase agregat halus

$\%AK$ = Persentase agregat kasar

18. Menentukan berat isi beton berdasarkan kadar air bebas dan berat jenis relatif/gabungan agregat dengan menggunakan Gambar 3.5 yang terlampir.



Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Bersih

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

19. Menetapkan kadar agregat gabungan menggunakan persamaan 3.6 dibawah ini.

$$AG = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{kadar air} \quad (3.6)$$

20. Menetapkan kadar agregat halus dengan menggunakan persamaan 3.7 dibawah ini.

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ Agregat halus}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.7)$$

21. Hitung kadar agregat kasar dengan menggunakan persamaan 3.8 dibawah ini.

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ Agregat kasar}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.8)$$

3.4 UPV Test

Metode *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) adalah suatu teknik yang digunakan untuk memproyeksikan tingkat kekerasan beton berdasarkan hubungan sebaran yang cepat dari gelombang melalui struktur beton (*Internasional Atomic Energy Agency*, Vienna, 2002). Prosedur pengujian berfokus pada pengukuran kecepatan perambatan gelombang longitudinal melalui medium beton.

Selama lebih dari enam dekade, Metode *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) telah sukses digunakan untuk menilai mutu beton. Metode ini mampu mengidentifikasi retakan internal dan kelainan lainnya, serta perubahan kualitas

beton akibat variabel seperti lingkungan kimia yang korosif, proses pembekuan, dan penghentian proses pembekuan (V.M Malhotra & N.J Carino, 2004).

Metode UPV juga dapat digunakan untuk memperkirakan kemampuan beton baik dalam uji laboratorium maupun dalam situasi lapangan. Pendekatan ini tergolong dalam jenis pengujian non-destruktif karena menggunakan gelombang mekanik tanpa memberikan kerusakan pada elemen beton yang sedang diuji. Jika beton memiliki kepadatan yang rendah atau mengalami kerusakan pada butiran bahan, maka kecepatan gelombang ultrasonik (UPV) akan mengalami penurunan. Perubahan dalam kekuatan beton dapat dianalisis dari variasi dalam kecepatan gelombang ini. Penurunan dalam kecepatan mengindikasikan penurunan kekuatan beton, sedangkan peningkatan kecepatan gelombang mengacu pada peningkatan kekuatan beton (Hamidian, 2012). Perhitungan kecepatan propagasi gelombang ultrasonik dapat dicapai dengan membagi panjang gelombang (L) dengan periode gelombang (T).

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.10)$$

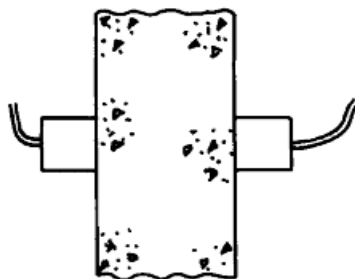
Dengan :

v = Kecepatan gelombang longitudinal (km/detik atau m/detik)

L = Panjang lintasan beton yang dilewati (km , m)

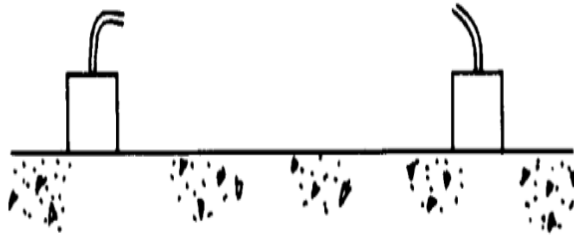
T = Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik pada sepanjang lintasan L (detik)

Ada tiga cara untuk melakukan pengujian UPV, yaitu secara langsung (*direct*), tidak langsung (*indirect*), dan semi langsung (*semi direct*). Di bawah ini, terdapat contoh gambar yang menggambarkan pelaksanaan pengujian UPV.



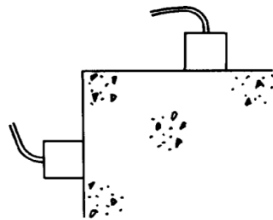
Gambar 3.6 Pengujian UPV Secara Langsung (*Direct*)

(Sumber: Bungey, 1996)



Gambar 3.7 Pengujian UPV Secara Semi Langsung (*Semi Direct*)

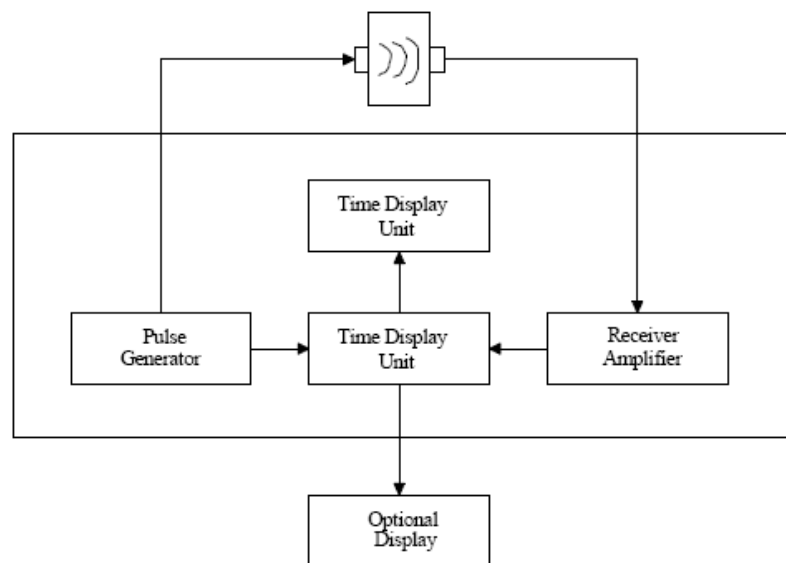
(Sumber: Bungey, 1996)



Gambar 3.8 Pengujian UPV Secara Tidak Langsung (*Indirect*)

(Sumber: Bungey, 1996)

Dasar dari prinsip UPV berhubungan dengan laju perambatan gelombang tekan melalui suatu objek, yang bergantung pada sifat elastis dan densitas benda tersebut. Menurut standar ASTM C597-02 (2003), cara UPV bekerja melibatkan pengiriman gelombang oleh transduser pengirim (transmitter) serta deteksi gelombang oleh transduser penerima (receiver) yang terletak pada jarak L dari transmitter. Alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) menampilkan durasi yang dibutuhkan oleh gelombang untuk melewati beton, yang dikenal sebagai waktu tempuh (*travel time*) Δt . Ini membuat UPV berguna untuk mengukur serta memperoleh informasi tentang keadaan beton.



Gambar 3.9 Skema Cara Kerja Alat UPV

3.5 *Hammer Test*

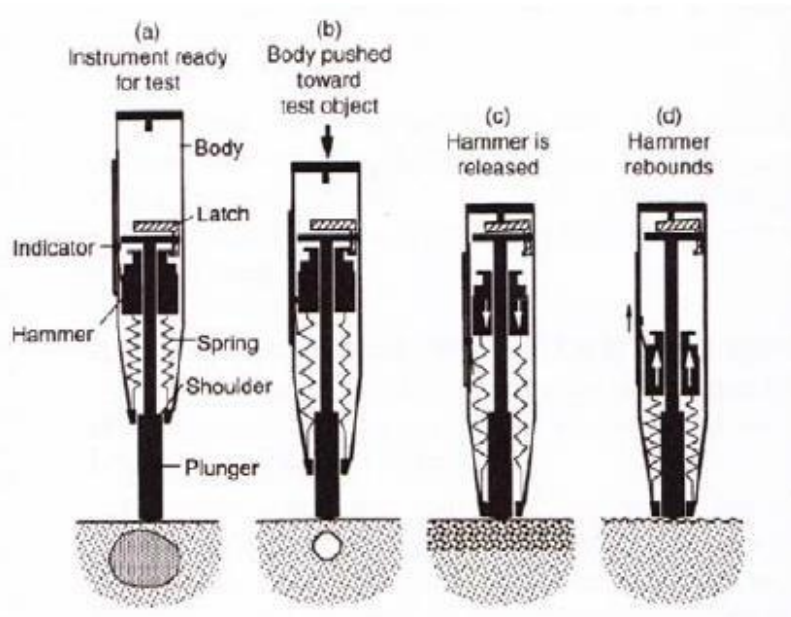
Pada tahun 1948, Ernest Schmidt, seorang insinyur, mengembangkan sebuah alat uji yang dikenal sebagai palu *rebound* (*rebound hammer*). Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengukur tingkat kekerasan beton dengan menerapkan prinsip pantulan (*rebound*) atau memberikan dampak pada permukaan beton menggunakan massa yang telah ditentukan. Praktik ini pada dasarnya adalah suatu metode pengujian kekerasan permukaan beton yang digunakan untuk memperoleh nilai *rebound*, yang kemudian dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan tekan beton melalui rumus empiris.

Menurut laporan ACI Committee, berikut adalah skema alat dan prinsip kerja pengujian *rebound hammer*.

1. Plunger ditempatkan tegak lurus di atas permukaan beton.
2. Saat pengujian dilakukan, alat akan ditekan ke dalam beton, menyebabkan pegas yang menghubungkan *hammer* (sistem massa) dengan badan alat menjadi terpanjang.
3. Ketika alat *hammer* ditekan sampai posisi maksimum, palang penahan (*latch*) secara otomatis melepaskan, dan pegas akan menarik sistem massa kembali ke arah beton.

4. Setelah pegas menarik sistem massa ke arah beton, sistem massa tersebut akan menumbuk bahu plunger dan kemudian memantul.
5. Pantulan sistem massa ini akan menggerakkan sebuah indikator geser, yang akan mencatat nilai *rebound*.

Dengan demikian, nilai *rebound* yang dicatat oleh indikator geser digunakan untuk mengevaluasi kekerasan permukaan beton dalam pengujian *rebound hammer*.



Gambar 3.10 Skema Cara Kerja Alat *Hammer*

(Sumber: ACI Committee 228 Report)

Rebound hanya dipengaruhi oleh tingkat kekerasan dari lapisan permukaan beton di sekitar pendorong. Ketika pendorong ditempatkan di atas permukaan beton yang keras, nilai *rebound* yang tercatat akan lebih tinggi. Namun, jika pendorong ditempatkan di atas permukaan beton yang lebih lembut dan mengandung rongga udara yang besar, nilai *rebound* yang tercatat akan lebih rendah. Untuk mengatasi problematika ini, pengukuran *rebound* harus diambil dalam sepuluh pengujian terpisah dengan jarak 2,5 cm antara setiap pendekatan.

Secara umum, perangkat ini dipakai untuk menguji keseragaman kualitas beton serta menganalisis perkiraan kekuatan tekan beton pada struktur bangunan. Keunggulan pengujian menggunakan palu *rebound* adalah biaya yang lebih hemat

jika dibandingkan dengan pengujian kuat tekan beton, serta proses pengukuran yang cepat, efisien, dan tidak berdampak merusak pada sampel. Meski begitu, kelemahannya terletak pada fokus pengukuran yang hanya pada karakteristik permukaan beton. Hasil uji sangat terpengaruh oleh beberapa faktor, termasuk kepadatan permukaan, jenis dan karakteristik agregat yang digunakan, tingkat kelembaban beton, derajat karbonasi, dan umur beton. Oleh karena itu, diperlukan kesadaran bahwa sampel beton yang diuji sebaiknya sejenis dan dalam kondisi yang seragam.

3.6 *Compression Test*

Kuat tekan beton ialah besaran beban per unit area yang menyebabkan pecahnya benda uji beton ketika menerima gaya khusus. Kekuatan tekan ini menggambarkan kapasitas beton dalam menahan tekanan per satuan area. Kekuatan tekan beton sering dipakai sebagai penunjuk kualitas sebuah struktur. Sifat kekuatan tekan beton adalah atribut yang sangat signifikan dalam menilai kualitas beton. Jika diperlukan kekuatan yang lebih besar untuk suatu struktur, maka mutu beton yang dihasilkan juga harus lebih baik (Mulyono, 2005).

Berikut ini adalah rumus yang digunakan dalam laboratorium untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton. Penentuan nilai kuat tekan beton juga mengacu pada standar SNI 03-1974-2011.

$$F'_c = \frac{P}{A} \quad (3.12)$$

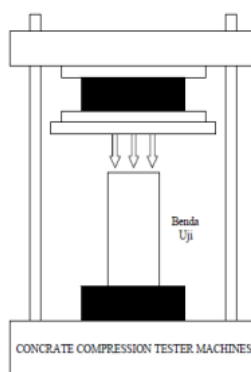
Keterangan :

F'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas Penampang (mm²)

Kekuatan tekan beton akan meningkat jika menggunakan bahan lokal berkualitas tinggi. Salah satu bahan yang perlu diperhatikan dalam susunan beton adalah agregat, karena agregat mencapai sekitar 70-75% dari volume total beton (Dipohusodo, 1996).i



Gambar 3.11 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

3.7 Regresi

Dalam konteks penelitian ini, metode analisis regresi diterapkan untuk membentuk suatu model yang menjelaskan keterkaitan antara satu atau lebih variabel independen dan variabel dependen. Dalam buku yang berjudul "Analisis Regresi dengan SPSS" yang ditulis oleh Basuki pada tahun 2015, terdapat beberapa jenis regresi yang sering digunakan dalam konteks penelitian. Beberapa jenis regresi tersebut antara lain:

1. Regresi Linear Sederhana

Regresi linear sederhana merupakan teknik statistik yang dimanfaatkan untuk mengukur tingkat hubungan antara dua variabel numerik. Dalam konteks ini, diasumsikan bahwa hubungan antara kedua variabel tersebut bersifat linier. Dalam regresi linear sederhana, hanya terdapat satu variabel independen (X) yang digunakan untuk meramalkan variabel dependen (Y).

2. Regresi Linear Berganda

Regresi linear berganda adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur korelasi antara satu variabel dependen dengan dua atau lebih variabel independen. Pada dasarnya, asumsi yang berlaku tetap bahwa hubungan antara variabel-variabel tersebut bersifat linier. Dalam regresi linear berganda, digunakan lebih dari satu variabel independen (X) untuk memprediksi variabel dependen (Y).

3. Regresi Polinomial

Regresi polinomial adalah regresi dengan sebuah variabel bebas X sebagai faktor dengan pangkat terurut. Pada regresi ini, kurva grafik akan berbentuk melengkung.

4. Regresi *Non Linear*

Regresi *non linear* adalah metode analisis statistik yang digunakan untuk mengevaluasi korelasi antara satu variabel yang merespon dengan satu atau lebih variabel prediktor, dengan asumsi bahwa hubungan antara variabel-variabel tersebut tidak mengikuti pola linear.

5. Regresi Logistik

Regresi logistik adalah teknik analisis statistik yang digunakan untuk memprediksi kemungkinan terjadinya suatu kejadian atau hasil biner (0 atau 1) berdasarkan pada satu atau lebih variabel prediktor yang bersifat kontinu atau kategorik.

6. Regresi Eksponensial

Regresi Eksponensial adalah teknik analisis statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel-variabel dengan bentuk fungsi eksponensial. Dalam regresi eksponensial, model yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat adalah dalam bentuk eksponensial.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Menurut KBBI, metode penelitian adalah cara untuk mencari kebenaran dan prinsip-prinsip fenomena alam, masyarakat, atau kemanusiaan berdasarkan disiplin ilmu terkait. Metode ini digunakan untuk memperoleh data ilmiah dan mencari jawaban atas permasalahan yang diamati.

Penelitian ini melibatkan penggunaan dua jenis data yang dapat dibagi berdasarkan sumbernya. Berikut adalah dua sumber data tersebut.

1. Data primer: Data primer diperoleh melalui pengujian dan pengamatan yang dilakukan langsung di laboratorium atau lapangan. Data ini merupakan hasil observasi langsung yang dilakukan oleh peneliti.
2. Data sekunder: Data sekunder diperoleh dari sumber pustaka atau referensi yang digunakan untuk mendukung penelitian. Data sekunder ini dapat berupa buku atau standar penelitian seperti Standar Nasional Indonesia (SNI). Data sekunder digunakan sebagai informasi tambahan yang dapat memperkaya penelitian yang sedang dilakukan.

Dengan memanfaatkan kedua jenis data ini, peneliti dapat melakukan penelitian yang komprehensif dan mendapatkan informasi yang akurat untuk menjawab pertanyaan penelitian.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.3 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Semen

Salah satu bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen. Jenis semen yang digunakan adalah semen Gresik dengan tipe *portland composite cement*, yang termasuk dalam kategori semen tipe I.



Gambar 4.1 Semen

2. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus yang digunakan berasal dari daerah kawasan Gunung Merapi lolos saringan diameter 4,75 mm.



Gambar 4.2 Pasir

3. Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar yang digunakan berasal dari daerah Kulon Progo.



Gambar 4.3 Agregat Kasar

4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air bersih yang tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.



Gambar 4.4 Air

(Sumber : indonesiasustainability.com, 2022)

4.4 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Set Saringan Agregat

Set saringan agregat adalah perangkat yang digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan ukuran butirnya. Alat ini digunakan dalam pengujian analisis saringan untuk agregat halus dan agregat kasar.



Gambar 4.5 Saringan Agregat

2. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan yang akan digunakan berdasarkan hasil perhitungan perencanaan campuran (*mix design*).



Gambar 4.6 Timbangan

3. Neraca Ohaus

Neraca Ohaus merupakan alat yang digunakan untuk mengukur berat bahan dengan tingkat ketelitian yang lebih baik dibandingkan timbangan biasa.



Gambar 4.7 Neraca Ohaus

4. Oven

Oven dipakai untuk mengeringkan baik pasir maupun kerikil. Alat ini juga digunakan untuk menguji berat jenis dan daya serap air pada agregat.



Gambar 4.8 Oven

5. Concrete Mixer

Concrete mixer adalah peralatan yang digunakan untuk mencampur bahan-bahan penyusun beton dengan perbandingan yang sesuai berdasarkan hasil perhitungan perencanaan campuran beton.



Gambar 4.9 Concrete Mixer

6. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams digunakan untuk menguji tingkat kejut (slump) beton segar.



Gambar 4.10 Kerucut Abrams

7. Bekisting Beton

Bekisting beton berfungsi sebagai tempat untuk membentuk beton sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan. Dalam penelitian ini, digunakan bekisting berbentuk kubus dengan dimensi 15 x 15 x 15 cm.



Gambar 4.11 Bekisting Kubus

8. Clamp F

Clamp F atau penjepit digunakan untuk menjepit benda uji ketika dilakukan uji *hammer*.



Gambar 4.12 Clamp F

9. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur beban yang diterima oleh sampel benda uji hingga benda uji mengalami kegagalan. Alat ini spesifik digunakan untuk menguji kuat tekan beton.



Gambar 4.13 Mesin Uji Tekan

10. Alat *Hammer Test*

Alat *Hammer Test* yang digunakan adalah *Rebound Test Hammer* digital model 58-C0181/DGT



Gambar 4.14 Alat *Hammer Test*

11. Alat *Ultrasonic Pulse Velocity Test*

Alat *Ultrasonic Pulse Velocity Test* yang digunakan adalah *Ultrasonic Pulse Velocity Proceq Pundit Lab + 32620002*



Gambar 4.15 Alat UPV

4.5 Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah 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 uji desak.

Tabel 4.1 Keterangan Benda Uji

Variasi Sampel	Umur Beton (Hari)	Bentuk Benda Uji	Jumlah Benda (Buah)
Beton K 225 (BT 1)	28	Kubus	12
Beton K 250 (BT 2)	28	Kubus	12
Beton K 275 (BT 3)	28	Kubus	12
Beton K 300 (BT 4)	28	Kubus	12
Beton K 325 (BT 5)	28	Kubus	12
Total			60

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan, yaitu tahap persiapan, pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan dan pengujian trial benda uji, pembuatan dan perawatan benda uji, pengujian benda uji, pengolahan data, analisis data, pembahasan, dan kesimpulan.

4.7 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan penelitian melibatkan studi literatur, persiapan bahan, dan persiapan alat yang akan digunakan selama penelitian.

4.8 Pengujian Agregat

Pengujian agregat adalah proses yang dilakukan untuk menguji sifat dan karakteristik agregat halus dan kasar yang akan digunakan dalam pembuatan beton. Informasi ini penting dalam perencanaan campuran beton. Beberapa jenis pengujian agregat yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus sesuai dengan SNI 1970-1990.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sesuai dengan SNI 1969-1990.
3. Pengujian analisis saringan agregat halus sesuai dengan SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisis saringan agregat kasar sesuai dengan SNI 1968-1990.

5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus sesuai dengan SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar sesuai dengan SNI 4804-1998.
7. Pengujian butiran yang lolos ayakan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) sesuai dengan SNI 4142-1996.

Setelah dilakukan pengujian agregat, hasilnya akan dicek apakah agregat tersebut memenuhi persyaratan properties yang telah ditetapkan. Dari pengecekan tersebut, dapat ditentukan apakah agregat tersebut memenuhi atau tidak memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

4.9 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan hasil pengujian agregat. Penelitian ini mengacu pada standar SNI 2834-2000. Rincian perhitungan perencanaan beton dapat ditemukan dalam bab V pembahasan.

4.10 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Trial dengan Umur 7 Hari

Setelah perencanaan campuran beton selesai, langkah selanjutnya adalah pembuatan dan pengujian benda uji trial pada umur 7 hari. Langkah ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian perencanaan campuran beton dan hasil yang diperoleh.

4.11 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

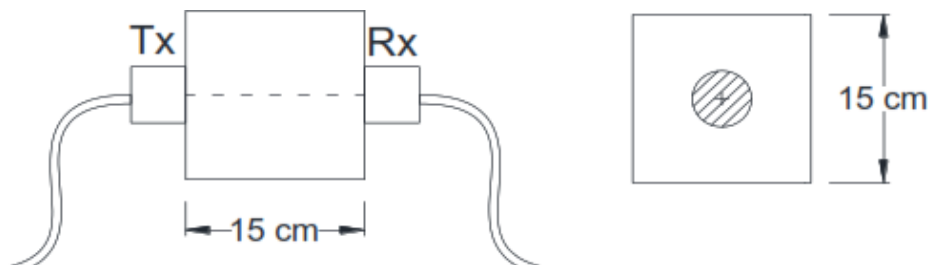
Proses pembuatan dan perawatan benda uji dilakukan sesuai dengan perencanaan campuran beton. Bahan-bahan penyusun beton yang telah disesuaikan dengan komposisi perencanaan dicampur menggunakan *concrete mixer*. Kemudian, beton segar diuji untuk menentukan nilai slump dan dicetak menggunakan bekisting beton. Setelah beton mengeras, beton dilepaskan dari bekisting dan dilakukan perawatan. Dalam penelitian ini, metode perawatan beton yang digunakan adalah dengan merendam benda uji dalam air hingga mencapai umur yang direncanakan.

4.12 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan setelah beton mencapai umur yang direncanakan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian UPV, *Hammer*, dan kuat tekan beton. Pelaksanaan pengujian tersebut dilakukan sebagai berikut.

1. Pengujian UPV

Dalam kerangka penelitian ini, eksperimen UPV dilakukan dengan memanfaatkan perangkat Proceq Pundit Lab + 32620002. Proses pengujian dilaksanakan pada benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Pengumpulan informasi dijalankan melalui metode langsung dengan menempatkan transduser di posisi tengah kubus, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.16 Skema Titik Pengujian UPV

(sumber: Albertus, 2018)

Dalam prosedur pengujian UPV, beberapa langkah yang dilakukan antara lain.

- a. Permukaan beton diratakan dan dibersihkan.
- b. Alat uji UPV dikalibrasi untuk memastikan waktu tempuh pada transmitter dan receiver sama, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Kedua transduser ditempatkan pada kedua sisi calibration rod yang telah disiapkan.
- c. Jarak antara transmitter dan receiver ditentukan pada layar Pundit.
- d. Gel (couplant) diberikan pada permukaan kontak transmitter dan receiver sebelum memulai pengujian.
- e. Eksperimen dilakukan pada posisi yang telah ditetapkan sebelumnya.
- f. Setelah pengujian UPV selesai, hasil yang terkumpul mencakup gelombang ultrasonik, waktu transmisi, dan kecepatan perambatannya..



Gambar 4.17 Kalibrasi Alat Pengujian UPV

2. Pengujian *Hammer*

Setelah tahap persiapan benda uji selesai, langkah selanjutnya adalah menjalani pengujian kuat tekan dengan mempergunakan metode *hammer*. Metode ini melibatkan penggunaan perangkat uji yang mengikuti prinsip pantulan (*rebound hammer*) untuk mengestimasi tingkat kekerasan permukaan beton yang tengah diuji. Dalam rangka penelitian ini, *Schmidt Hammer* dari CONTROLS dipergunakan sebagai instrumen utama. Langkah-langkah yang ditempuh dalam pengujian hammer adalah sebagai berikut.

- a. Permukaan benda uji diratakan dan dibersihkan.
- b. Benda uji dijepit menggunakan *Clamp F* dengan landasan berupa kolom. Penjepitan ini bertujuan agar benda uji tidak bergerak ketika dilakukan uji *hammer*.
- c. Titik pengujian ditentukan, di mana setiap benda uji dalam penelitian ini diberikan 10 titik setiap permukaan beton dengan 3 posisi yang berbeda.
- d. Alat *rebound hammer* dipersiapkan.
- e. Dalam pengujian, *rebound hammer* ditekan pada permukaan yang keras sampai batang pemukul terlepas dari posisi terkunci dan keluar dari badan *hammer*.
- f. Setidaknya dilakukan 10 pemukulan pada titik yang telah ditentukan pada masing masing posisi alat *hammer*.
- g. Nilai *rebound* dapat ditampilkan pada layar indikator.



Gambar 4.18 Penjepitan Benda Uji Menggunakan *Clamp F*



Gambar 4.19 Tampilan Layar *Hammer Test*

3. Pengujian Kuat Tekan Beton
4. Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai dengan standar SNI 1974-2011. Tahapan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut.
 - a. Mengelevasi benda uji dari bak perendaman dan dibiarkan selama kurang lebih 24 jam.
 - b. Mengukur dimensi benda uji.
 - c. Menimbang berat benda uji.
 - d. Menempatkan benda uji pada landasan tekan di bawah dan memastikan bahwa penunjuk beban menunjukkan nol.
 - e. Mengoperasikan mesin pengujian tekan dengan kecepatan pembebanan antara 0,15 MPa/detik hingga 0,35 MPa/detik.
 - f. Melakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan mencatat beban maksimum yang diterima oleh benda uji.

4.13 Olah Data

Pada tahap pengolahan data, data mentah dari pengujian UPV, *Hammer* dan uji tekan beton diolah berdasarkan kode dan landasan teori. Tujuan dari pengolahan data ini adalah untuk mendapatkan korelasi hubungan antar pengujian.

4.14 Analisis Data

Tahap analisis data dilakukan dengan membandingkan kelompok variabel tertentu untuk mengetahui perbedaan nilai yang terjadi.

4.15 Pembahasan

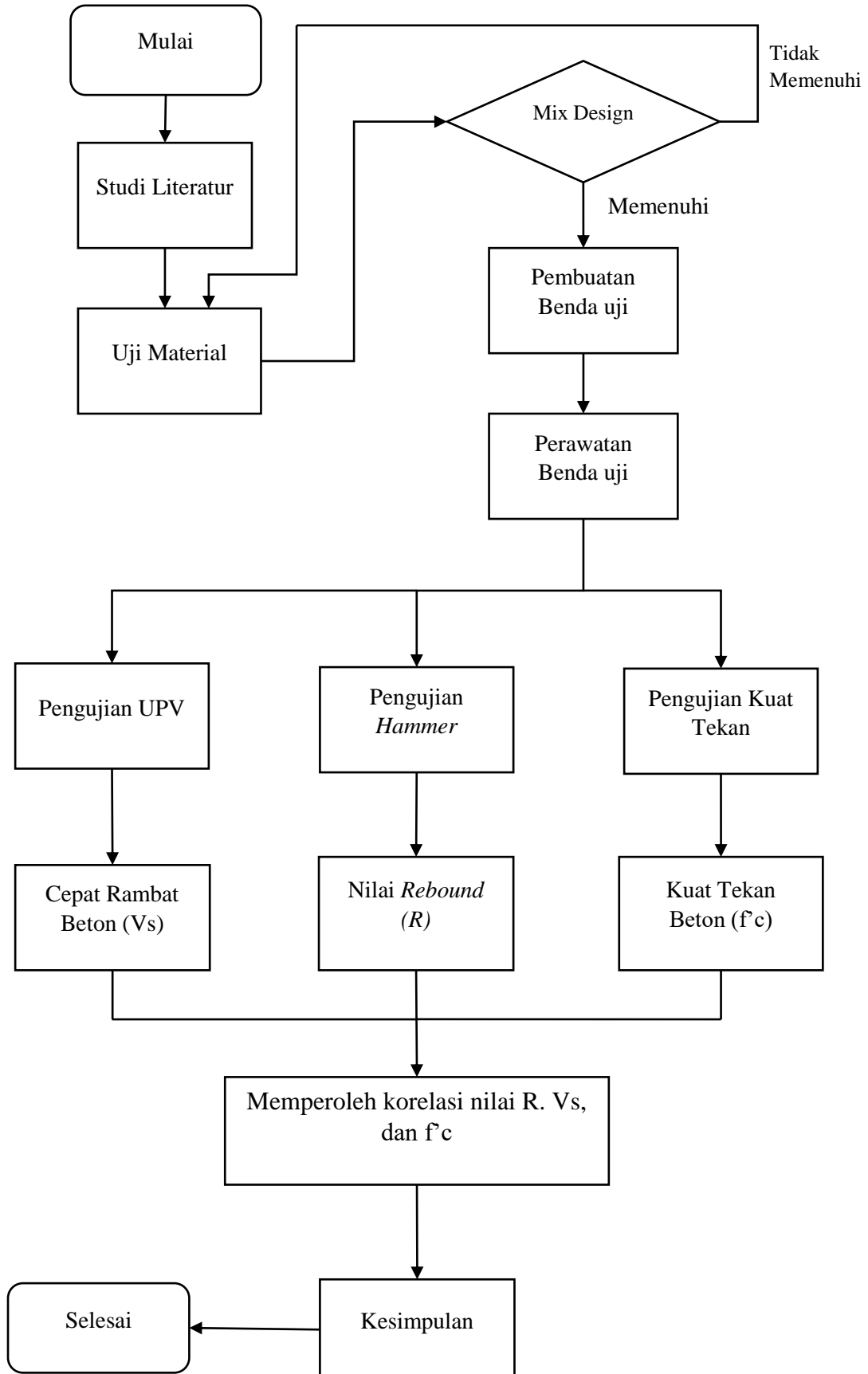
Pada tahap pembahasan, hasil analisis data dibahas untuk memperoleh jawaban dan penafsiran terhadap hasil uji yang telah dilakukan.

4.16 Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran melibatkan penarikan kesimpulan dari hasil pembahasan yang mengacu pada tujuan penelitian. Selanjutnya, berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, disusun saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

4.17 Diagram Alur Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.20 Diagram Alur Penelitian

BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, akan dijelaskan topik yang berhubungan dengan penelitian berdasarkan pada parameter yang diperoleh dalam bab sebelumnya. Diskusi akan mencakup proses pembuatan benda uji, pengujian menggunakan *hammer*, pengujian dengan UPV, serta pengujian kuat tekan beton.

5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

Untuk mendapatkan informasi mengenai sifat-sifat agregat yang akan digunakan dalam beton, dilakukan pemeriksaan melalui pengujian laboratorium. Agregat kasar merupakan bahan penyusun beton dengan persentase tertinggi dibandingkan bahan lainnya, sehingga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan beton. Pengujian agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat isi gembur, dan berat isi padat. Berikut ini adalah hasil pengujian untuk setiap pengujian agregat kasar.

5.1.1 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Untuk mendapatkan informasi mengenai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, dilakukan pengujian yang mencakup berat jenis curah, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air. Nilai berat jenis agregat kasar digunakan dalam proses perancangan campuran (*mix design*) untuk menentukan berat jenis jenuh kering permukaan agregat yang digunakan. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat ditemukan pada Tabel 5.1 di halaman berikutnya.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat agregat kasar kering mutlak, (Bk)	4885 gram
Berat agregat kasar kondisi jenuh kering permukaan, (Bj)	5000 gram
Berat agregat kasar dalam air, (Ba)	3105 gram
Berat jenis curah, (Bk/Bj-Ba)	2,57
Berat jenis jenuh kering permukaan, (Bj/Bj-Ba)	2,63
Berat Jenis semu, (Bk/Bk-Ba)	2,74
Penyerapan air, $((Bj-Bk)/Bk \times 100\%)$	2,35%

Setelah melakukan pemeriksaan agregat kasar melalui pengujian berat jenis dan penyerapan air, diperoleh hasil berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,63 gram/cm³. Selain itu, nilai penyerapan air dari agregat kasar ini adalah sebesar 2,35%. Dengan demikian, agregat kasar tersebut memenuhi kriteria yang diperlukan dan dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton.

5.1.2 Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian Analisis Saringan pada Agregat Kasar bertujuan untuk mengidentifikasi ukuran partikel agregat kasar. Pengujian ini menggunakan serangkaian saringan dengan ukuran tertentu, yaitu 40 mm, 20 mm, 10 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan saringan pan. Pengujian modulus halus butir agregat kasar mengacu pada standar SNI 03-2834-2000 untuk gradasi agregat. Hasil pengujian analisis saringan agregat kasar dapat ditemukan pada Tabel 5.2 di halaman berikutnya.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	3956	81,4	81,4	18,60
4,8	57	1,17	82,57	17,42
2,4	796	16,38	98,95	1,04
1,2	4	0,08	99,03	0,96
0,6	0	0	99,03	0,96
0,3	0	0	99,03	0,96
0,15	0	0	99,03	0,96
Pan	47	0,97	-	0
Jumlah	4988	100	659,05	140,94

Dengan mempertimbangkan data yang telah dikumpulkan, modulus halus butir dari agregat kasar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{659,0}{100} = 6,59$$

Setelah melakukan perhitungan, diperoleh hasil modulus halus butir sebesar 6,59%. Nilai tersebut memenuhi persyaratan yang tercantum dalam standar SNI 03-1968-1990, di mana rentang nilai yang diperbolehkan adalah antara 5 hingga 8. Hasil dari pengujian analisis saringan agregat kasar ini juga mengindikasikan bahwa ukuran maksimum agregat kasar adalah 20 mm.

5.1.3 Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Pengujian berat isi gembur dilakukan dengan tujuan untuk mengukur berat isi gembur agregat kasar, yang merupakan perbandingan antara berat agregat kasar yang kering dengan volume yang dioccupasinya. Hasil dari pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar dapat ditemukan pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel	Satuan
Berat silinder (W1)	11085	gram
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2)	18509	gram
Berat agregat (W3)	7424	gram
Volume silinder (V)	5627,46	cm ³
Berat isi gembur = W3/V	1,31	gram/cm ³

Dari pengujian berat isi gembur agregat kasar, didapatkan hasil sebesar 1,31 gram/cm³.

5.1.4 Berat Isi Padat Agregat Kasar

Pengujian berat isi padat dilakukan dengan tujuan untuk mengukur nilai berat isi padat agregat kasar, yang merupakan perbandingan antara berat agregat kasar yang kering dengan volume yang ditempatinya. Hasil dari pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar dapat ditemukan pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Satuan
Berat silinder (W1)	11085	gram
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2)	18970	gram
Berat agregat (W3)	7885	gram
Volume silinder (V)	5437,224	cm ³
Berat isi gembur = W3/V	1,45	gram/cm ³

Dari hasil pengujian berat isi padat agregat kasar, diperoleh nilai sebesar 1,45 gram/cm³. Terdapat selisih sebesar 0,14 gram/cm³ dengan hasil berat isi gembur. Dengan demikian, agregat kasar ini dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam beton. Pengujian berat isi agregat kasar ini bertujuan untuk mempermudah

perhitungan campuran bahan susun beton dengan menggunakan metode penimbangan berat dibandingkan dengan volume.

5.2 Pemeriksaan Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan di laboratorium untuk menentukan sifat-sifatnya yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton. Agregat halus memiliki peran penting dalam beton, karena dapat mempengaruhi kemudahan pengolahan dan pengisi antara partikel halus dengan pasta semen. Pengujian yang akan dilakukan terhadap agregat halus mencakup pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat isi gembur, berat isi padat, dan kadar lumpur agregat halus. Berikut adalah hasil untuk setiap pengujian agregat halus tersebut.

5.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan absorpsi air pada agregat halus dilaksanakan dengan maksud untuk mendapatkan data berat jenis pada keadaan curah, berat jenis permukaan dalam keadaan kering (SSD), berat jenis semu, serta absorpsi air. Hasil pengujian densitas dan penyerapan air agregat halus dapat diidentifikasi dalam Tabel 5.5 yang tersaji sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat agregat halus kering mutlak, (Bk)	483 gram
Berat agregat halus kondisi jenuh kering permukaan (SSD)	500 gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	860 gram
Berat piknometer berisi air, (B)	550 gram
Berat jenis curah, $(Bk/B+500-Bt)$	2,36
Berat jenis jenuh kering permukaan, $(500/B+500-Bt)$	2,63
Berat jenis semu, $(Bk/B+Bk-Bt)$	3,23
Penyerapan air, $((500-Bk)/Bk \times 100\%)$	3,52%

Setelah melakukan pemeriksaan agregat halus melalui pengujian berat jenis dan penyerapan air, diperoleh hasil nilai berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,63 gram/cm³. Selain itu, nilai penyerapan air agregat halus ditemukan sebesar

3,52%. Dengan demikian, agregat halus ini dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam beton.

5.2.2 Analisis Saringan Agregat Halus

Pada pengujian Analisis Saringan Agregat Halus, tujuannya adalah untuk mengidentifikasi agregat halus berdasarkan ukuran butirannya. Pengujian ini menggunakan saringan dengan ukuran tertentu (40 mm, 20 mm, 10 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan pan). Hasil pengujian ini dilakukan di laboratorium untuk mengukur modulus halus butir agregat halus dengan mengacu pada standar SNI 03-2834-2000. Berikut adalah hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus yang dapat ditemukan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	41	2,11	2,11	97,88
4,8	155	7,99	10,11	89,89
2,4	202	10,42	20,53	79,47
1,2	611	31,51	52,04	47,96
0,6	681	35,12	87,16	12,84
0,3	223	11,50	98,66	1,34
0,15	3	0,15	98,81	1,18
Pan	23	1,19		
Jumlah	1939	100	369,42	530,58

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat halus, agregat halus termasuk dalam daerah gradasi pasir dengan klasifikasi daerah gradasi I, yang merupakan jenis pasir kasar. Dari data tersebut, dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai modulus halus butir agregat halus menggunakan persamaan yang sesuai.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{369,4}{100} = 3,69$$

Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh nilai modulus butir halus sebesar 3,69. Nilai ini memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar SNI 03-1968-1990, di mana rentang nilai modulus agregat halus yang diperbolehkan adalah antara 1,5 hingga 3,8.

5.2.3 Berat Isi Gembur Agregat Halus

Pengujian berat isi gembur dilakukan untuk mengukur berat isi gembur agregat halus, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat agregat halus kering dengan volume yang diisinya. Hasil pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus dapat ditemukan dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Satuan
Berat silinder (W1), gram	11085	gram
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	18029	gram
Berat agregat (W3), gram	6944	gram
Volume silinder (V), cm ³	5379,57	cm ³
Berat isi gembur = W3/V, gram/cm ³	1,29	gram/cm ³

Dari pengujian berat isi gembur agregat halus, didapatkan hasil sebesar 1,29 gram/cm³.

5.2.4 Berat Isi Padat Agregat Halus

Pengujian berat isi padat agregat halus dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai berat isi padat agregat halus, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat agregat halus kering dengan volume yang diisinya. Hasil dari pengujian berat isi padat agregat halus dapat ditemukan dalam Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Penelitian	
	Sampel 1	Satuan
Berat silinder (W1), gram	11085	gram
Berat silinder + agregat kering permukaan (SSD) (W2), gram	19126	gram
Berat agregat (W3), gram	8041	gram
Volume silinder (V), cm ³	5379,57	cm ³
Berat isi gembur = $W3/V$, gram/cm ³	1,47	gram/cm ³

Berdasarkan hasil pengujian berat isi padat agregat halus, diperoleh nilai sebesar 1,47 gram/cm³. Terdapat selisih sebesar 0,18 gram/cm³ dengan hasil berat isi gembur. Oleh karena itu, agregat halus ini dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Pengujian berat isi agregat memiliki tujuan untuk memudahkan perhitungan campuran bahan dalam beton dengan cara menimbang beratnya berdasarkan volume yang diberikan.

5.2.5 Kadar Lumpur Agregat Halus

Kandungan lumpur diperoleh melalui pengujian butiran yang lolos ayakan nomor 200, yang juga dikenal sebagai pengujian kadar lumpur. Data hasil pengujian kadar lumpur pada agregat halus yang berasal dari pasir Merapi dapat ditemukan dalam Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat agregat halus kering mutlak (W1), gram	500
Berat Agregat halus setelah dicuci dan dioven (W2), gram	482,5
Berat yang lolos ayakan no. 200, %	3,5

Berdasarkan data hasil pengujian kadar lumpur agregat halus, diperoleh nilai rata-rata sebesar 3,5%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus (pasir) dapat

digunakan sebagai bahan campuran beton, karena memenuhi persyaratan bahwa kandungan lumpur tidak boleh melebihi 5% berdasarkan standar SNI 4142-1996.

5.3 Perhitungan Campuran Beton

Perhitungan campuran beton dilakukan untuk menentukan proporsi perbandingan dalam setiap campuran beton dengan tujuan mencapai kekuatan tekan yang telah direncanakan. Perhitungan ini mengacu standar SNI 03-2834-2000 dengan kekuatan tekan beton yang direncanakan adalah K225, K250, K275, K300, dan K325. Untuk informasi lebih rinci mengenai perhitungan mix design, dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel 5.10 Rekapitulasi 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
Total (kg)	2314	2314	2314	2314	2314

5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

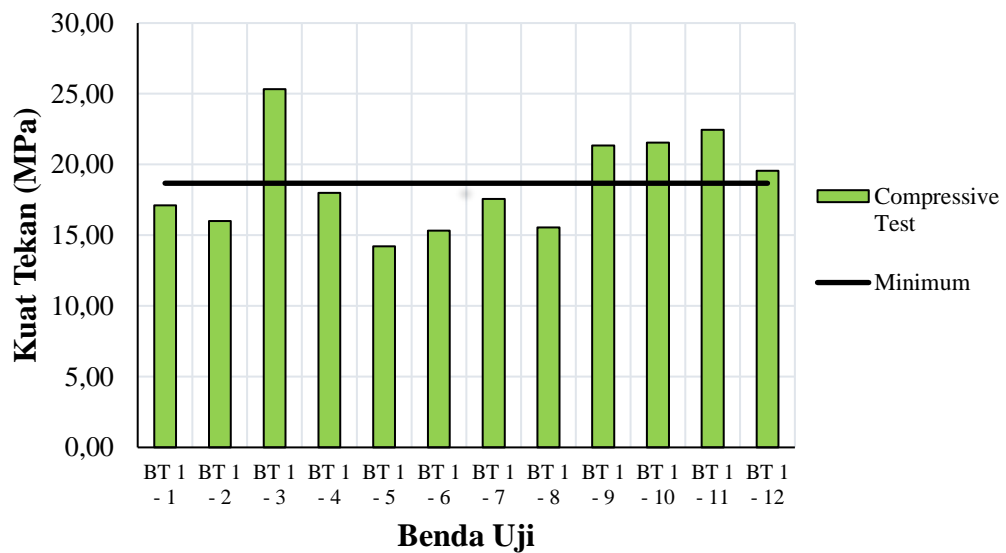
Pengujian kuat tekan beton mutu sedang dilakukan setelah benda uji mencapai usia 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 150 x 150 x 150 mm. Total terdapat 60 benda uji yang diuji dalam pengujian kuat tekan ini, dengan masing-masing variasi beton mutu sedang memiliki 12 sampel benda uji.

Tabel 5.11 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K225 (f_c : 18,625 MPa)

No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 1 - 1	17,11
2	BT 1 - 2	16,00
3	BT 1 - 3	25,33
4	BT 1 - 4	18,00
5	BT 1 - 5	14,22

Lanjutan Tabel 5.11 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K225 ($f'_c : 18,625 \text{ MPa}$)

No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
6	BT 1 - 6	15,33
7	BT 1 - 7	17,56
8	BT 1 - 8	15,56
9	BT 1 - 9	21,33
10	BT 1 - 10	21,56
11	BT 1 - 11	22,44
12	BT 1 - 12	19,56
Rata-rata		18,67



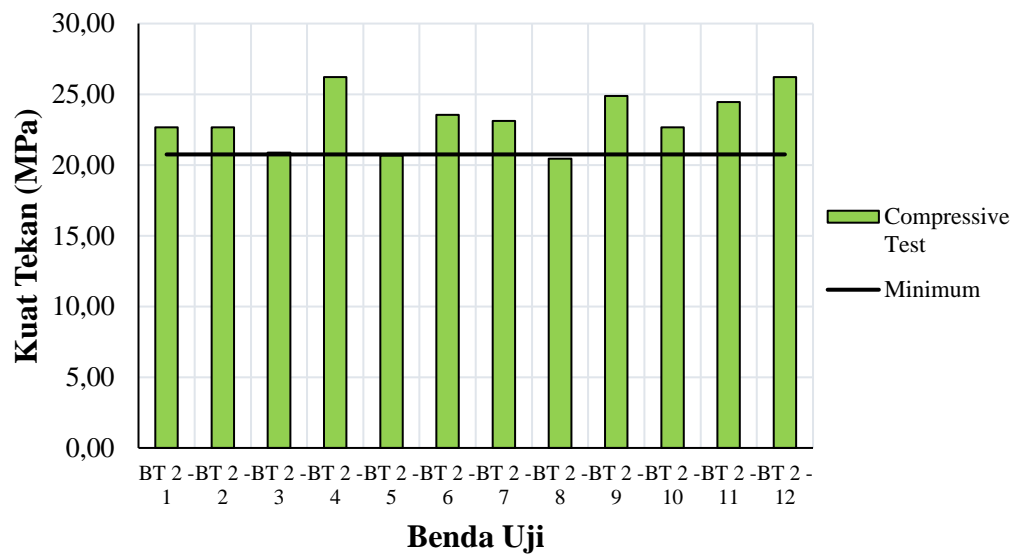
Gambar 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K225

Tabel 5.12 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K250 ($f'_c : 20,75 \text{ MPa}$)

No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 2 - 1	22,67
2	BT 2 - 2	22,67

Lanjutan Tabel 5.12 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K250 ($f'c : 20,75 \text{ MPa}$)

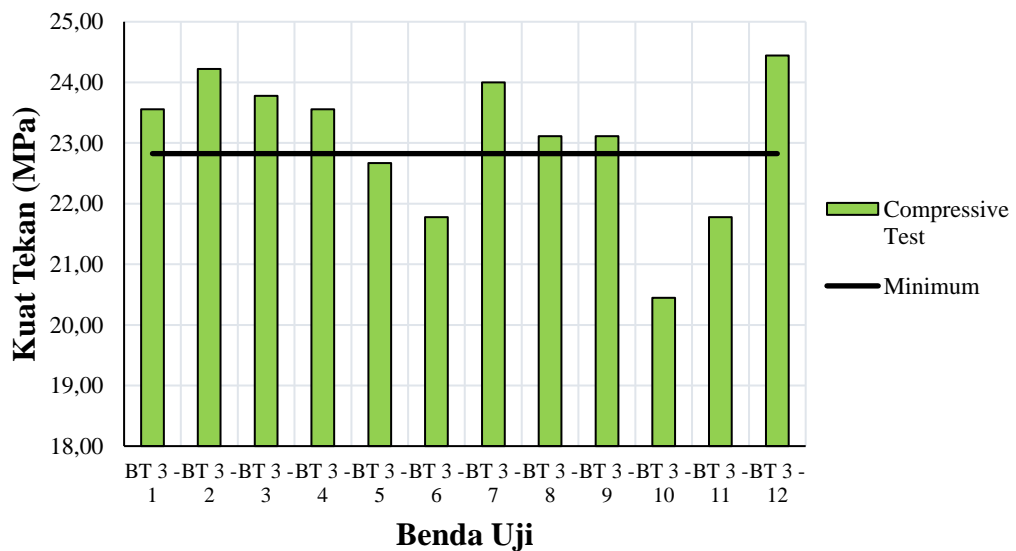
No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
3	BT 2 - 3	20,89
4	BT 2 - 4	26,22
5	BT 2 - 5	20,67
6	BT 2 - 6	23,56
7	BT 2 - 7	23,11
8	BT 2 - 8	20,44
9	BT 2 - 9	24,89
10	BT 2 - 10	22,67
11	BT 2 - 11	24,44
12	BT 2 - 12	26,22
Rata-rata		23,20



Gambar 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K250

**Tabel 5.13 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K275
(f'_c : 22,825 MPa)**

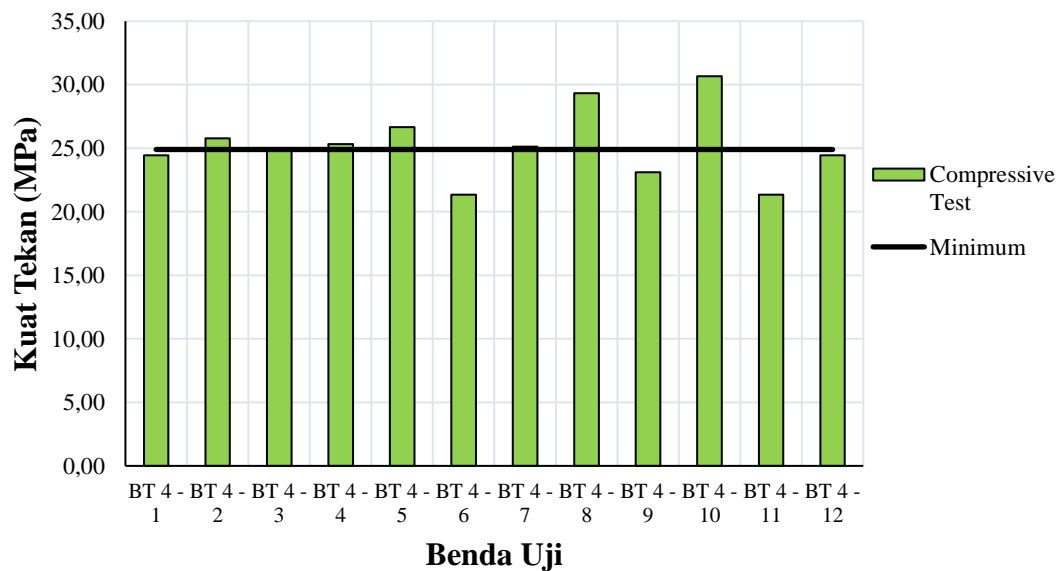
No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 3 - 1	23,56
2	BT 3 - 2	24,22
3	BT 3 - 3	23,78
4	BT 3 - 4	23,56
5	BT 3 - 5	22,67
6	BT 3 - 6	21,78
7	BT 3 - 7	24,00
8	BT 3 - 8	23,11
9	BT 3 - 9	23,11
10	BT 3 - 10	20,44
11	BT 3 - 11	21,78
12	BT 3 - 12	24,44
Rata-rata		23,04



Gambar 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K275

**Tabel 5.14 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K300
(f'_c : 24,9 MPa)**

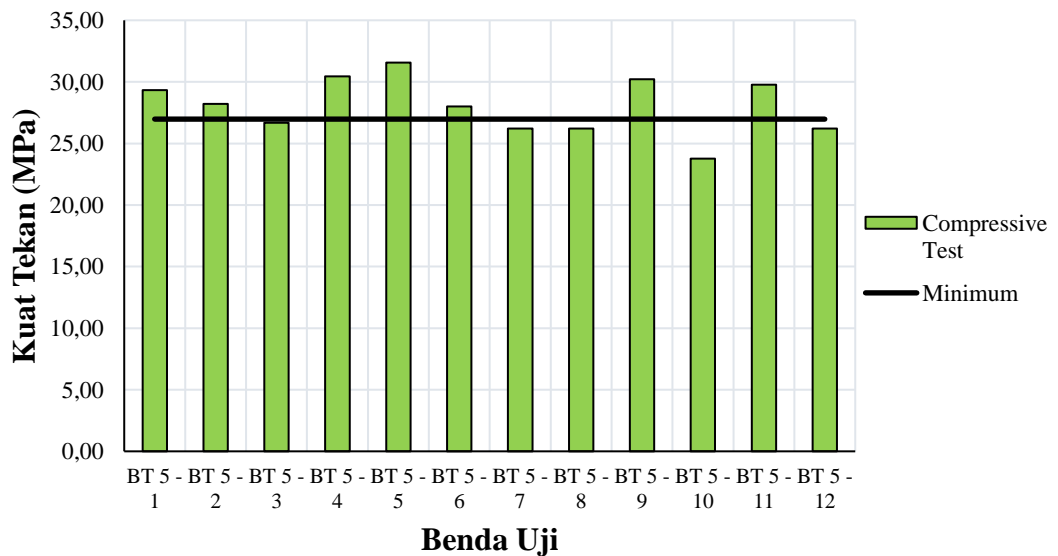
No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 4 - 1	24,44
2	BT 4 - 2	25,78
3	BT 4 - 3	24,89
4	BT 4 - 4	25,33
5	BT 4 - 5	26,67
6	BT 4 - 6	21,33
7	BT 4 - 7	25,11
8	BT 4 - 8	29,33
9	BT 4 - 9	23,11
10	BT 4 - 10	30,67
11	BT 4 - 11	21,33
12	BT 4 - 12	24,44
Rata-rata		25,20



Gambar 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K300

**Tabel 5.15 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Kubus Mutu K325
(f'_c : 26,975 MPa)**

No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 5 - 1	29,33
2	BT 5 - 2	28,22
3	BT 5 - 3	26,67
4	BT 5 - 4	30,44
5	BT 5 - 5	31,56
6	BT 5 - 6	28,00
7	BT 5 - 7	26,22
8	BT 5 - 8	26,22
9	BT 5 - 9	30,22
10	BT 5 - 10	23,78
11	BT 5 - 11	29,78
12	BT 5 - 12	26,22
Rata-rata		28,06



Gambar 5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton K325

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton yang terdapat pada Tabel 5.11 s.d Tabel 5.15 ditemukan bahwa sebagian besar kuat tekan beton sudah memenuhi kuat tekan yang direncanakan. Selain itu, terlihat bahwa sebagian kuat tekan untuk campuran benda uji K225 lebih rendah daripada kuat tekan yang direncanakan. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya ketidaksempurnaan dalam proses pengerjaan beton, baik pada tahap pengadukan maupun proses pemadatan.

5.5 Hasil Pengujian *Hammer Test Digital*

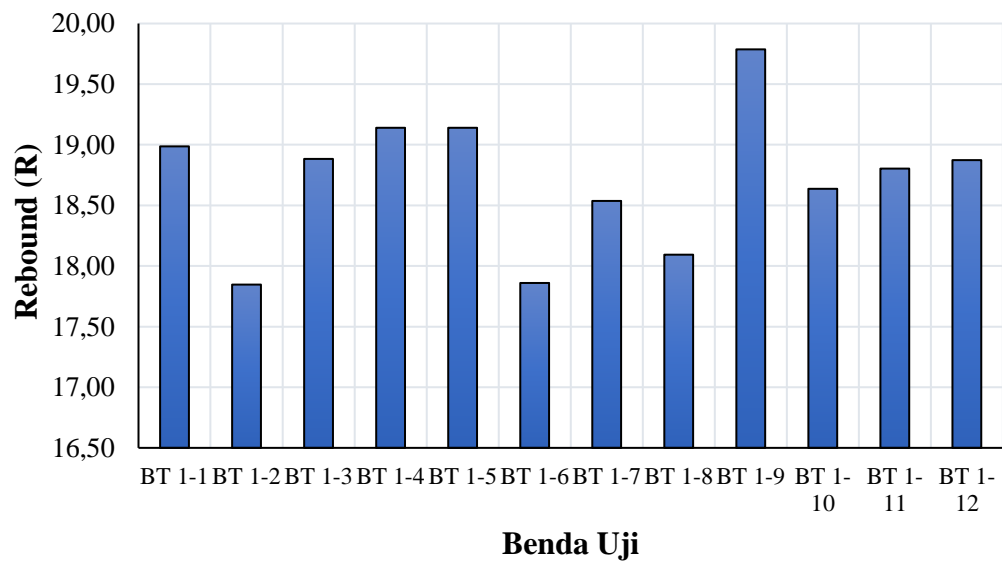
Pengujian dengan metode *hammer test* dilakukan dengan menggunakan alat *Silver Schmidt Hammer* buatan PROCEQ. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat tekan beton. Hasil dari pengujian ini disajikan dalam bentuk nilai *rebound*, yang dipengaruhi oleh karakteristik beton yang ada di sekitar pendorong. Bila pendorong ditempatkan di atas permukaan beton yang keras, nilai *rebound* yang tercatat akan cenderung tinggi. Namun, bila pendorong ditempatkan di atas permukaan beton yang lebih lunak dan memiliki ruang udara yang besar, nilai *rebound* yang tercatat akan cenderung rendah. Agar perbedaan ini dapat diatasi, proses pengambilan nilai *rebound* dilakukan sebanyak 30 kali dengan jarak setidaknya 2,5 cm antara setiap pengukuran. Tindakan ini bertujuan untuk memastikan konsistensi dalam pengukuran dan menghasilkan data yang lebih presisi. Secara umum, perangkat ini digunakan untuk memeriksa keseragaman kualitas beton serta memberikan perkiraan kuat tekan beton dalam struktur bangunan tertentu.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K225

Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 1-1	18,35	19,87	18,74	18,99
BT 1-2	16,21	17,20	20,13	17,85
BT 1-3	19,50	18,68	18,47	18,88
BT 1-4	17,39	18,90	21,13	19,14
BT 1-5	18,59	18,34	20,49	19,14
BT 1-6	15,47	18,12	19,99	17,86
BT 1-7	18,23	18,42	18,96	18,54

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K225

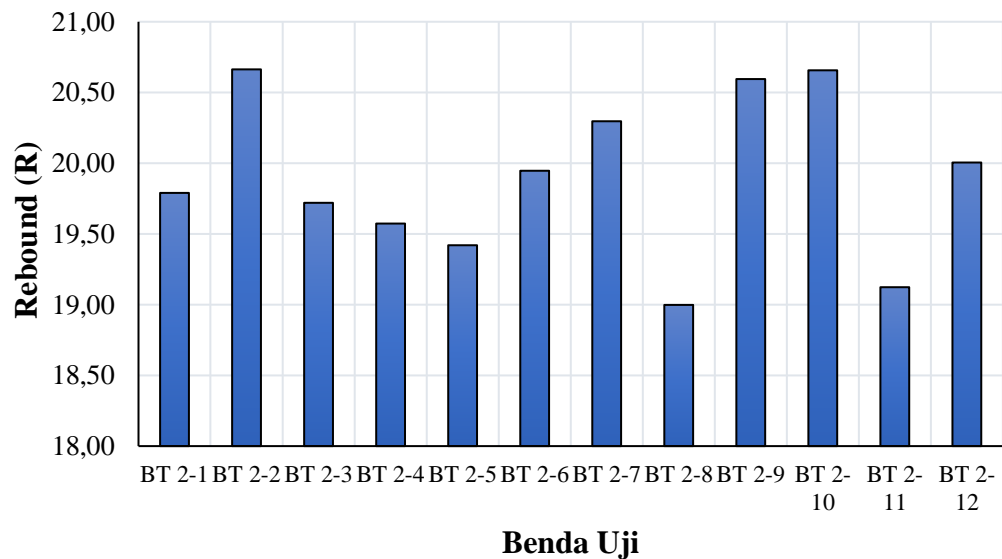
Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 1-8	15,79	17,54	20,95	18,09
BT 1-9	19,65	18,97	20,74	19,79
BT 1-10	18,21	17,26	20,44	18,64
BT 1-11	18,74	17,35	20,32	18,80
BT 1-12	19,33	17,70	19,59	18,87

Gambar 5.6 Hasil Pengujian *Hammer* Beton K225Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K250

Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 2-1	19,19	17,17	23,01	19,79
BT 2-2	20,16	18,74	23,09	20,66
BT 2-3	17,20	19,16	22,80	19,72
BT 2-4	17,66	18,78	22,28	19,57
BT 2-5	17,94	17,97	22,35	19,42
BT 2-6	18,46	18,75	22,63	19,95

Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K250

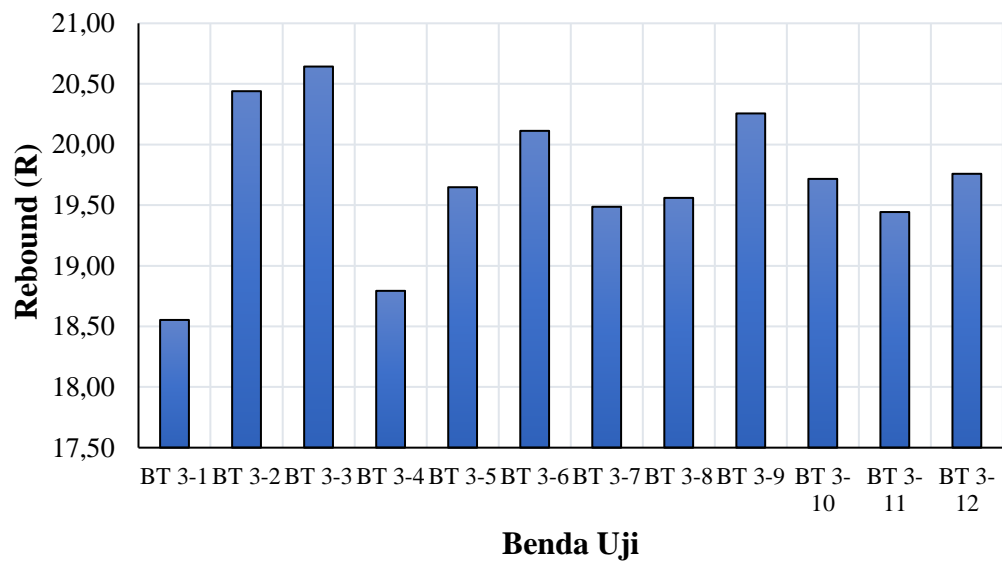
Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 2-7	18,95	19,43	22,51	20,30
BT 2-8	15,74	18,72	22,53	19,00
BT 2-9	19,97	19,54	22,27	20,59
BT 2-10	20,86	19,33	21,78	20,66
BT 2-11	18,85	17,40	21,12	19,12
BT 2-12	19,85	18,82	21,34	20,00

Gambar 5.7 Hasil Pengujian *Hammer* Beton K250Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K275

Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 3-1	17,77	18,44	19,45	18,55
BT 3-2	18,96	18,35	24,01	20,44
BT 3-3	19,18	20,52	22,23	20,64

Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K275

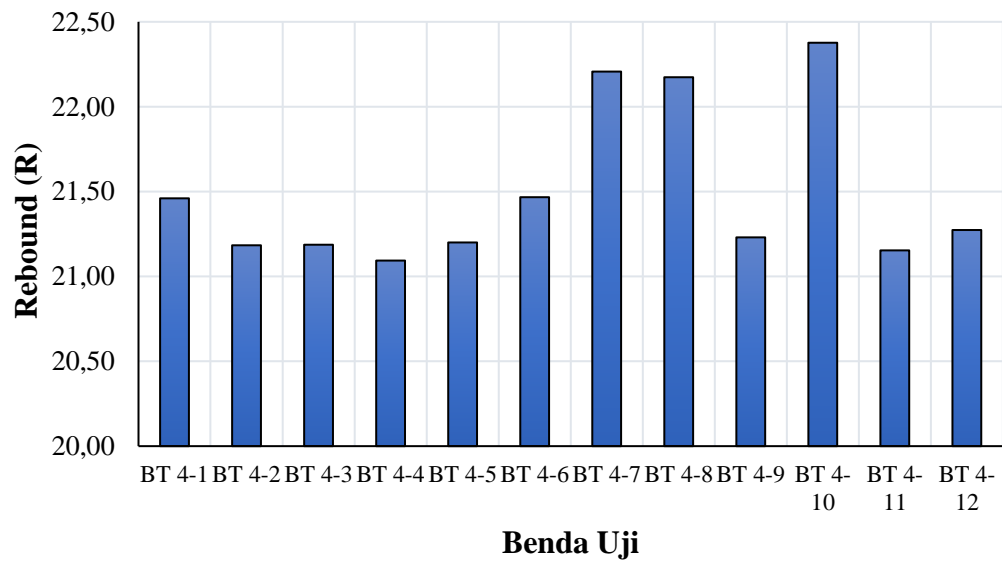
Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 3-4	18,45	18,09	19,84	18,79
BT 3-5	18,27	20,38	20,29	19,65
BT 3-6	19,69	18,87	21,78	20,11
BT 3-7	19,16	18,42	20,88	19,49
BT 3-8	19,21	18,62	20,85	19,56
BT 3-9	19,82	18,88	22,07	20,26
BT 3-10	18,80	19,32	21,03	19,72
BT 3-11	18,37	19,21	20,75	19,44
BT 3-12	18,69	19,32	21,27	19,76

Gambar 5.8 Hasil Pengujian *Hammer* Beton K275Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K300

Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 4-1	19,95	19,78	24,65	21,46
BT 4-2	20,66	21,37	21,52	21,18
BT 4-3	20,21	20,16	23,19	21,19

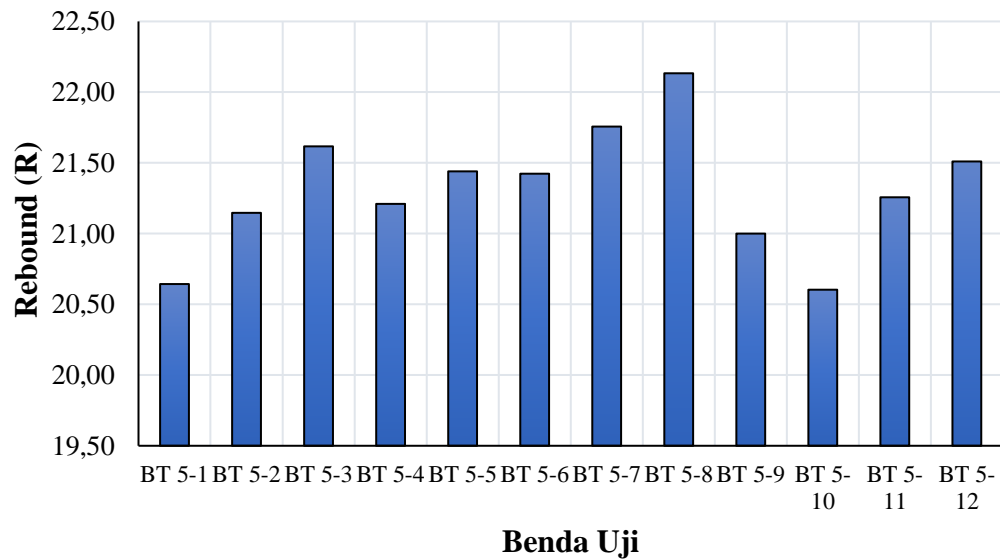
Lanjutan Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K300

Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 4-4	19,10	21,18	23,00	21,09
BT 4-5	21,29	20,13	22,18	21,20
BT 4-6	21,05	21,40	21,95	21,47
BT 4-7	21,03	22,60	22,99	22,21
BT 4-8	22,16	20,71	23,65	22,17
BT 4-9	21,10	21,26	21,33	21,23
BT 4-10	21,53	22,57	23,03	22,38
BT 4-11	19,74	20,42	23,30	21,15
BT 4-12	21,08	21,28	21,46	21,27

Gambar 5.9 Hasil Pengujian *Hammer* Beton K300

Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Uji *Hammer* Beton K325

Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 5-1	20,81	18,82	22,30	20,64
BT 5-2	20,39	20,48	22,57	21,15
BT 5-3	21,46	19,63	23,76	21,62
BT 5-4	21,33	20,49	21,81	21,21
BT 5-5	20,68	20,67	22,97	21,44
BT 5-6	21,04	20,29	22,94	21,42
BT 5-7	21,66	20,73	22,88	21,76
BT 5-8	21,24	21,28	23,88	22,13
TabBT 5-9	21,26	19,42	22,32	21,00
BT 5-10	20,32	19,82	21,67	20,60
BT 5-11	20,75	20,56	22,46	21,26
BT 5-12	21,39	21,46	21,68	21,51

Gambar 5.10 Hasil Pengujian *Hammer* Beton K325

Berdasarkan hasil pengujian *hammer* beton yang terdapat pada Tabel 5.16 s.d Tabel 5.20 ditemukan bahwa nilai rata-rata *rebound* hasil dari pengujian semakin meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya kuat tekan rencana. Sehingga hasil tersebut dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

5.6 Hasil Pengujian UPV

Pengujian UPV dilakukan pada benda uji kubus, dengan total 5 variasi mutu beton dengan jumlah benda uji yang digunakan adalah 60 sampel. Pengukuran UPV dilakukan dengan meletakkan transducer UPV pada jarak tertentu sesuai dengan metode penelitian yang telah ditetapkan. Data UPV diambil pada area lokasi yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap benda uji dilakukan 6 kali pengujian UPV agar hasil nilai uji semakin akurat.

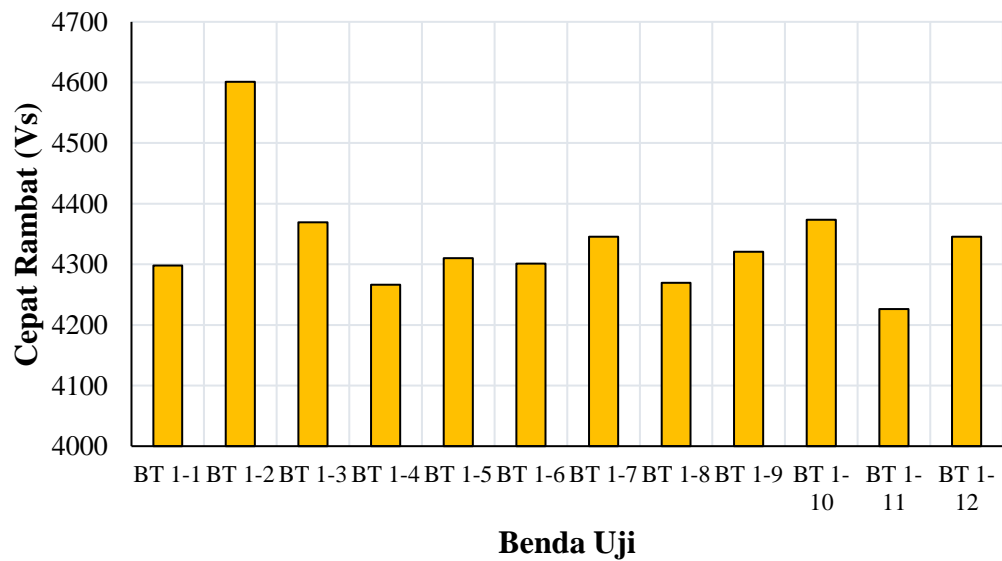
Hasil pengukuran UPV berupa kecepatan rambat gelombang. Data pengukuran UPV tersebut disajikan pada Tabel 5.21 s.d Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.23 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K225

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi mm	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1 (m/s)	2 (m/s)	
1	BT 1 - 1	1	152	4294	4419	4297,83
		2	150	4237	4237	
		3	149	4331	4269	
2	BT 1 - 2	1	149	4529	4599	4600,83
		2	149	4991	4269	
		3	151	4927	4290	
3	BT 1 - 3	1	151	4454	4390	4369,16
		2	152	4419	4294	
		3	150	4298	4360	
4	BT 1 - 4	1	153	4322	4262	4266,33
		2	149	4150	4209	
		3	150	4295	4360	
5	BT 1 - 5	1	150	4155	4360	4310,16
		2	150	4323	4491	
		3	153	4384	4148	
6	BT 1 - 6	1	151	4266	4206	4301,16
		2	153	4359	4322	
		3	151	4327	4327	
7	BT 1 - 7	1	152	4355	4419	434,50
		2	152	4355	4355	
		3	152	4234	4355	

Lanjutan Tabel 5.24 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K225

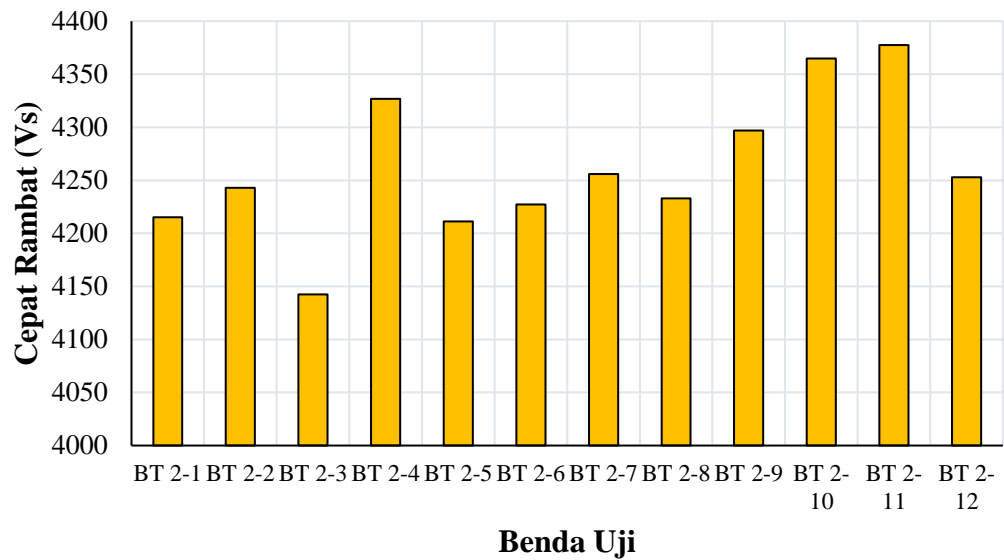
No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi mm	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
				(m/s)	(m/s)	
8	BT 1 - 8	1	150	4178	4237	4269,33
		2	151	4266	4327	
		3	153	4322	4286	
9	BT 1 - 9	1	152	4355	4211	4320,66
		2	151	4352	4390	
		3	150	4491	4125	
10	BT 1 - 10	1	153	4377	4322	4373,66
		2	151	4266	4302	
		3	151	4521	4454	
11	BT 1 - 11	1	151	4148	4114	4226,33
		2	152	4142	4176	
		3	152	4294	4484	
12	BT 1 - 12	1	152	4355	4294	4345,66
		2	149	4331	4461	
		3	150	4298	4335	



Gambar 5.11 Hasil Pengujian UPV Beton K225

Tabel 5.25 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K250

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
			mm	(m/s)	(m/s)	
1	BT 2 - 1	1	149	4302	4265	4215,16
		2	150	4181	4181	
		3	148	4181	4181	
2	BT 2 - 2	1	150	4298	4298	4243,00
		2	150	4178	4087	
		3	149	4237	4360	
3	BT 2 - 3	1	149	4123	4123	4142,33
		2	150	4181	4123	
		3	148	4181	4123	
4	BT 2 - 4	1	150	4178	4274	4826,83
		2	150	4360	4360	
		3	149	4298	4491	
5	BT 2 - 5	1	149	4181	4157	4211,16
		2	148	4181	4181	
		3	148	4265	4302	
6	BT 2 - 6	1	150	4181	4181	4227,16
		2	148	4277	4241	
		3	150	4181	4302	
7	BT 2 - 7	1	149	4202	4178	4256,00
		2	150	4360	4237	
		3	149	4298	4261	
8	BT 2 - 8	1	150	4431	4181	4233,00
		2	149	4241	4123	
		3	149	4217	4205	
9	BT 2 - 9	1	148	4366	4241	4296,83
		2	148	4302	4241	
		3	149	4265	4366	
10	BT 2 - 10	1	150	4360	4425	4364,83
		2	149	4360	4298	
		3	151	4360	4386	
11	BT 2 - 11	1	151	4237	4274	4377,50
		2	151	4298	4298	
		3	149	4798	4360	
12	BT 2 - 12	1	151	4261	4121	4253,00
		2	150	4386	4178	
		3	150	4274	4298	



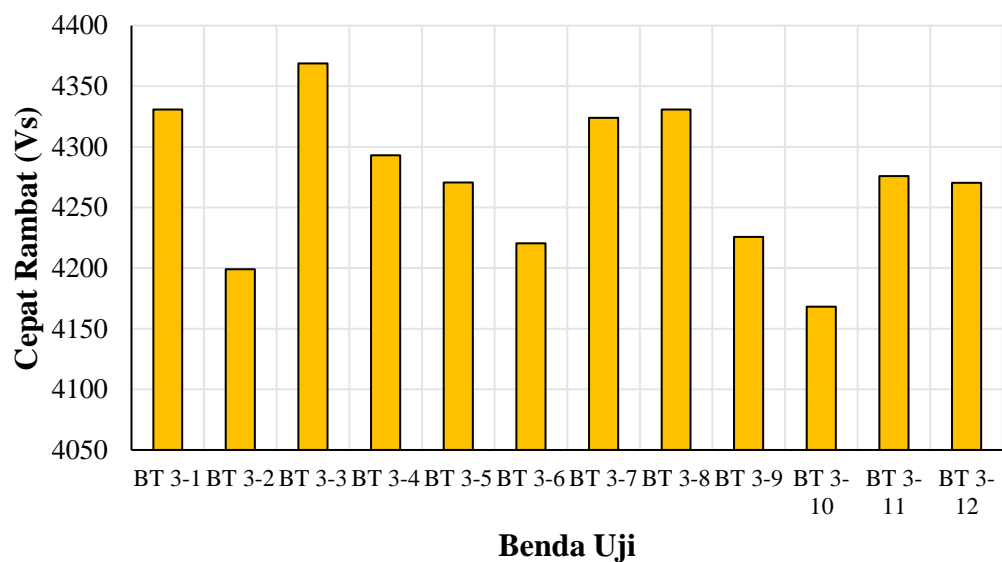
Gambar 5.12 Hasil Pengujian UPV Beton K250

Tabel 5.26 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K275

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi m	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
				(m/s)	(m/s)	
1	BT 3 - 1	1	149	4294	4331	4330,83
		2	148	4431	4366	
		3	149	4269	4294	
2	BT 3 - 2	1	148	4209	4093	4199,00
		2	148	4150	4209	
		3	148	4264	4269	
3	BT 3 - 3	1	148	4395	433	3718,83
		2	148	4331	4269	
		3	150	4394	4491	
4	BT 3 - 4	1	149	4331	4269	4293,00
		2	151	4331	4269	
		3	149	4264	4294	
5	BT 3 - 5	1	149	4264	4150	4270,66
		2	150	4254	4331	
		3	151	4294	4331	
6	BT 3 - 6	1	149	4209	4209	4220,33
		2	149	4241	4181	
		3	151	4217	4265	
7	BT 3 - 7	1	151	4266	4206	4324,00
		2	150	4390	4327	
		3	151	4428	4327	

Lanjutan Tabel 5.27 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K275

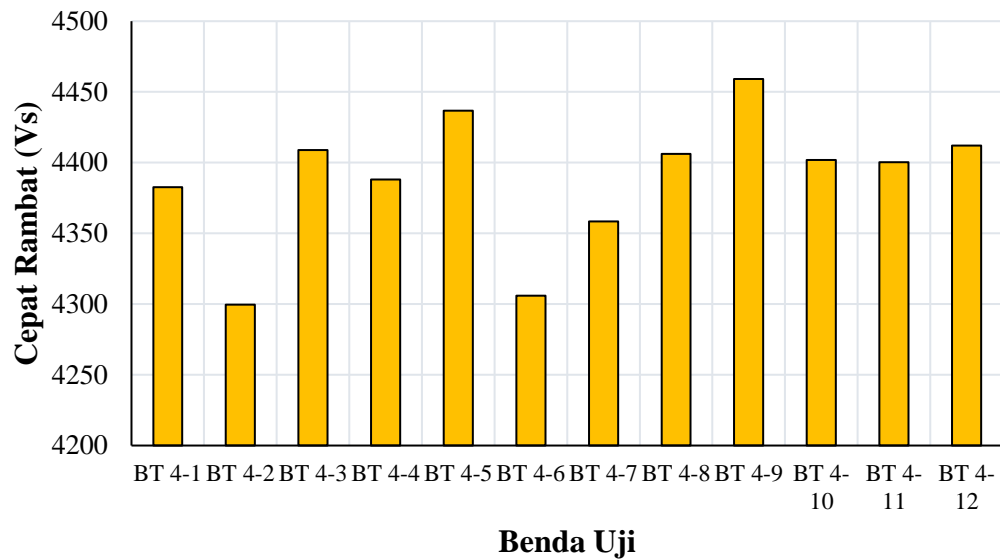
No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi m	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1 (m/s)	2 (m/s)	
8	BT 3 - 8	1	151	4390	4242	4330,66
		2	148	4421	4269	
		3	149	4331	4331	
9	BT 3 - 9	1	149	4269	4209	4225,83
		2	149	4306	4093	
		3	150	4209	4269	
10	BT 3 - 10	1	149	4241	4241	4168,16
		2	150	4011	4033	
		3	150	4302	4181	
11	BT 3 - 11	1	150	4298	4178	4276,00
		2	151	4323	4298	
		3	149	4298	4261	
12	BT 3 - 12	1	150	4298	4087	4270,33
		2	151	4274	4178	
		3	151	4425	4360	



Gambar 5.13 Hasil Pengujian UPV Beton K275

Tabel 5.28 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K300

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
			m	(m/s)	(m/s)	
1	BT 4 - 1	1	150	4497	4425	4382,66
		2	151	4454	4266	
		3	151	4327	4327	
2	BT 4 - 2	1	148	4241	4302	4299,50
		2	149	4529	4185	
		3	149	4209	4331	
3	BT 4 - 3	1	150	4559	4297	4408,83
		2	148	4366	4498	
		3	148	4431	4302	
4	BT 4 - 4	1	151	4454	4290	4388,00
		2	149	4331	4461	
		3	149	4461	4331	
5	BT 4 - 5	1	151	4660	4390	4436,66
		2	150	4425	4360	
		3	150	4360	4425	
6	BT 4 - 6	1	150	4155	4425	4306,00
		2	150	4213	4323	
		3	150	4360	4360	
7	BT 4 - 7	1	150	4491	4275	4358,50
		2	150	4425	4298	
		3	149	4331	4331	
8	BT 4 - 8	1	149	4488	4370	4406,16
		2	150	4425	4298	
		3	149	4395	4461	
9	BT 4 - 9	1	150	4491	4360	4459,16
		2	149	4599	4461	
		3	151	4454	4390	
10	BT 4 - 10	1	149	4599	4269	4401,83
		2	150	4425	4274	
		3	151	4454	4390	
11	BT 4 - 11	1	150	4425	4298	4400,33
		2	148	4431	4392	
		3	149	4461	4395	
12	BT 4 - 12	1	151	4521	4327	4412,16
		2	148	4526	4366	
		3	148	4431	4302	



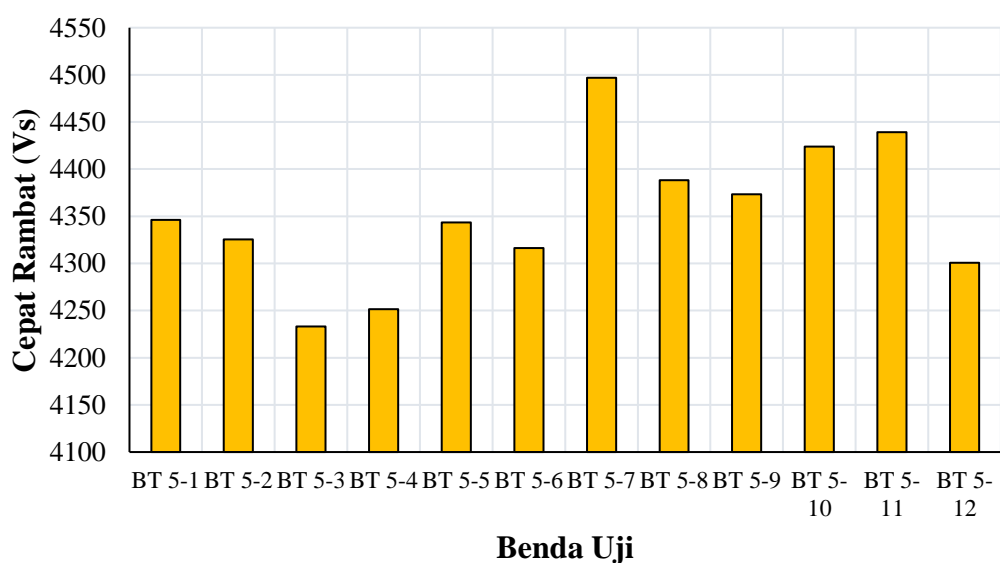
Gambar 5.14 Hasil Pengujian UPV Beton K300

Tabel 5.29 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K325

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi m	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
				(m/s)	(m/s)	
1	BT 5 - 1	1	150	4298	4399	4346,16
		2	151	4327	4327	
		3	149	4331	4395	
2	BT 5 - 2	1	149	4395	4331	4325,33
		2	149	4209	4269	
		3	150	4323	4425	
3	BT 5 - 3	1	149	4269	4116	4233,33
		2	151	4092	4327	
		3	150	4298	4298	
4	BT 5 - 4	1	151	4092	4070	4251,33
		2	149	4395	4209	
		3	151	4415	4327	
5	BT 5 - 5	1	152	4419	4294	4343,33
		2	146	4124	4307	
		3	150	4491	4425	
6	BT 5 - 6	1	148	4241	4302	4316,16
		2	151	4206	4266	
		3	151	4454	4428	
7	BT 5 - 7	1	149	4599	4331	4497,00
		2	149	4671	4331	
		3	150	4491	4559	

Lanjutan Tabel 5.30 Hasil Pengujian UPV Beton Variasi K325

8	BT 5 – 8	1	149	4461	4331	4388,33
		2	148	4431	4302	
		3	151	4390	4415	
9	BT 5 – 9	1	150	4323	4425	4373,33
		2	149	4209	4269	
		3	151	4520	4494	
10	BT 5 – 10	1	149	4421	4395	4423,83
		2	150	4491	4425	
		3	150	4386	4425	
11	BT 5 – 11	1	152	4524	4484	4439,33
		2	147	4401	4311	
		3	150	4491	4425	
12	BT 5 – 12	1	149	4269	4395	4300,83
		2	150	4155	4175	
		3	150	4425	4386	



Gambar 5.16 Hasil Pengujian UPV Beton K325

Berdasarkan Tabel 5.22 s.d Tabel 5.25, dapat disimpulkan bahwa nilai cepat rambat gelombang yang dihasilkan dari pengujian UPV secara keseluruhan memenuhi standar yang baik. Mengacu pada kualifikasi kualitas beton berdasarkan cepat rambat gelombang bahwa jika nilai cepat rambat gelombang berada diantara 3500 – 4500 m/s, maka kualitas beton yang diuji dapat dikatakan baik . Jika nilai

cepat rambat gelombang melebihi 4500 m/s, maka kualitas beton yang diuji dapat dikatakan sangat baik (*International Atomic Energy Agency*, Vienna, 2002 : 110).

Tabel 5.31 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasar-kan Kecepatan Gelombang

Kecepatan Gelombang Longitudinal		Kualitas Beton
Km/(detik.10 ³)	Ft/detik	
>4,5	> 15	Sangat bagus
3,50 – 4,50	12 – 15	Bagus
3,00 – 3,50	10 – 12	Diragukan
2,00 – 3,00	7 – 10	Jelek
< 2,00	<7	Sangat jelek

sumber : International Atomic Energy Agency, Vienna, (2002)

5.7 Hasil Pengujian *Compressive*, *Hammer*, dan UPV

Hasil pengujian menunjukkan perbedaan nilai yang diukur menggunakan pengujian *hammer test*, UPV test, dan uji kuat tekan beton. Perbedaan-perbedaan ini dapat dilihat dalam table 5.27.

Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Compressive*, *Hammer*, dan UPV

Variasi	Sampel	Compressive Test (MPa)	Hammer Test (R)	UPV Test Vs (m/s)
K225	BT 1-1	17,11	18,99	4297,83
	BT 1-2	16,00	17,85	4600,83
	BT 1-3	25,33	18,88	4369,17
	BT 1-4	18,00	19,14	4266,33
	BT 1-5	14,22	19,14	4310,17
	BT 1-6	15,33	17,86	4301,17
	BT 1-7	17,56	18,54	4345,50
	BT 1-8	15,56	18,09	4269,33
	BT 1-9	21,33	19,79	4320,67
	BT 1-10	21,56	18,64	4373,67
	BT 1-11	22,44	18,80	4226,33
	BT 1-12	19,56	18,87	4345,67

Lanjutan Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Compressive*, *Hammer*, dan UPV

Variasi	Sampel	Compressive Test (MPa)	Hammer Test (R)	UPV Test Vs (m/s)
K250	BT 2-1	22,67	19,79	4215,17
	BT 2-2	22,67	20,66	4243,00
	BT 2-3	20,89	19,72	4142,33
	BT 2-4	26,22	19,57	4826,83
	BT 2-5	20,67	19,42	4211,17
	BT 2-6	23,56	19,95	4227,17
	BT 2-7	23,11	20,30	4256,00
	BT 2-8	20,44	19,00	4233,00
	BT 2-9	24,89	20,59	4296,83
	BT 2-10	22,67	20,66	4364,83
	BT 2-11	24,44	19,12	4377,50
	BT 2-12	26,22	20,00	4253,00
K275	BT 3-1	23,56	18,55	4330,83
	BT 3-2	24,22	25,87	4199,00
	BT 3-3	23,78	20,64	3718,83
	BT 3-4	23,56	18,79	4293,00
	BT 3-5	22,67	19,65	4270,67
	BT 3-6	21,78	20,11	4220,33
	BT 3-7	24,00	19,49	4324,00
	BT 3-8	23,11	19,56	4330,67
	BT 3-9	23,11	20,26	4225,83
	BT 3-10	20,44	19,72	4168,17
	BT 3-11	21,78	19,44	4276,00
	BT 3-12	24,44	19,76	4270,33
K300	BT 4-1	24,44	21,46	4382,67
	BT 4-2	25,78	21,18	4299,50
	BT 4-3	24,89	21,19	4408,83
	BT 4-4	25,33	21,09	4388,00
	BT 4-5	26,67	21,20	4436,67
	BT 4-6	21,33	21,47	4306,00
	BT 4-7	25,11	20,98	4358,50
	BT 4-8	29,33	20,74	4406,17
	BT 4-9	23,11	21,23	4459,17
	BT 4-10	30,67	20,90	4401,83
	BT 4-11	21,33	21,15	4400,33
	BT 4-12	24,44	21,27	4412,17

Lanjutan Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Compressive*, *Hammer*, dan UPV

Variasi	Sampel	Compressive Test (MPa)	Hammer Test (R)	UPV Test Vs (m/s)
K325	BT 5-1	29,33	20,64	4346,17
	BT 5-2	28,22	21,15	4325,33
	BT 5-3	26,67	21,62	4233,33
	BT 5-4	30,44	21,21	4251,33
	BT 5-5	31,56	27,59	4343,33
	BT 5-6	28,00	21,42	4316,17
	BT 5-7	26,22	21,76	4497,00
	BT 5-8	26,22	27,68	4388,33
	BT 5-9	30,22	21,00	4373,33
	BT 5-10	23,78	20,60	4423,83
	BT 5-11	29,78	21,26	4439,33
	BT 5-12	26,22	21,51	4300,83

Dari Tabel 5.27 yang disajikan, dapat disimpulkan bahwa beton dengan campuran yang sama dapat menghasilkan variasi kuat tekan yang berbeda, dan sebagian besar nilainya sudah sesuai dengan mutu yang direncanakan. Perbedaan ini menunjukkan adanya perbedaan dalam kualitas atau mutu benda uji, yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan yang dipengaruhi oleh komposisi dan susunan bahan-bahan beton. Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh proses pengerjaan, mulai dari pencampuran bahan hingga pembuatan benda uji (Joni, 2017)

Pengujian kuat desak beton menghasilkan nilai kuat tekan yang diukur dalam satuan tekanan, yaitu megapascal (MPa atau N/mm). Nilai *Hammer test* menunjukkan nilai *rebound* dan dalam pengujian UPV hasil beton diukur dalam satuan kecepatan (m/s), di mana semakin tinggi nilai kecepatan, semakin tinggi kualitas beton yang dihasilkan. Pada penelitian ini, masing – masing benda uji memiliki nilai yang berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan kerapatan dari masing-masing benda uji, yang dipengaruhi oleh komposisi dan susunan bahan-bahan penyusun beton (Orio dkk, 2012).

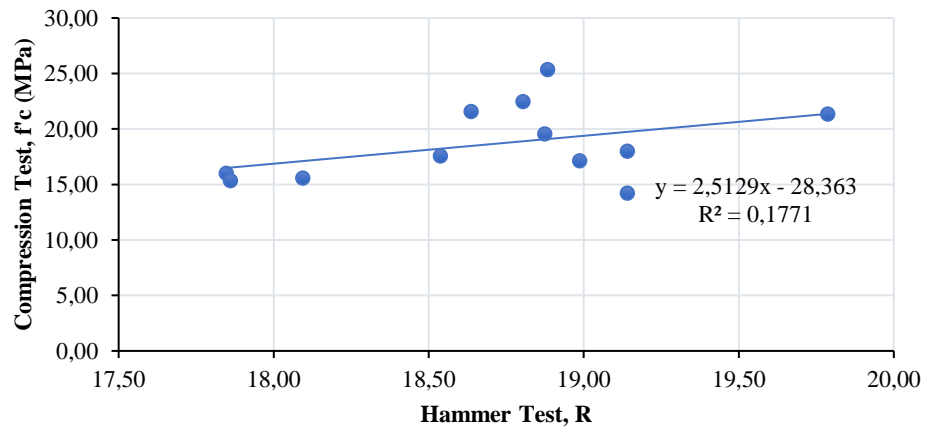
5.8 Analisis Regresi dan Korelasi

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis regresi untuk menggambarkan pola hubungan antara *Hammer test* dengan *Compression Test* dan UPV test dengan

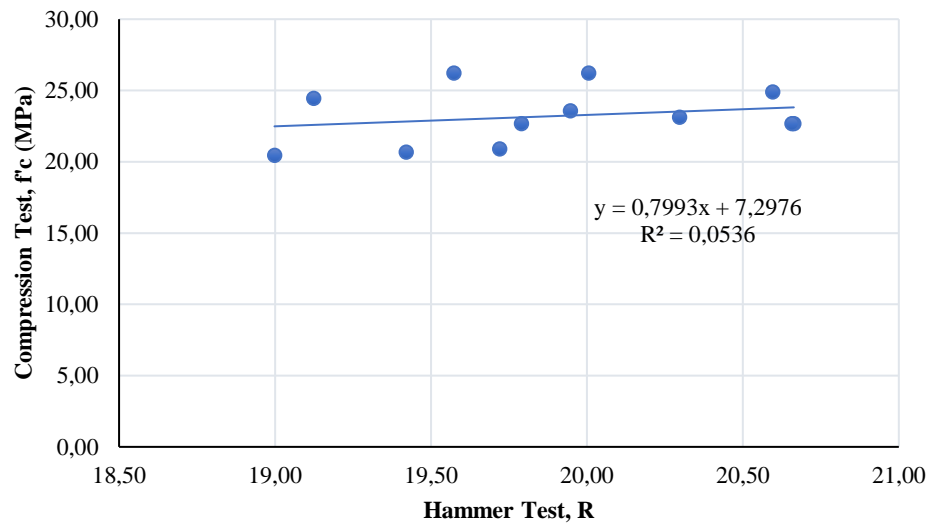
Compression Test. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan persamaan yang menggambarkan hubungan dari nilai hasil ketiga metode pengujian tersebut. Analisis ini dilakukan menggunakan program *Microsoft Excel* dengan 5 *trendline* regresi. Setiap regresi menggunakan variabel X sebagai hasil tes *non-destructive* dan variabel Y sebagai hasil uji kuat desak beton. Berikut adalah hasil analisis tersebut.

5.8.1 Analisis Regresi Linier

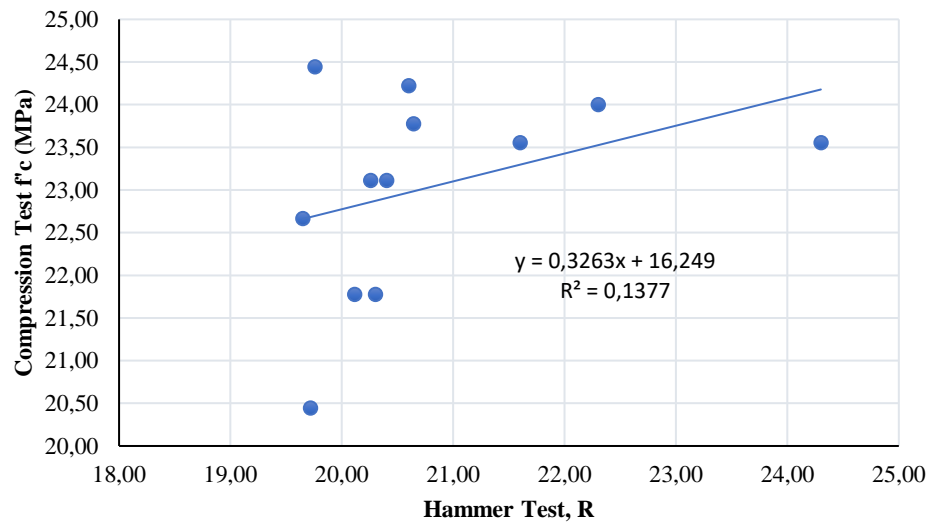
1. Analisis Regresi Linier Sederhana antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



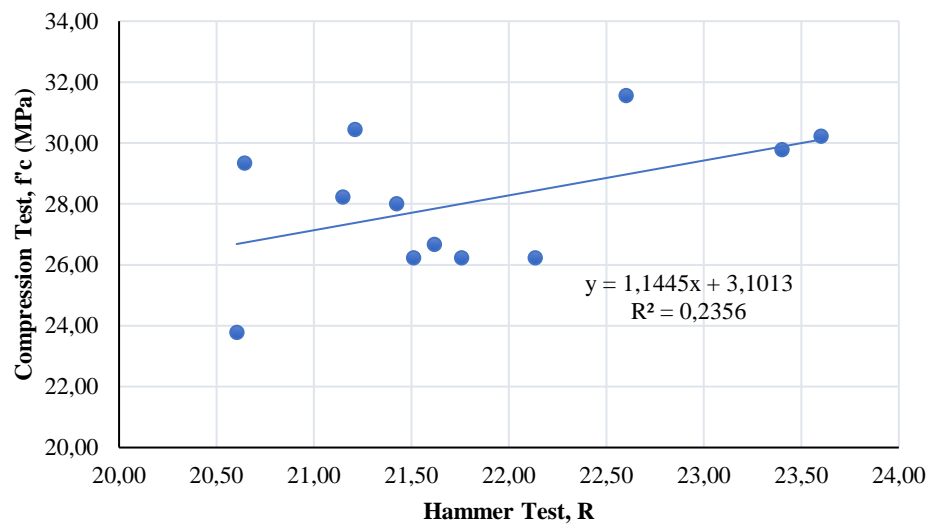
Gambar 5.17 Regresi Linier Benda Uji Kubus K225 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



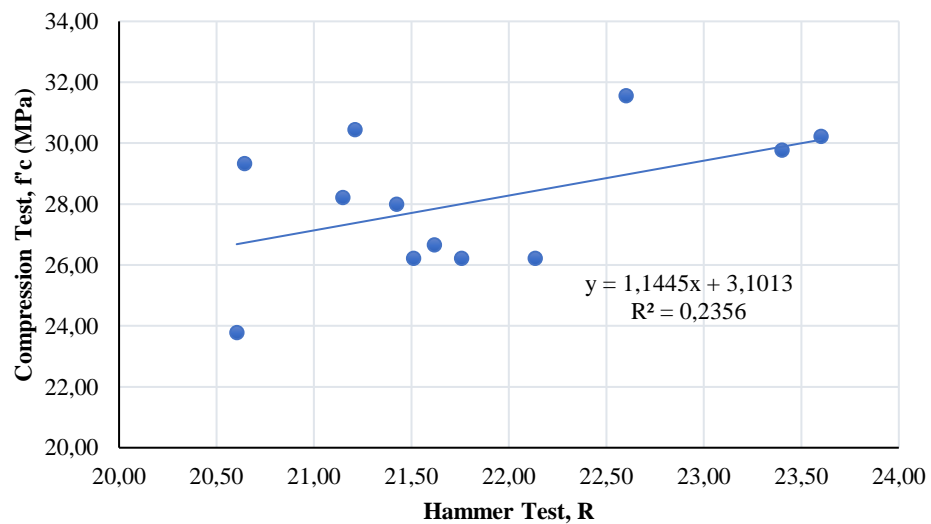
Gambar 5.18 Regresi Linier Benda Uji Kubus K250 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



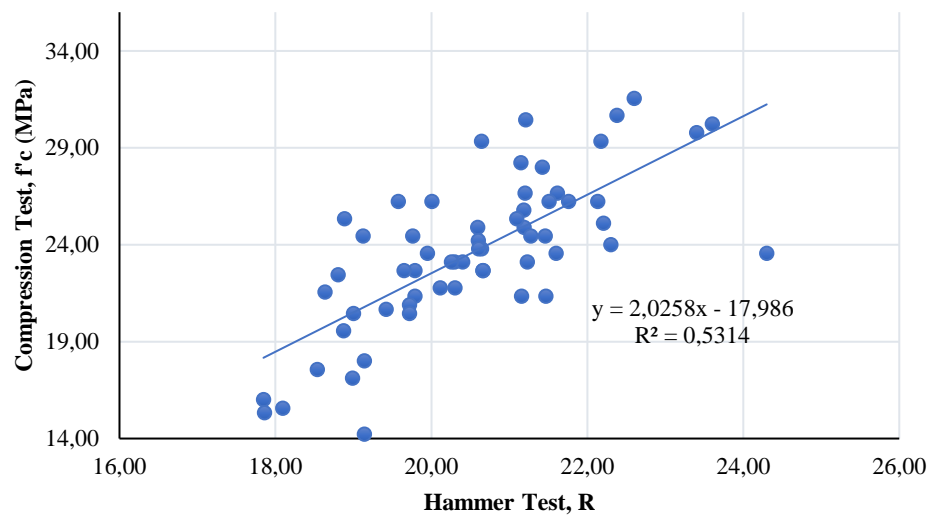
Gambar 5.19 Regresi Linier Benda Uji Kubus K275 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.110 Regresi Linier Benda Uji Kubus K300 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.11 Regresi Linier Benda Uji Kubus K325 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

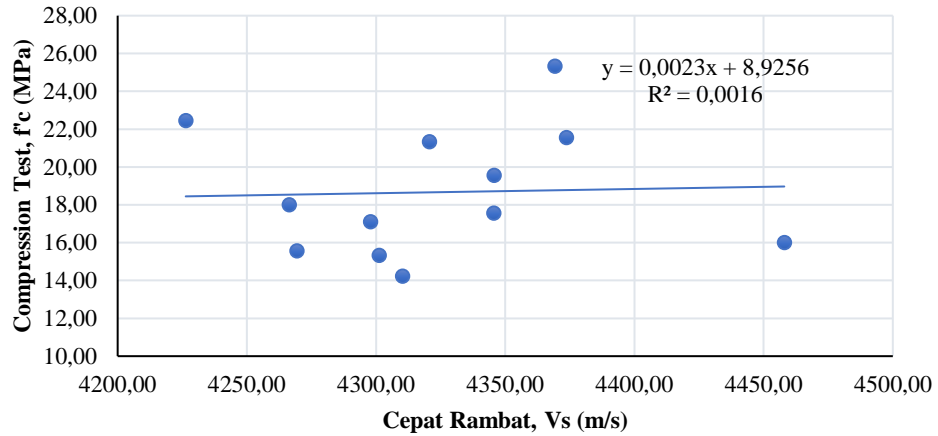


Gambar 5.12 Gabungan Regresi Linier antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

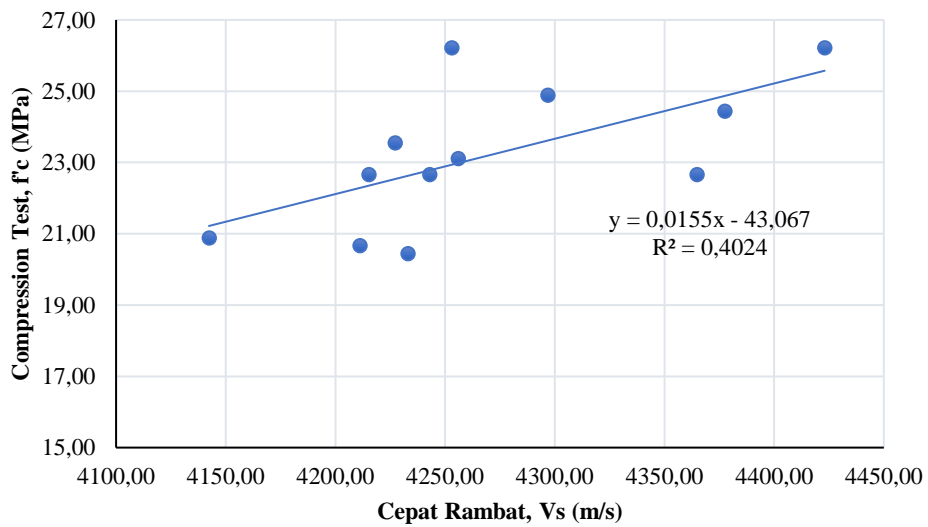
Tabel 5.34 Rekapitulasi Regresi Linier Antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)
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

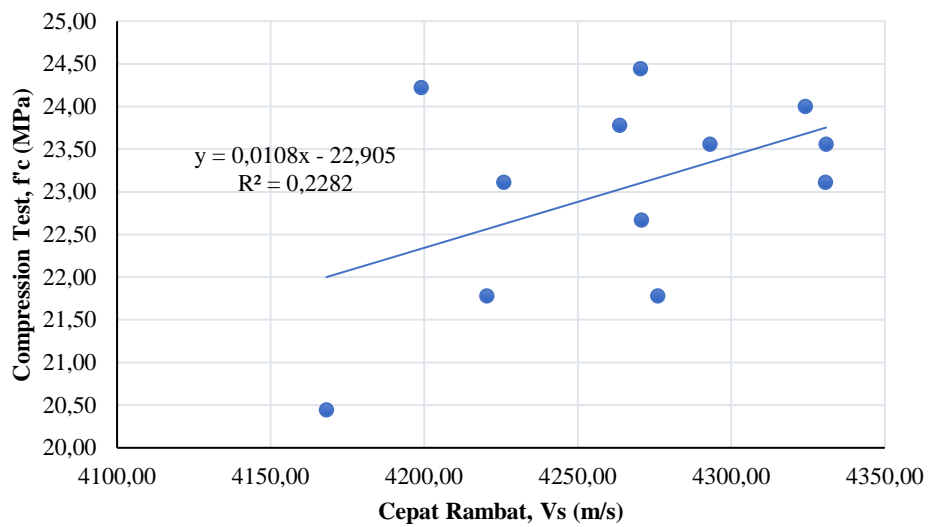
2. Analisis Regresi Linier Sederhana antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



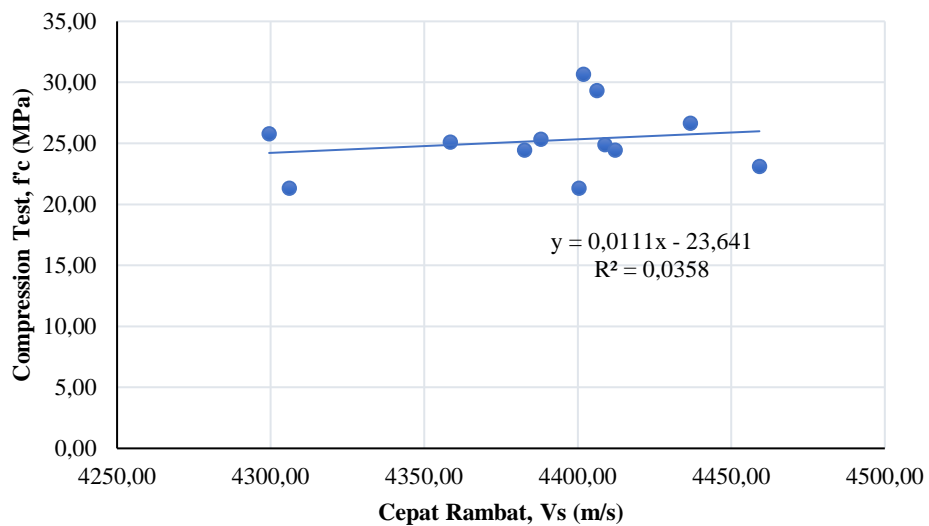
Gambar 5.13 Regresi Linier Benda Uji Kubus K225 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



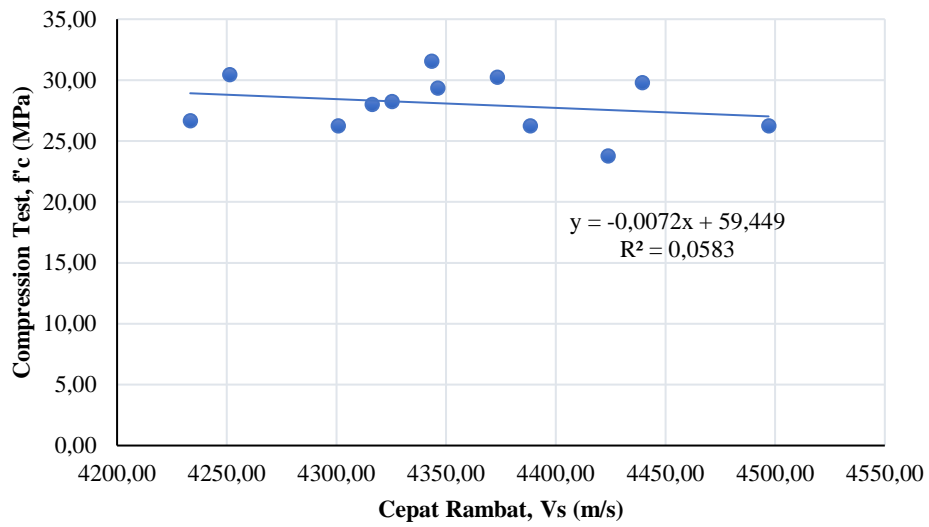
Gambar 5.14 Regresi Linier Benda Uji Kubus K250 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



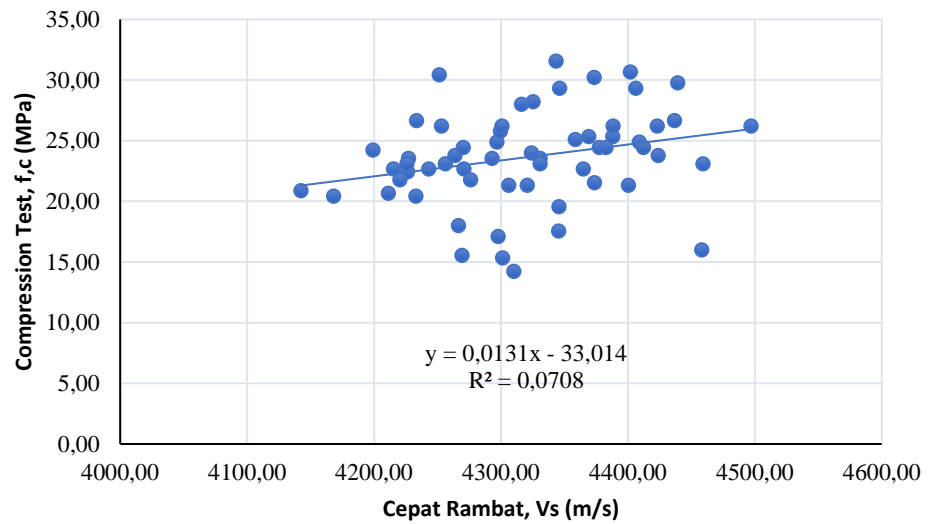
Gambar 5.15 Regresi Linier Benda Uji Kubus K275 antara UPV Test dengan Compression Test



Gambar 5.16 Regresi Linier Benda Uji Kubus K300 antara UPV Test dengan Compression Test



Gambar 5.17 Regresi Linier Benda Uji Kubus K325 antara UPV Test dengan Compression Test



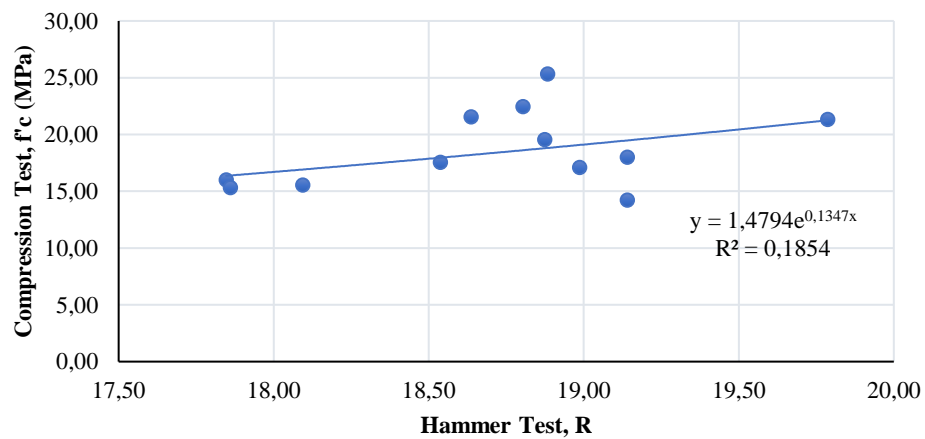
Gambar 5.18 Gabungan Regresi Linier antara UPV Test dengan Compression Test Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.29 Rekapitulasi Regresi Linier Antara UPV Test dengan *Compression Test*

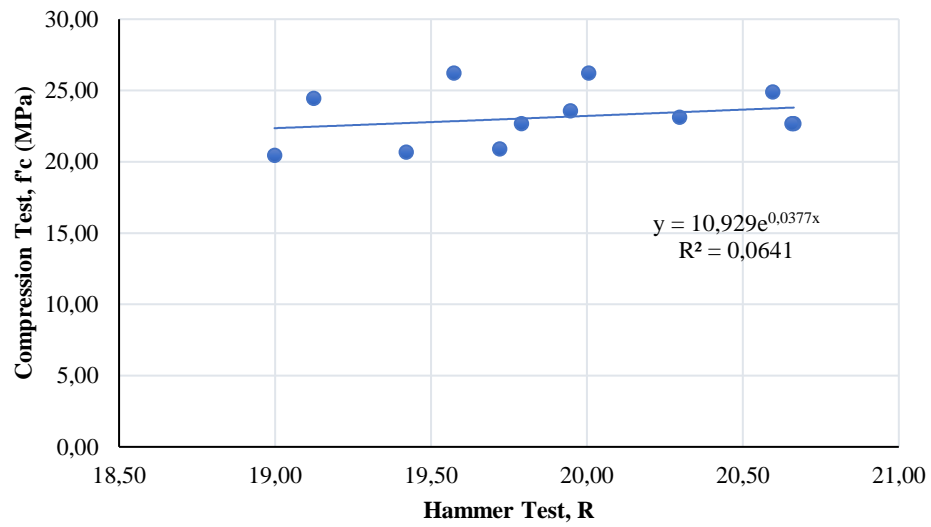
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)
K225	$Y = -0,0003X + 31,5$	0,0016
K250	$Y = 0,0068X - 5,9391$	0,4024
K275	$Y = -0,0003X + 24,102$	0,2282
K300	$Y = 0,0111X - 23,641$	0,0358
K325	$Y = -0,0072X + 59,449$	0,0583
Gabungan	$Y = 0,0131X - 33,014$	0,0708

5.8.2 Analisis Regresi Eksponensial

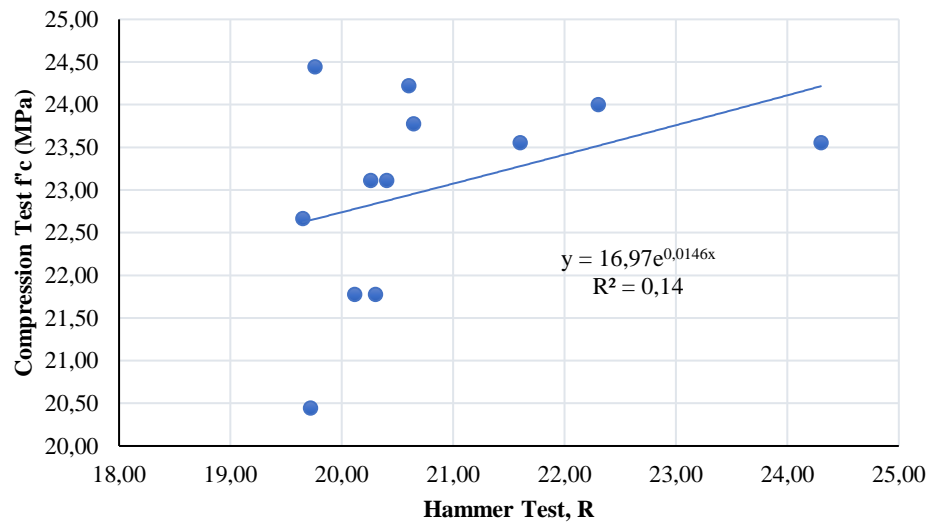
1. Analisis Regresi Eksponensial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



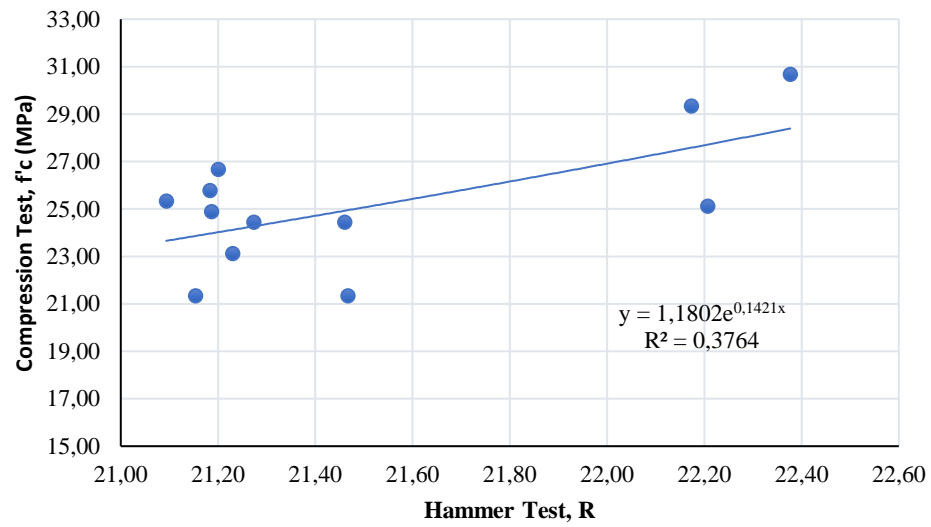
Gambar 5.28 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus K225 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



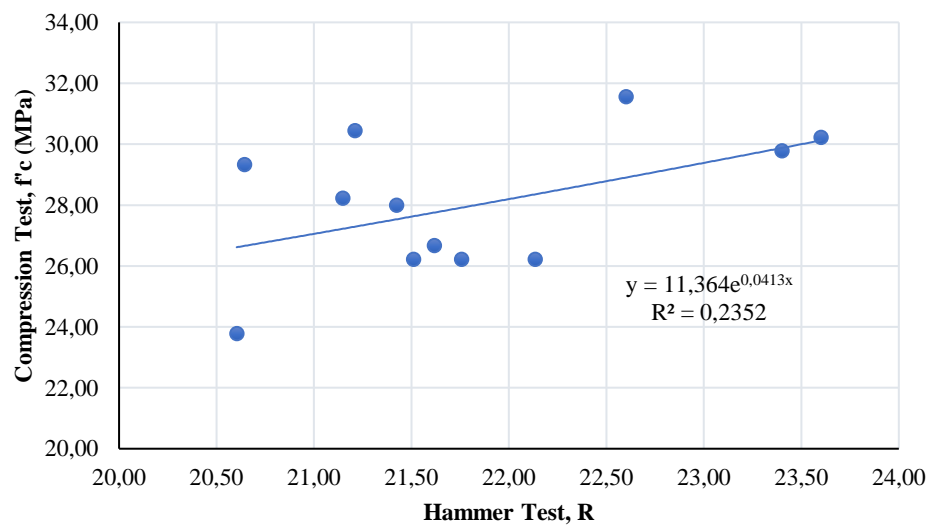
Gambar 5.29 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus K250 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



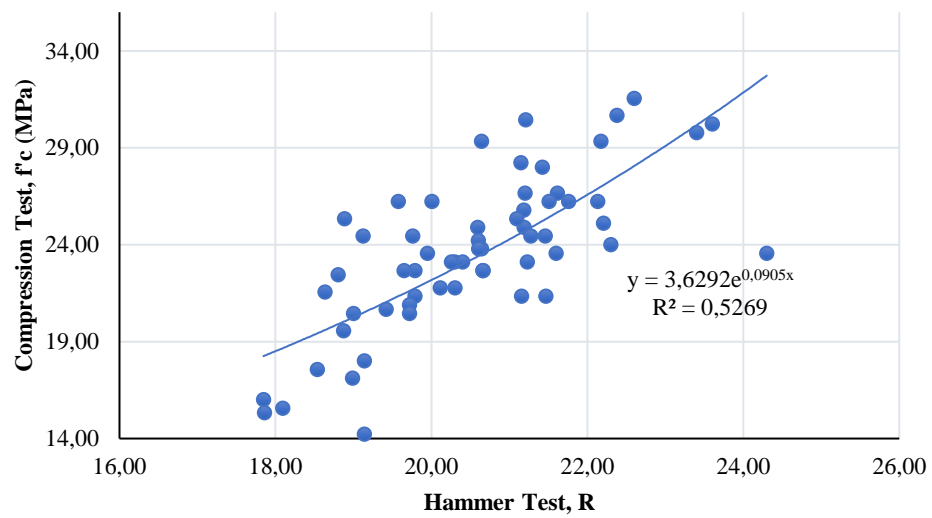
Gambar 5.30 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus K275 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.31 Regresi Ekponensial Benda Uji Kubus K300 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.32 Regresi Ekspensial Benda Uji Kubus K325 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

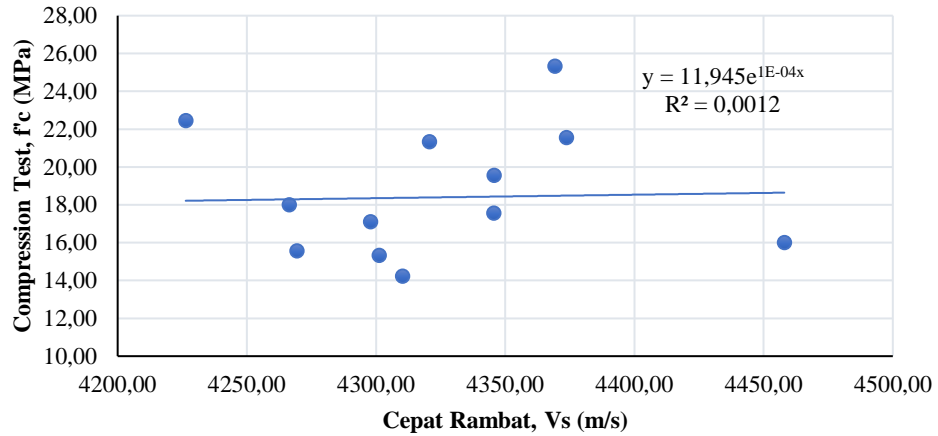


Gambar 5.33 Gabungan Regresi Eksponensial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

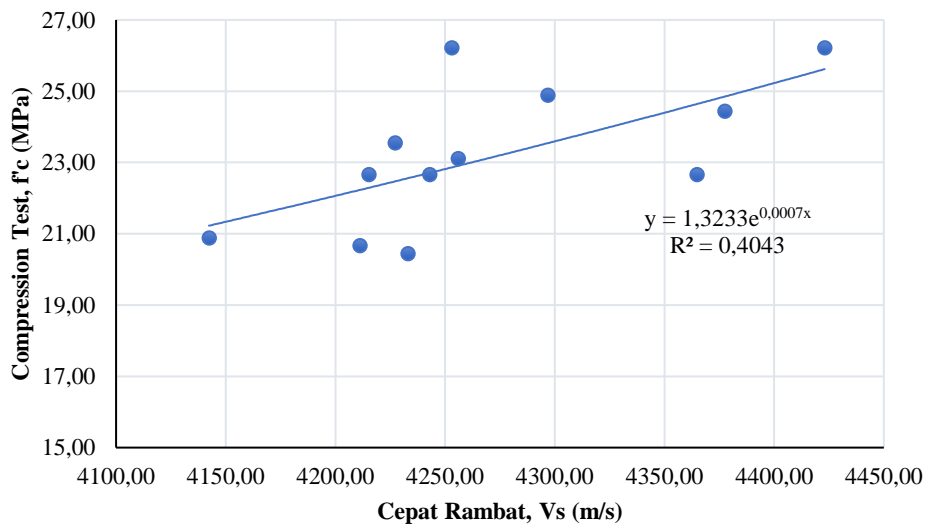
Tabel 5.30 Rekapitulasi Regresi Eksponensial Antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)
K225	$Y=1,4794e^{0,1347X}$	0,1686
K250	$Y=10,929e^{0,0377X}$	0,0525
K275	$Y=16,97e^{0,0146X}$	0,1353
K300	$Y=1,1802e^{0,1421X}$	0,4169
K325	$Y=11,364e^{0,0413X}$	0,2373
Gabungan	$Y=3,6292e^{0,0905X}$	0,499

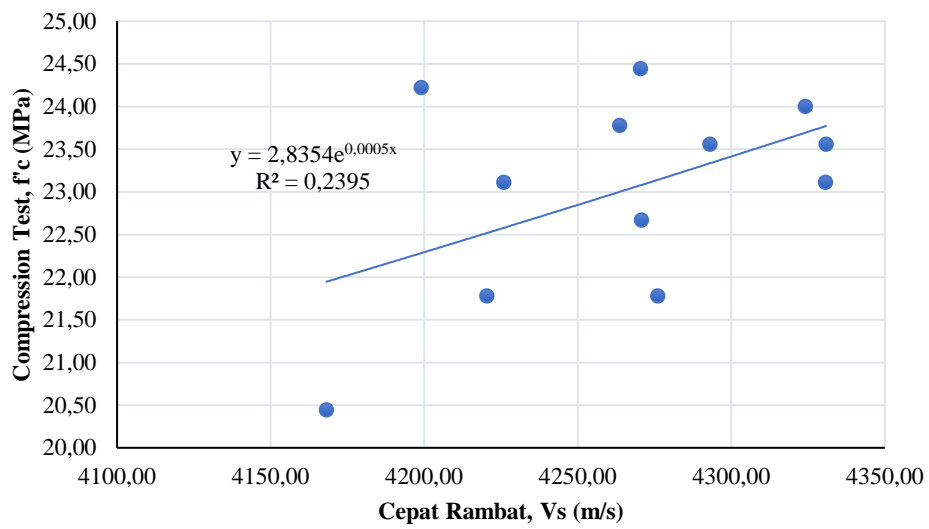
2. Analisis Regresi Ekponensial antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



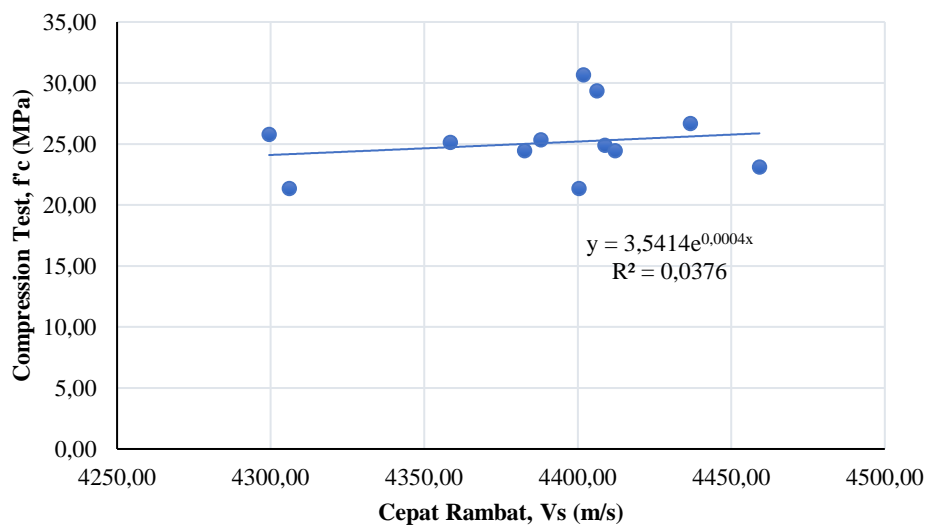
Gambar 5.34 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus K225 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



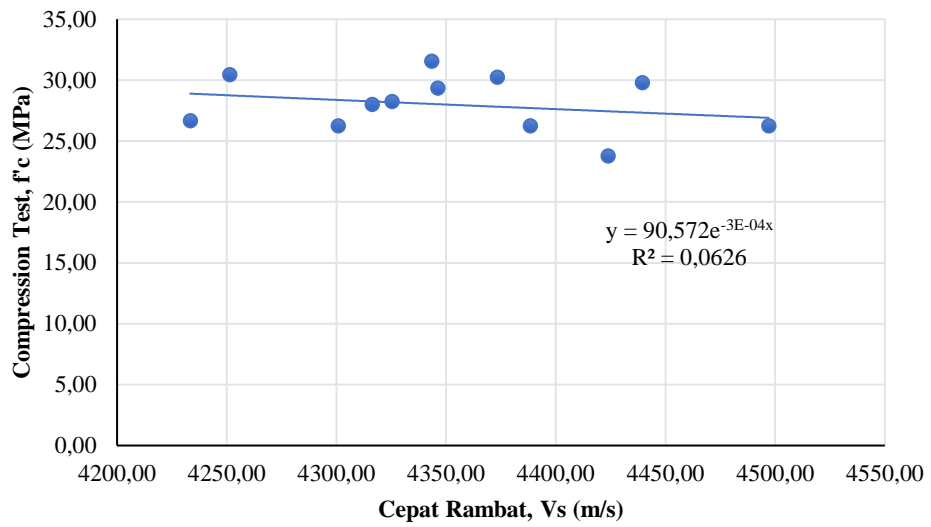
Gambar 5.35 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus K250 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



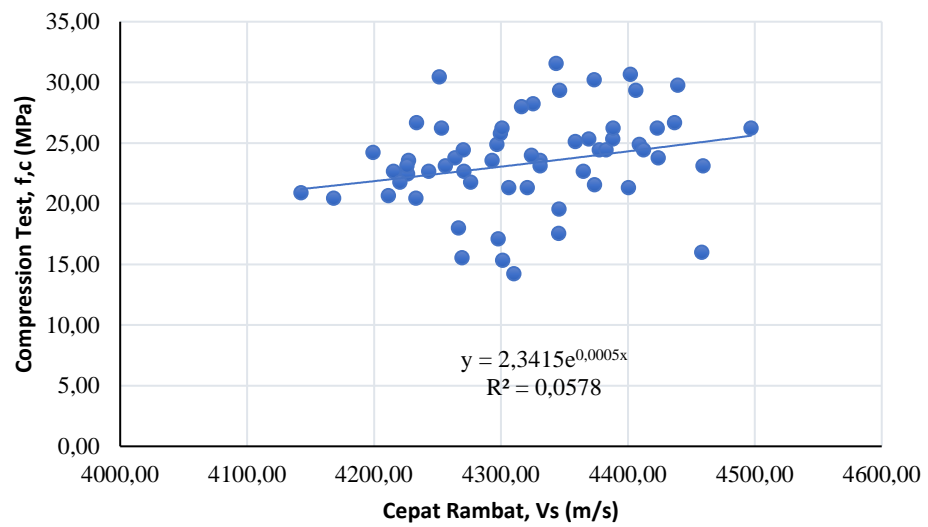
Gambar 5.36 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus K275 antara UPV Test dengan *Compression Test*



Gambar 5.37 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus K300 antara UPV Test dengan *Compression Test*



Gambar 5.38 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus K325 antara UPV Test dengan Compression Test



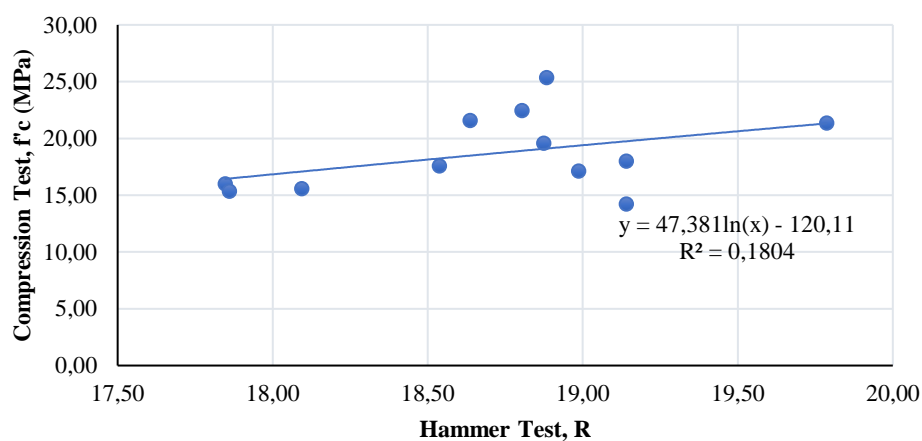
Gambar 5.39 Gabungan Eksponensial Regresi antara UPV Test dengan Compression Test Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.31 Rekapitulasi Regresi Eksponensial Antara UPV Test dengan *Compression Test*

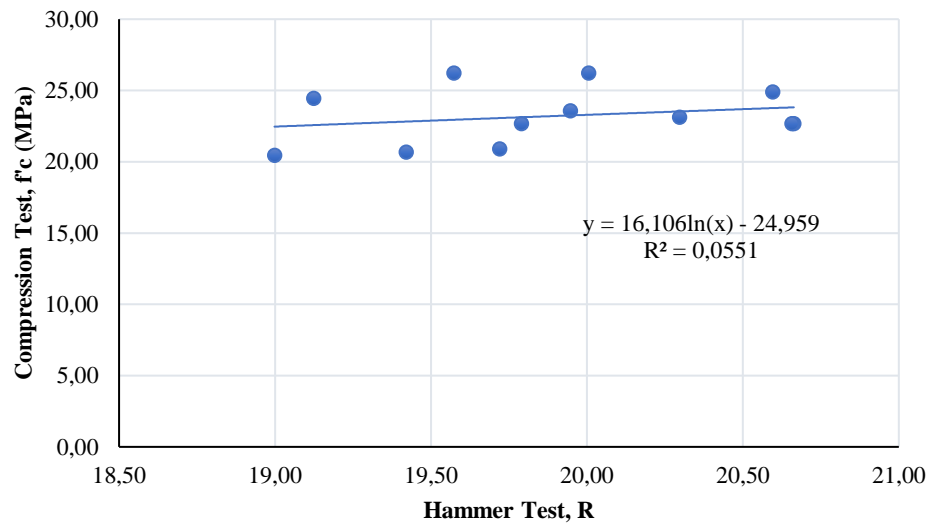
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K225	$Y=11,945e^{0,00001X}$	0,0016
K250	$Y=1,3233e^{0,0007X}$	0,3981
K275	$Y=2,8354e^{0,0005X}$	0,2249
K300	$Y=3,5414e^{0,0314X}$	0,0347
K325	$Y=90,572e^{0,00003X}$	0,0569
Gabungan	$Y=2,3415e^{0,0005X}$	0,0704

5.8.3 Analisis Regresi Logaritmik

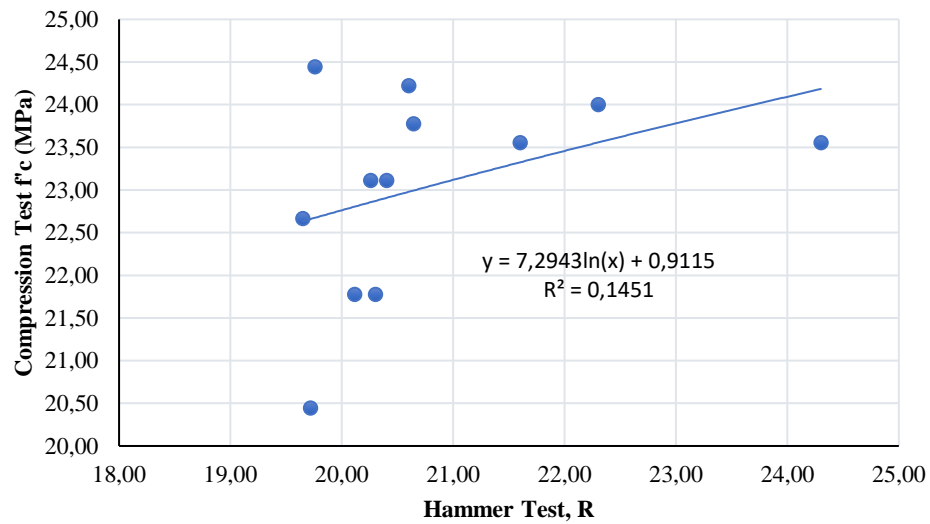
1. Analisis Regresi Logaritmik antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



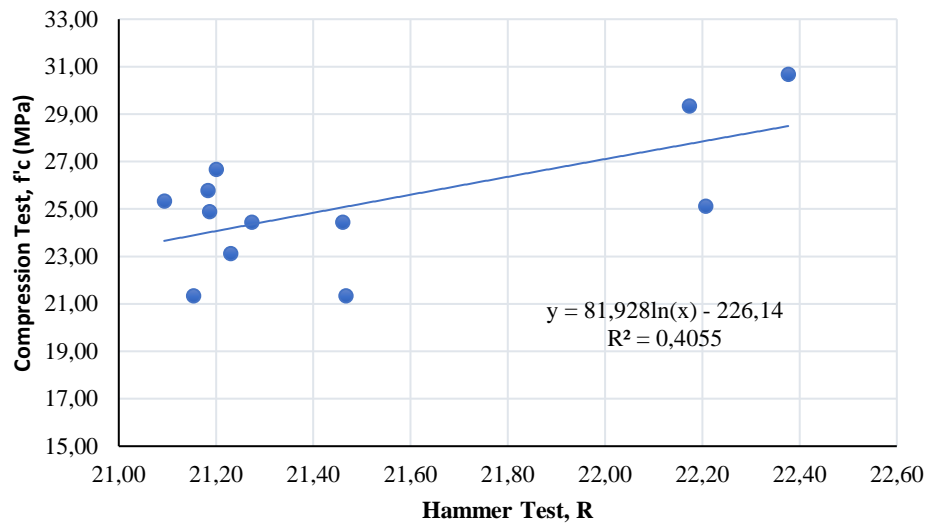
Gambar 5.40 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K225 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



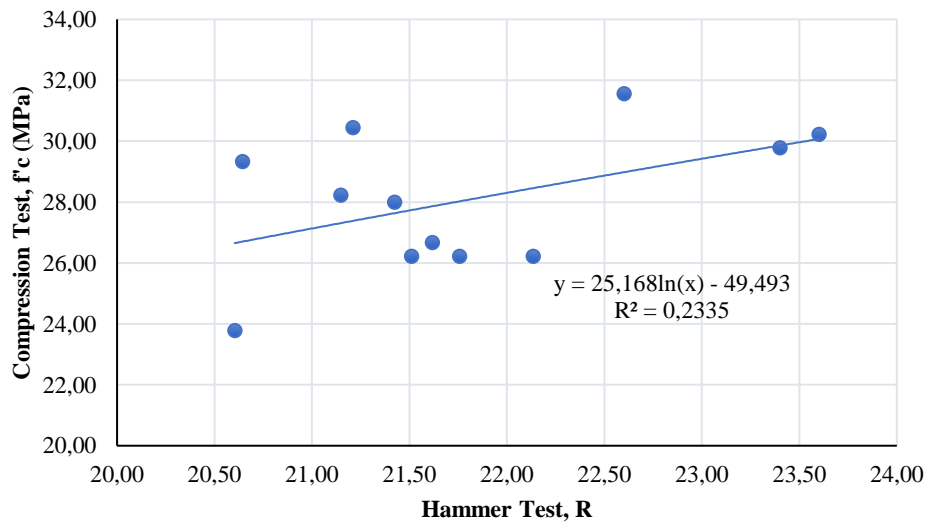
Gambar 5.41 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K250 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



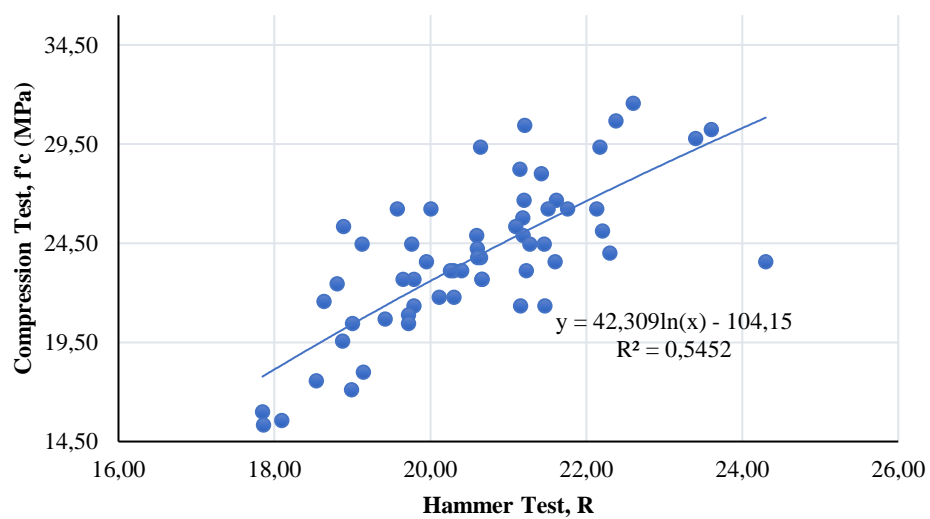
Gambar 5.42 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K275 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.43 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K300 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.44 Regresi Logaritmik Eksponensial Benda Uji Kubus K325 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

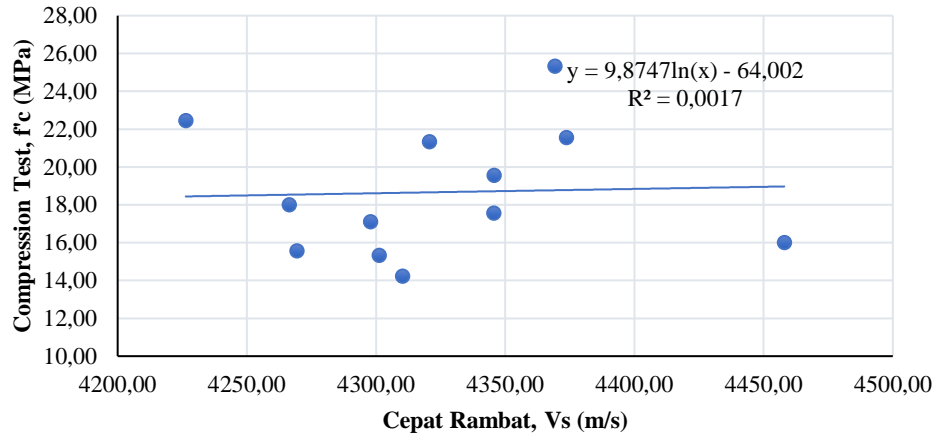


Gambar 5.45 Gabungan Regresi Logaritmik antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

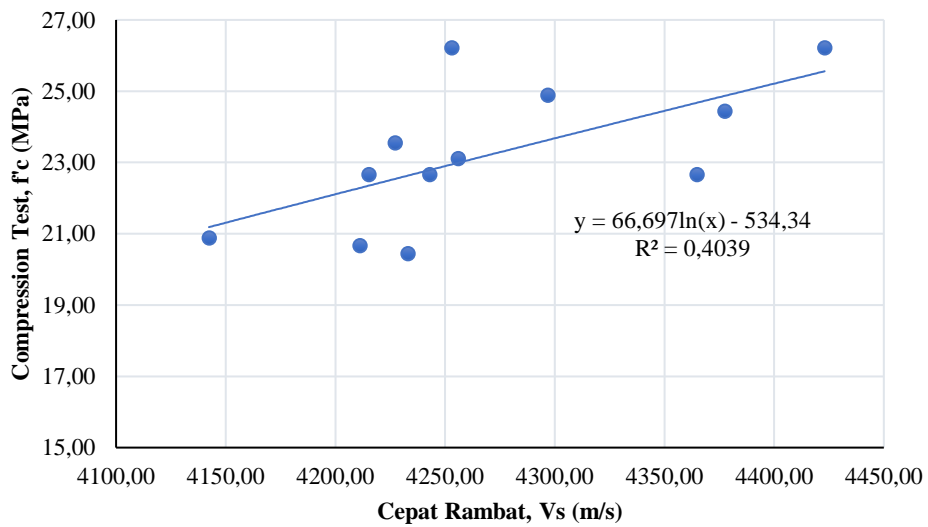
Tabel 5.32 Rekapitulasi Regresi Logaritmik Antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)
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
K325	$Y=25,168 \ln(X) -49,493$	0,2335
Gabungan	$Y=42,309 \ln(X) -104,15$	0,5452

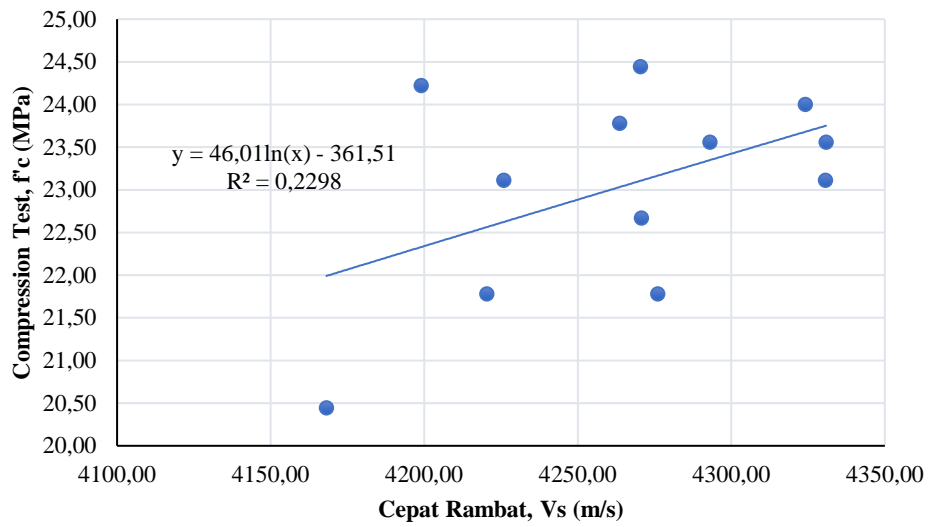
2. Analisis Regresi Logaritmik antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



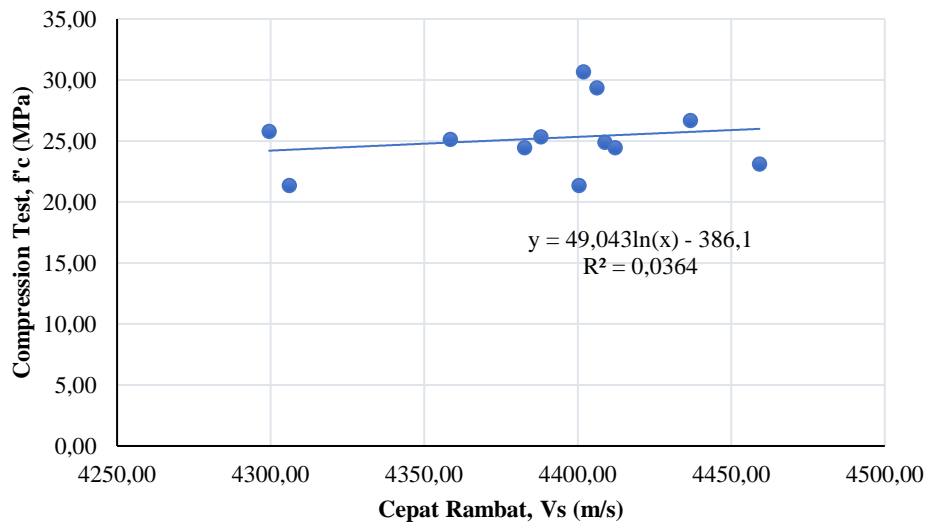
Gambar 5.46 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K225 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



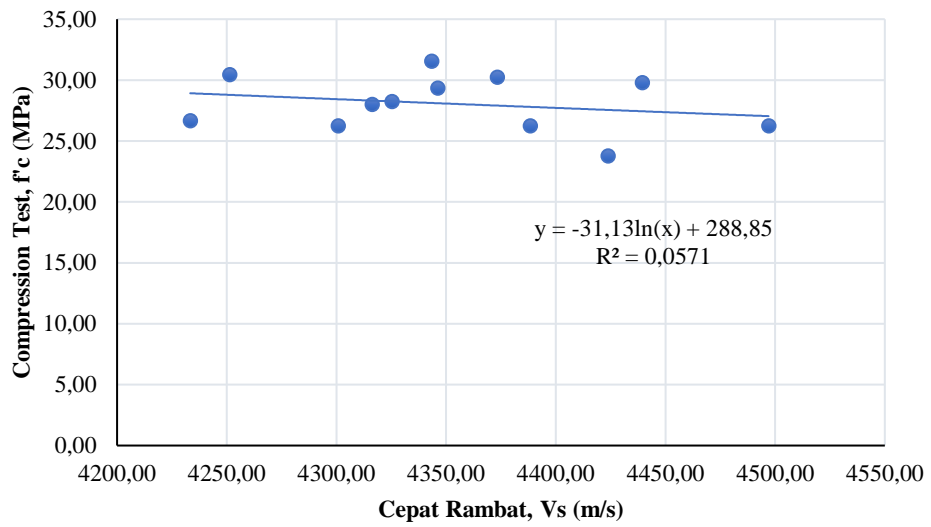
Gambar 5.47 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K250 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



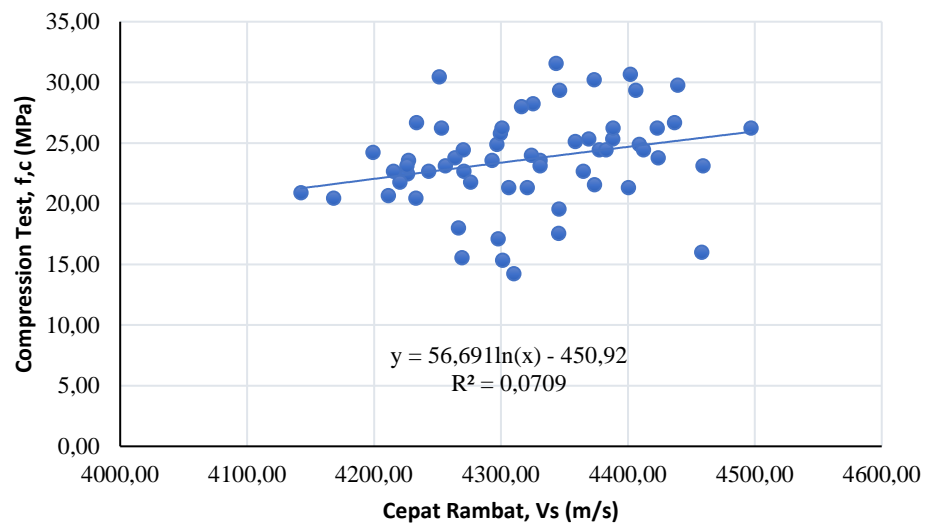
Gambar 5.48 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K275 antara UPV Test dengan Compression Test



Gambar 5.49 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K300 antara UPV Test dengan Compression Test



Gambar 5.50 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus K325 antara UPV Test dengan Compression Test



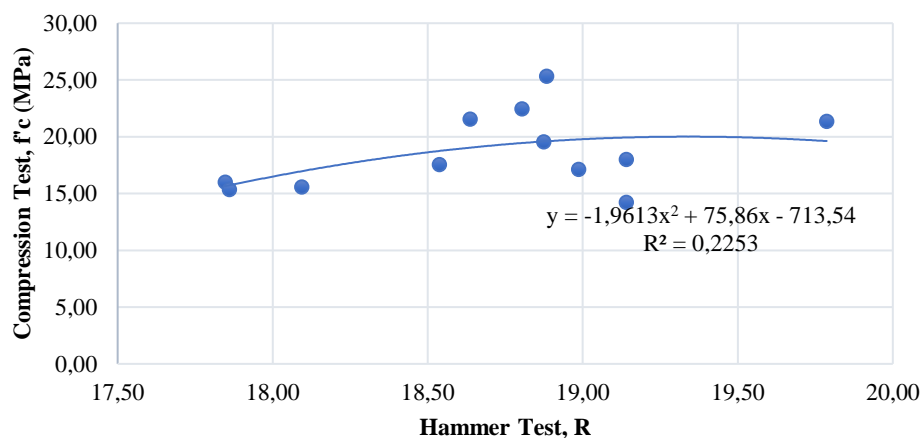
Gambar 5.51 Gabungan Logaritmik Regresi antara UPV Test dengan Compression Test Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.33 Rekapitulasi Regresi Logaritmik Antara UPV Test dengan *Compression Test*

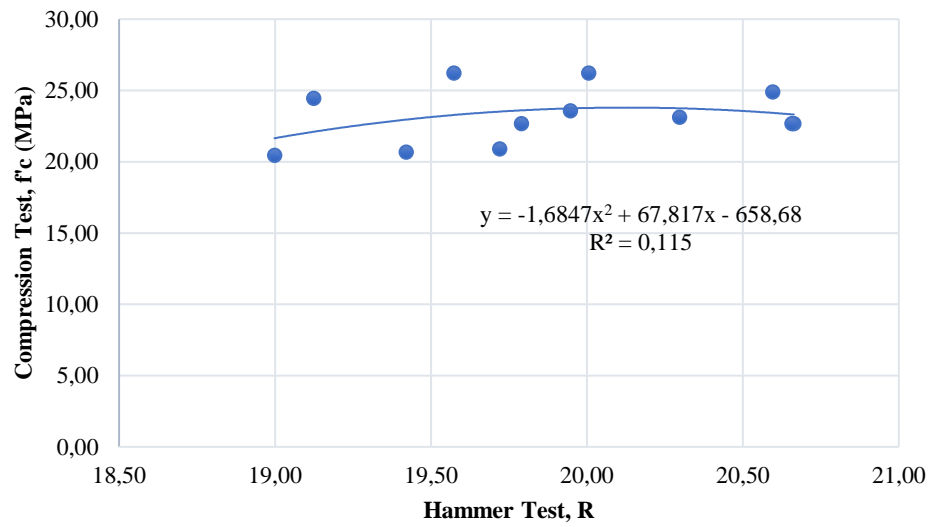
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K225	$Y=9,8747 \ln(X) -64,002$	0,0017
K250	$Y=66,697 \ln(X) -534,34$	0,4039
K275	$Y=46,01 \ln(X) - 361,51$	0,2298
K300	$Y=49,0491 \ln(X) -386,1$	0,0364
K325	$Y=-31,13 \ln(X) -288,85$	0,0571
Gabungan	$Y=56,691 \ln(X) -450,92$	0,0709

5.8.4 Analisis Regresi Polinomial

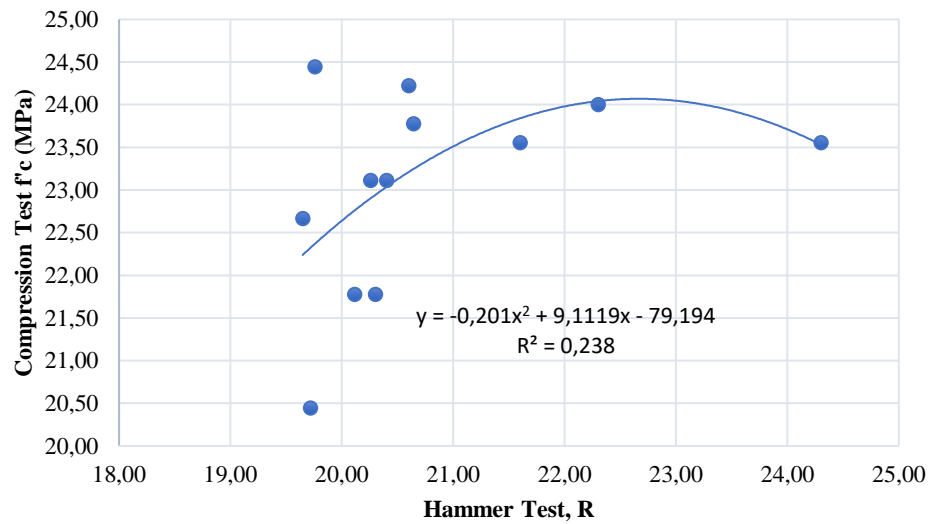
1. Analisis Regresi Polinomial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



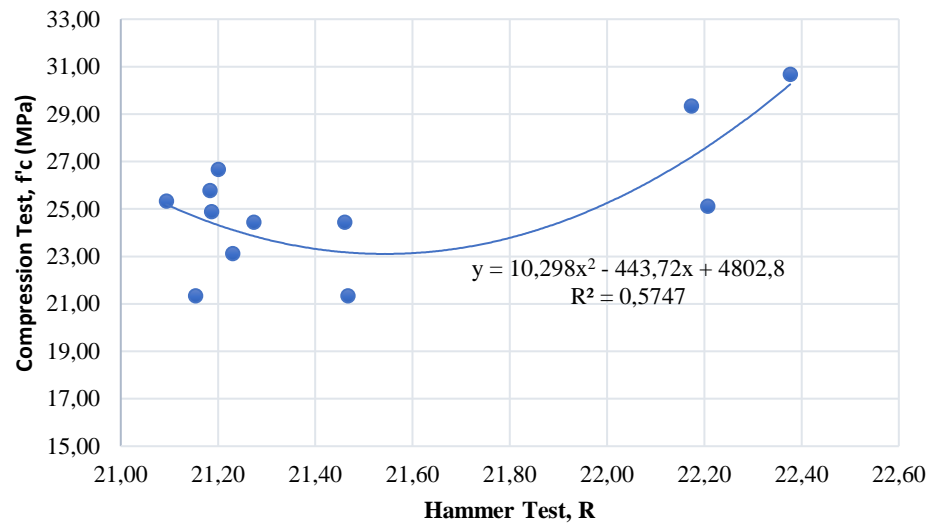
Gambar 5.52 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K225 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



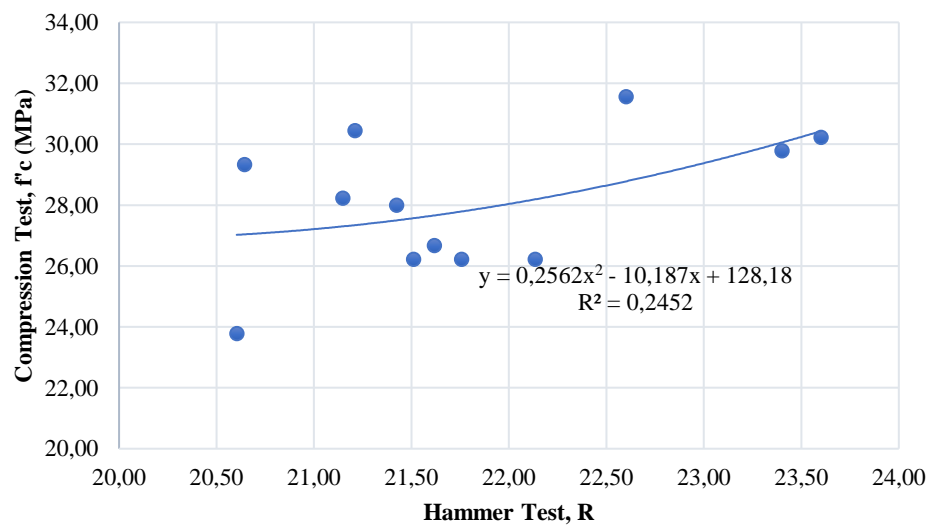
Gambar 5.53 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K250 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



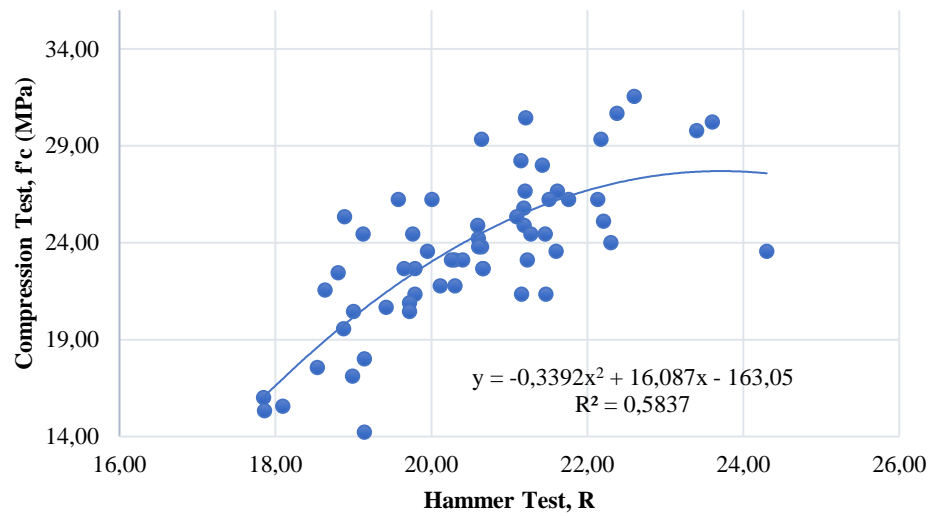
Gambar 5.54 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K275 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.55 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K300 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.56 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K325 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

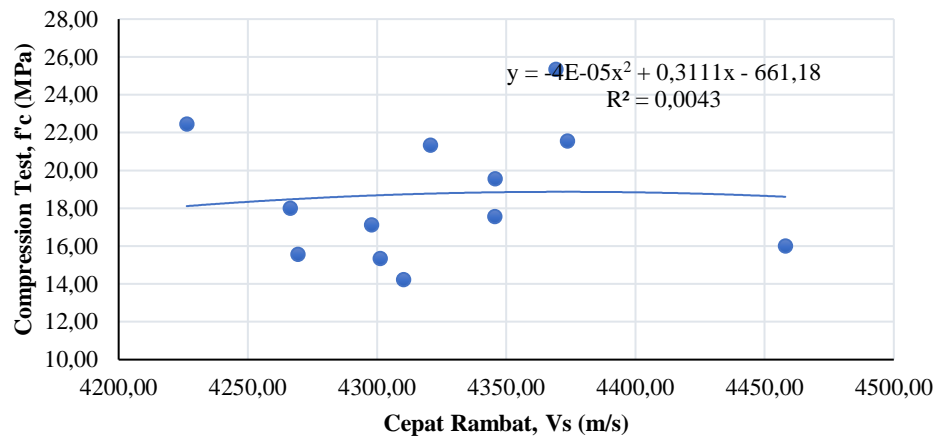


Gambar 5.57 Gabungan Regresi Polinomial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

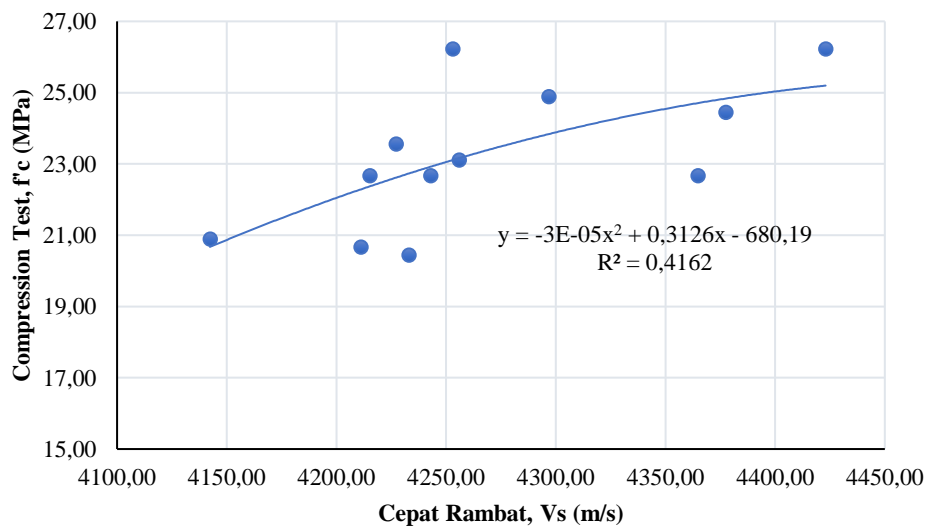
Tabel 5.34 Rekapitulasi Regresi Polinomial Antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)
K225	$Y = -1,9613X^2 + 75,86X - 713,54$	0,2253
K250	$Y = -1,6847X^2 + 67,817X - 658,68$	0,115
K275	$Y = -0,201X^2 + 9,1119X - 79,194$	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

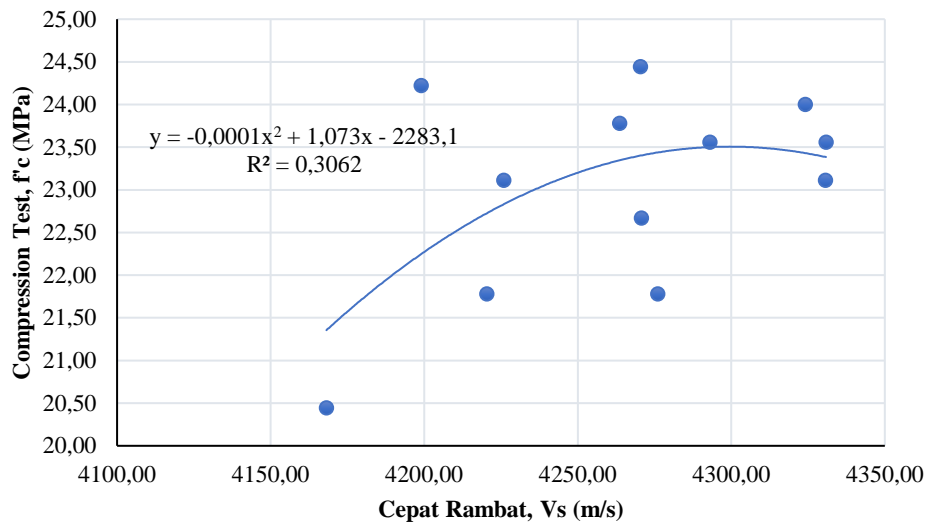
- Analisis Regresi Polinomial antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



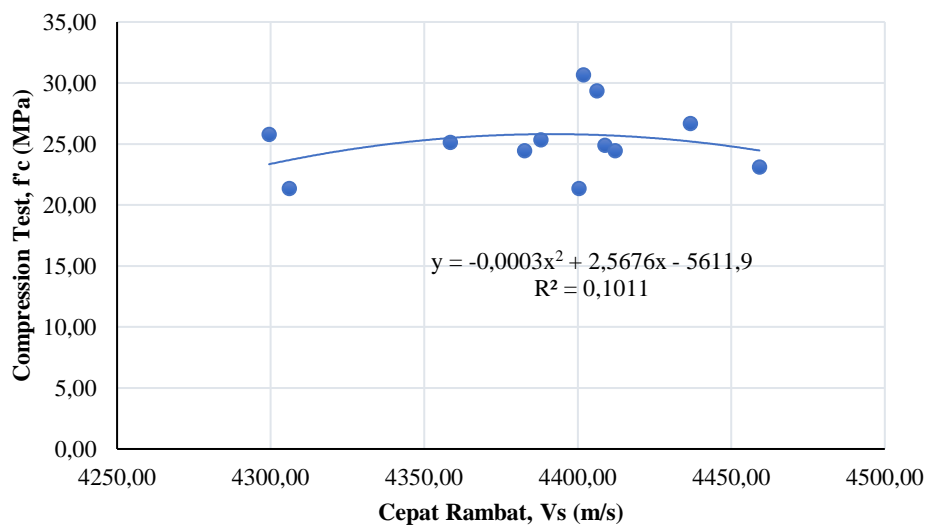
Gambar 5.58 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K225 antara UPV Test dengan Compression Test



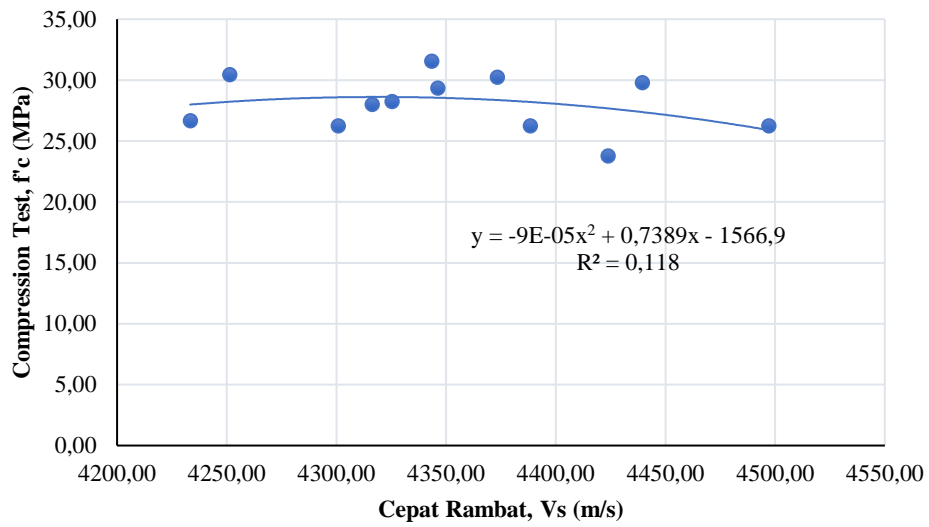
Gambar 5.59 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K250 antara UPV Test dengan Compression Test



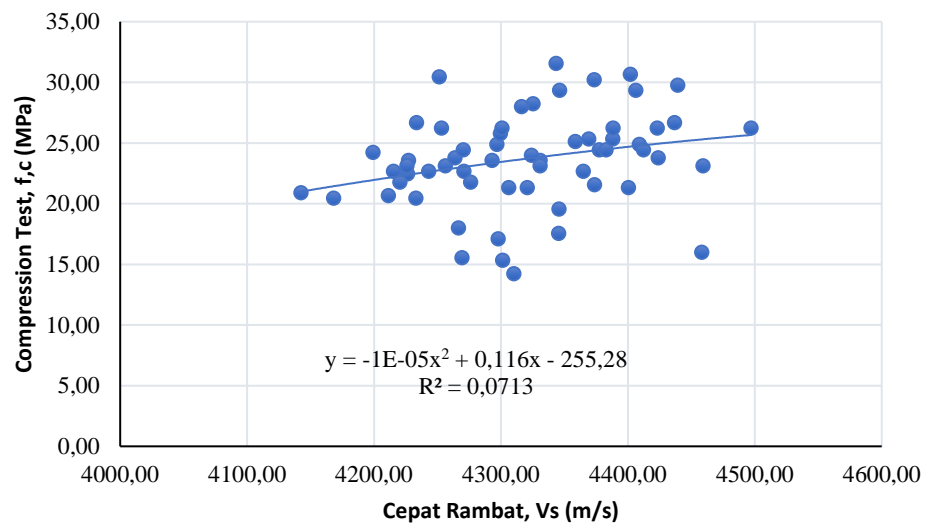
Gambar 5.60 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K275 antara UPV Test dengan Compression Test



Gambar 5.61 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K300 antara UPV Test dengan Compression Test



Gambar 5.62 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus K325 antara UPV Test dengan Compression Test



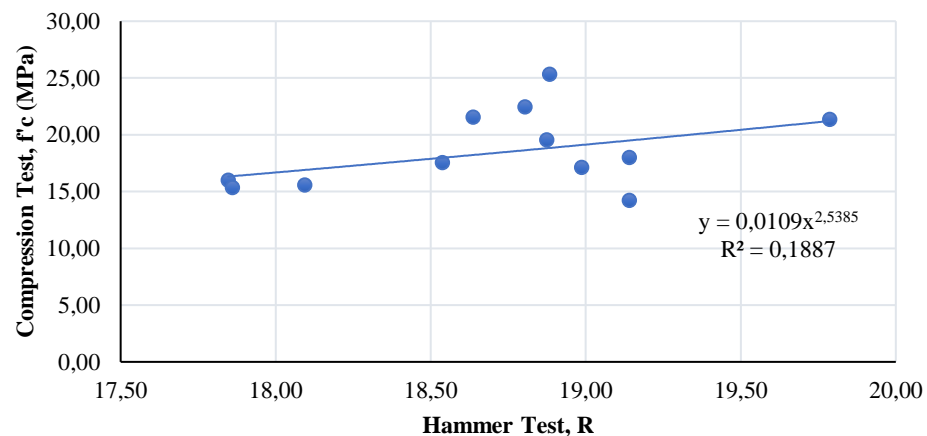
Gambar 5.63 Gabungan Polinomial Regresi antara UPV Test dengan Compression Test Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.35 Rekapitulasi Regresi Polinomial Antara UPV Test dengan *Compression Test*

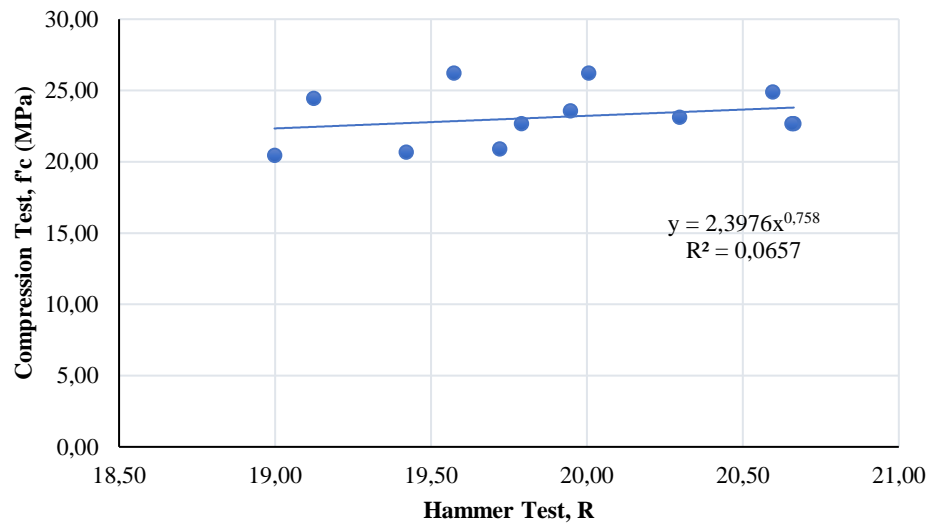
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K225	$Y = -0,00004X^2 + 0,3111X - 661,18$	0,0043
K250	$Y = -0,0003X^2 + 0,3126X - 680,19$	0,4162
K275	$Y = -0,001X^2 + 1,073X - 2283,1$	0,3062
K300	$Y = -0,003X^2 + 2,5676X - 5611,9$	0,1011
K325	$Y = -0,00009X^2 + 0,7389X - 1566,9$	0,118
Gabungan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

5.8.5 Analisis Regresi *Power*

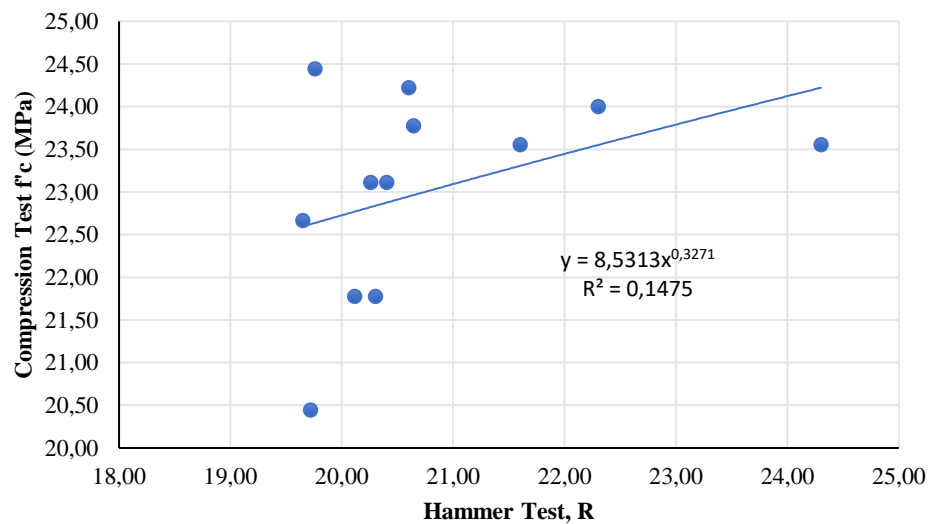
1. Analisis Regresi *Power* antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



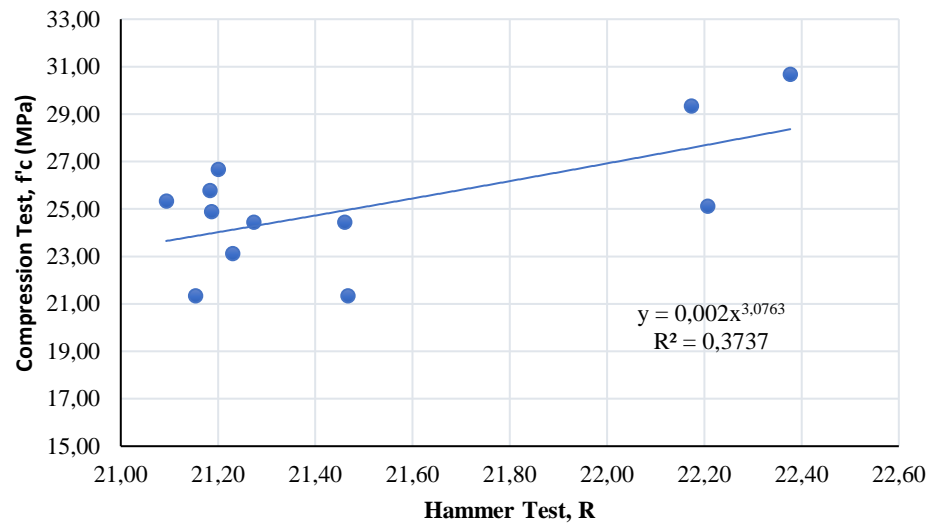
Gambar 5.194 Regresi *Power* Benda Uji Kubus K225 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



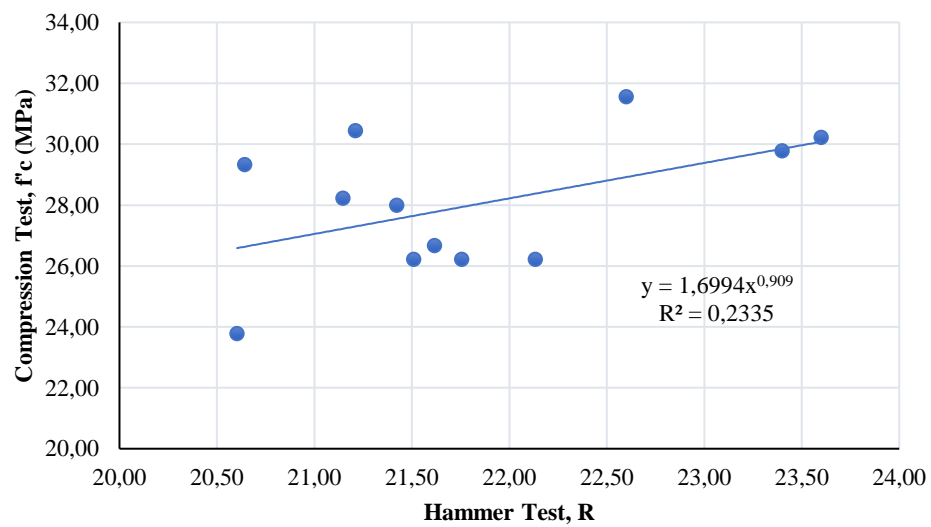
Gambar 5.65 Regresi *Power* Benda Uji Kubus K250 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



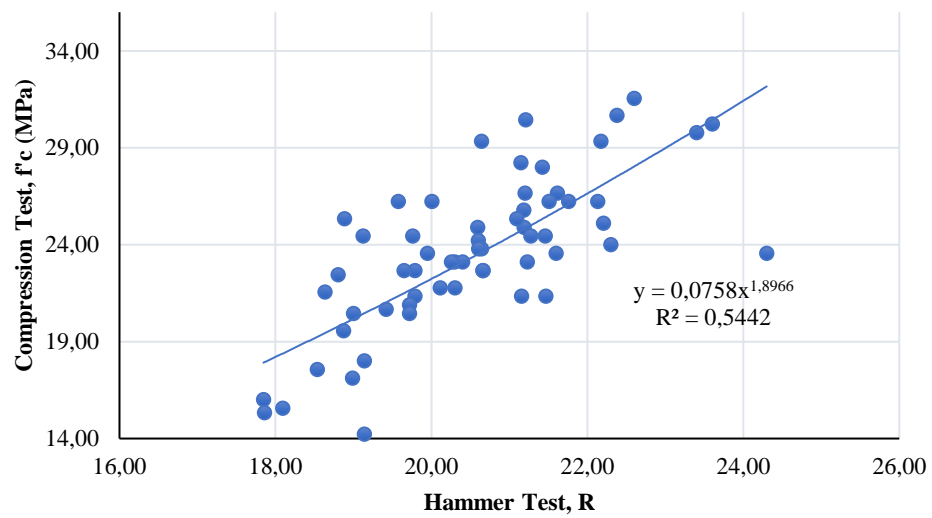
Gambar 5.66 Regresi *Power* Benda Uji Kubus K275 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.67 Regresi Power Benda Uji Kubus K300 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.68 Regresi Power Benda Uji Kubus K325 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

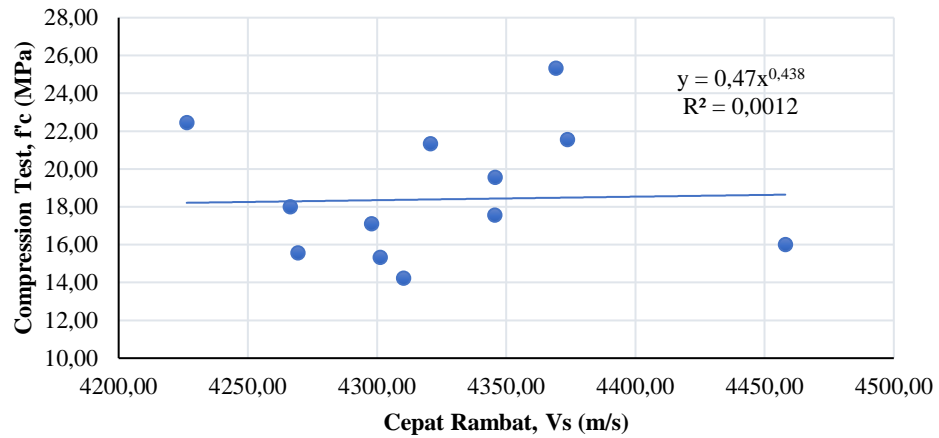


Gambar 5.69 Gabungan Regresi *Power* antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

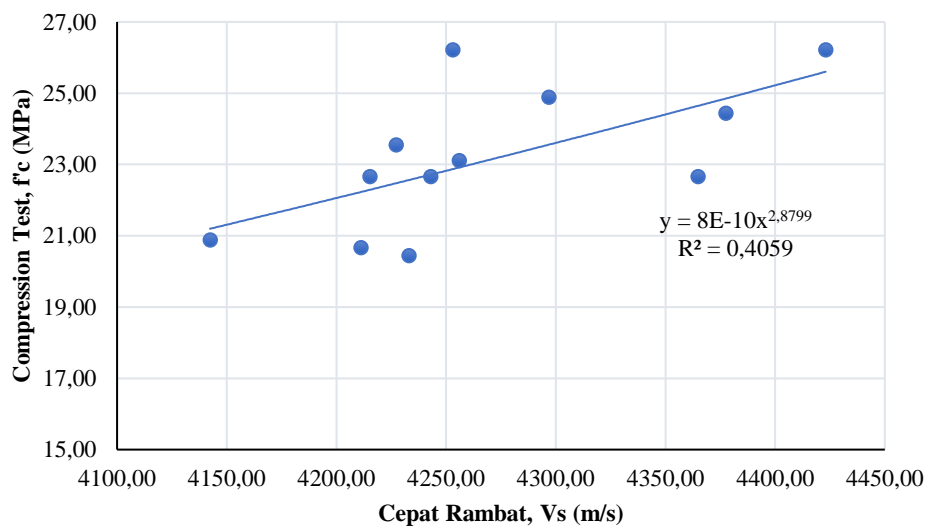
Tabel 5.36 Rekapitulasi Regresi *Power* Antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)
K225	$Y=0,0109X^{2,5385}$	0,1719
K250	$Y=2,3976X^{0,758}$	0,0539
K275	$Y=8,5313X^{0,3271}$	0,1427
K300	$Y=0,002X^{3,0763}$	0,4141
K325	$Y=1,6994X^{0,909}$	0,2354
Gabungan	$Y=0,0758X^{1,8966}$	0,5172

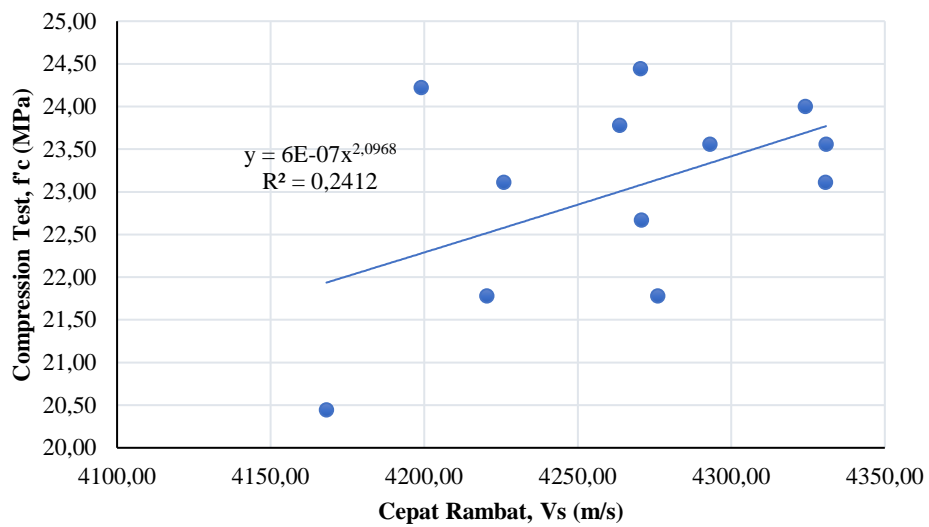
2. Analisis Regresi Polinomial antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



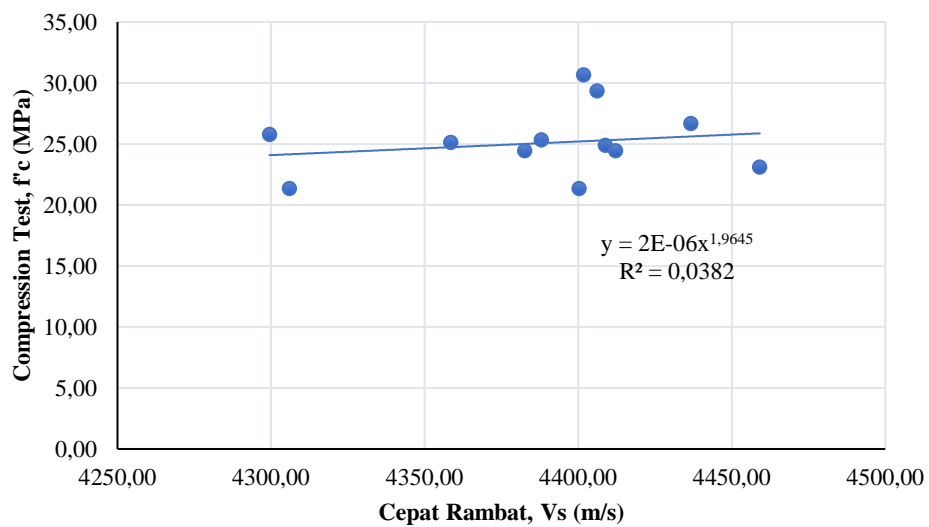
Gambar 5.70 Regresi Power Benda Uji Kubus K225 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



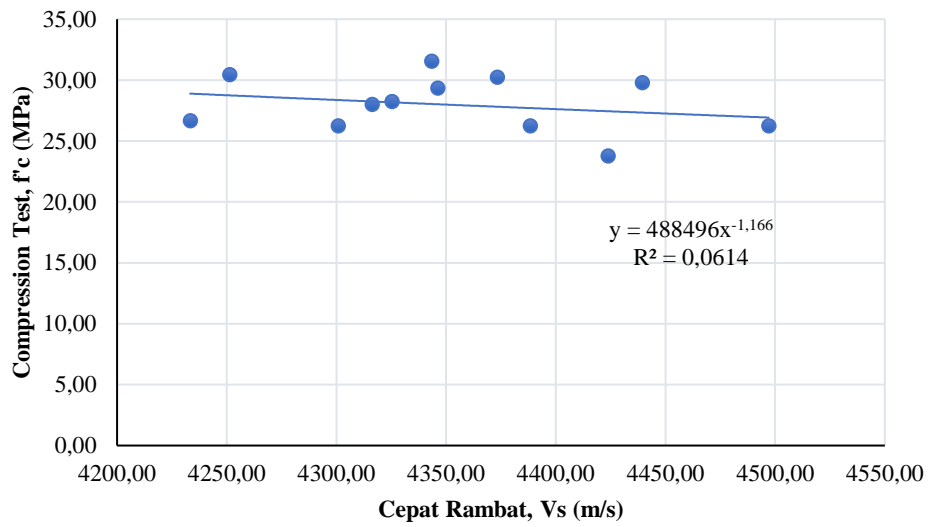
Gambar 5.71 Regresi Power Benda Uji Kubus K250 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



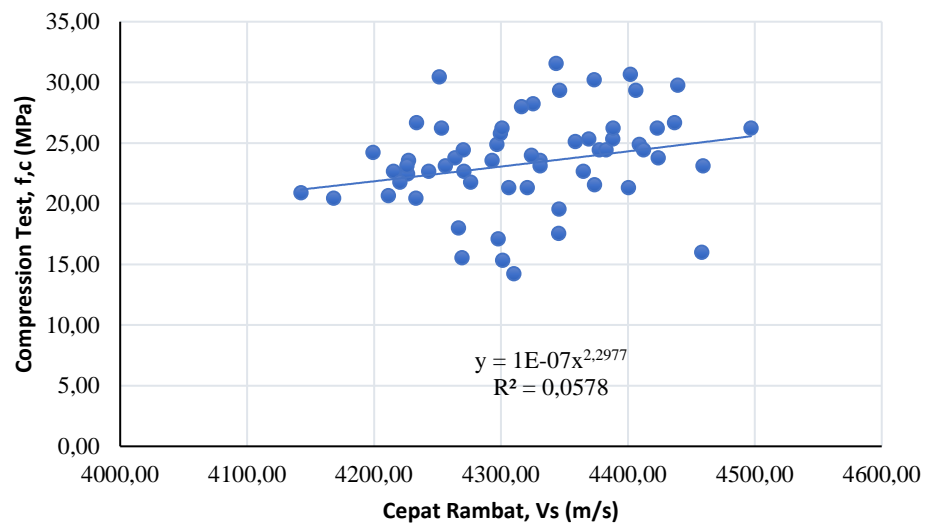
Gambar 5.72 Regresi *Power* Benda Uji Kubus K275 antara UPV Test dengan *Compression Test*



Gambar 5.73 Regresi *Power* Benda Uji Kubus K300 antara UPV Test dengan *Compression Test*



Gambar 5.74 Regresi Power Benda Uji Kubus K325 antara UPV Test dengan Compression Test



Gambar 5.75 Gabungan Regresi Power antara UPV Test dengan Compression Test Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.37 Rekapitulasi Regresi Power Antara UPV Test dengan Compression Test

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K225	$Y=0,47X^{0,438}$	0,0016
K250	$Y=0,0000000008X^{2,8799}$	0,3996
K275	$Y=0,0000006X^{2,0968}$	0,2264
K300	$Y=0,000002X^{1,9645}$	0,0353
K325	$Y=488496X^{-1,166}$	0,0557
Gabungan	$Y=0.0000001X^{2,2977}$	0,0706

5.8.6 Pembahasan Analisis Regresi Satu Variabel

Koefisien determinasi (R²) adalah suatu ukuran yang menunjukkan seberapa besar proporsi variabilitas total dari variabel tak bebas (Y) yang dapat dijelaskan oleh variabel bebas (X) melalui hubungan suatu *tredline*. Dari 5 Regresi yang telah di analisis, Regresi polinomial memiliki nilai korelasi tertinggi dibandingkan dengan regresi lainnya. Berikut merupakan rekapitulasi hasil persamaan regresi dari masing – masing *tredline*.

Tabel 5.38 Rekapitulasi Hasil *Tredline* Regresi Antara Hammer Test dengan Compression Test

Tredline Regresi	Persamaan Regresi (Gabungan K225, K250, K275, K300, K325)	Koefisien Determinasi (R ²)
Linier	$Y = 2,0258X + 17,986$	0,5314
Eksponensial	$Y=3,6292e^{0,0905X}$	0,499
Logaritmik	$Y=3,6292e^{0,0905X}$	0,5452
Polinomial	$Y=-0,339X^2 + 16,087X - 163,05$	0,5837
Power	$Y=0,0758X^{1,8966}$	0,5172

Tabel 5.39 Klasifikasi Nilai Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Koefisien Korelasi
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Tinggi
0,80 – 1,000	Sangat Tinggi

Sumber : Sugiyono (2018)

Tabel 5.38 menunjukkan bahwa korelasi (R^2) antara *Hammer test* dengan *Compression Test* memiliki nilai tertinggi pada regresi polinomial sebesar 0,5837. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sekitar 58,37% variasi dalam nilai variabel tak bebas (Y) dapat dijelaskan oleh nilai variabel bebas (X) melalui hubungan polinomial. Sisanya, yaitu sebesar 41,63% dapat didistribusikan kepada faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam analisis ini. Secara keseluruhan, berdasarkan grafik hubungan regresi antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan positif antara nilai *compression test* dan *hammer test* (gradien X bernilai positif). Artinya, semakin besar nilai kuat tekan beton yang diperoleh dari pengujian *hammer test*, semakin besar pula nilai aktual yang diperoleh dari pengujian *compression test*.

$$Y = -0,339X^2 + 16,087X - 163,05 \quad (5.1)$$

Keterangan :

X = Nilai *rebound hammer*

Y = Estimasi nilai kuat tekan beton

Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil *Tredline* Regresi Antara UPV Test dengan *Compression Test*

Tredline Regresi	Persamaan Regresi (Gabungan K225, K250, K275, K300, K325)	Koefisien Determinasi (R^2)
Linier	$Y = 0,0131X - 33,014$	0,0708
Eksponensial	$Y = 2,3415e^{0,0005X}$	0,0704
Logaritmik	$Y = 56,691 \ln(X) - 450,92$	0,0709
Polinomial	$Y = -0,000001X^2 + 0,116X - 255,28$	0,0713
Power	$Y = 0.00000001X^{2,2977}$	0,0706

Tabel 5.39 menunjukkan bahwa korelasi (R^2) antara *UPV Test* dengan *Compression Test* memiliki nilai tertinggi pada regresi polinomial sebesar 0,0713. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sekitar 7,13% variasi dalam nilai variabel tak bebas (Y) dapat dijelaskan oleh nilai variabel bebas (X) melalui hubungan polinomial. Sisanya, yaitu sebesar 92,87% dapat didistribusikan kepada faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam analisis ini. Secara keseluruhan, berdasarkan grafik hubungan regresi antara UPV test dengan *compression test* di atas, dapat disimpulkan bahwa pengaruh nilai UPV tidak memiliki korelasi dengan nilai kuat tekan beton aktual.

Penelitian yang dilakukan oleh Orioz, dkk (2012), Chandra (2019), dan Rizkiasari (2020) menunjukkan bahwa nilai UPV semakin meningkat seiring dengan meningkatkan nilai kuat tekan beton. Namun pada penelitian ini, nilai UPV tidak memiliki hubungan yang kuat dengan nilai kuat tekan beton aktual dikarenakan nilai UPV yang seragam pada semua mutu variasi beton. Hal tersebut diperkirakan dapat terjadi karena pemadatan pada pembuatan benda uji yang ideal.

$$Y = -0,00001X^2 + 0,116X - 255,28 \quad (5.2)$$

Keterangan :

X = Nilai cepat rambat (m/s)

Y = Estimasi nilai kuat tekan beton

5.8.7 Analisis Regresi Linier Berganda dan Korelasi Linier Berganda

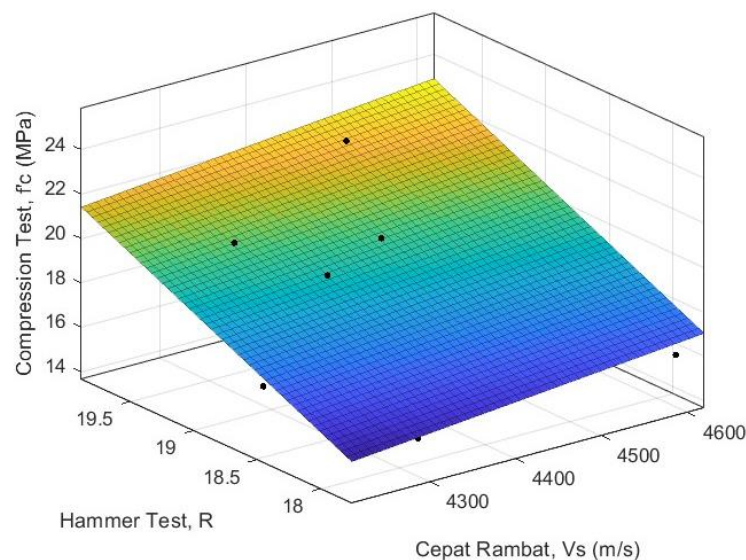
Analisis regresi linier berganda digunakan untuk memperkirakan perubahan nilai suatu variabel tertentu jika terdapat perubahan pada variabel lainnya. Dalam analisis ini, kita menggunakan lebih dari satu variabel bebas (variabel independen) sebagai prediktor. Analisis korelasi berganda digunakan untuk mengevaluasi derajat atau kekuatan hubungan antara variabel X (*hammer test* dan UPV test) dan variabel Y (*compression test*). Analisis ini membantu kita memahami sejauh mana hubungan antara variabel-variabel tersebut dan apakah hubungan tersebut signifikan.

Pada penelitian ini terdapat dua jenis perangkat lunak yang digunakan yaitu IBM SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*) dan MATLAB (*Matrix Laboratory*). IBM SPSS adalah perangkat lunak yang digunakan untuk

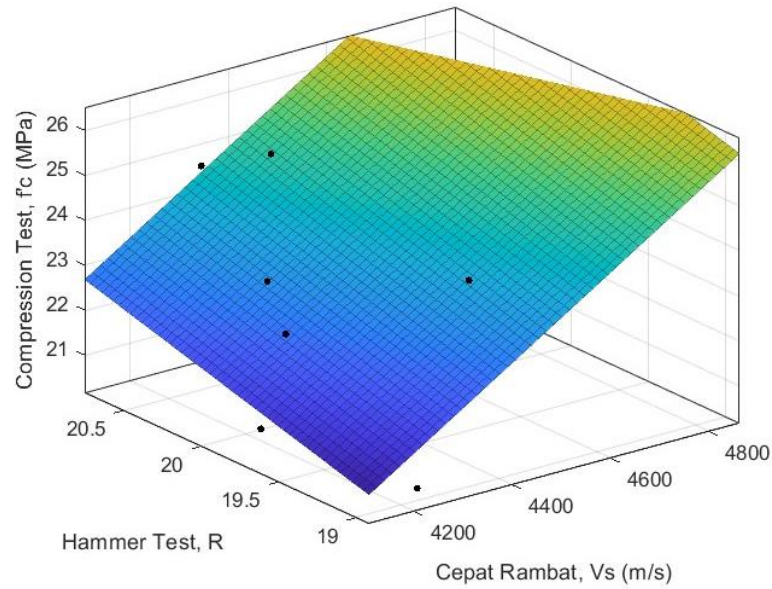
menganalisis nilai regresi, khususnya untuk mencari persamaan korelasi antara *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Sedangkan, MATLAB adalah sebuah program yang digunakan untuk menganalisis dan menghitung data numerik. Dalam penelitian ini, data hasil pengujian dimasukkan ke dalam aplikasi MATLAB, yang akan menghasilkan grafik korelasi antara ketiga metode pengujian di atas.

5.8.8 Grafik Hubungan Korelasi antara *Hammer Test*, *UPV Test* dan *Compression Test*

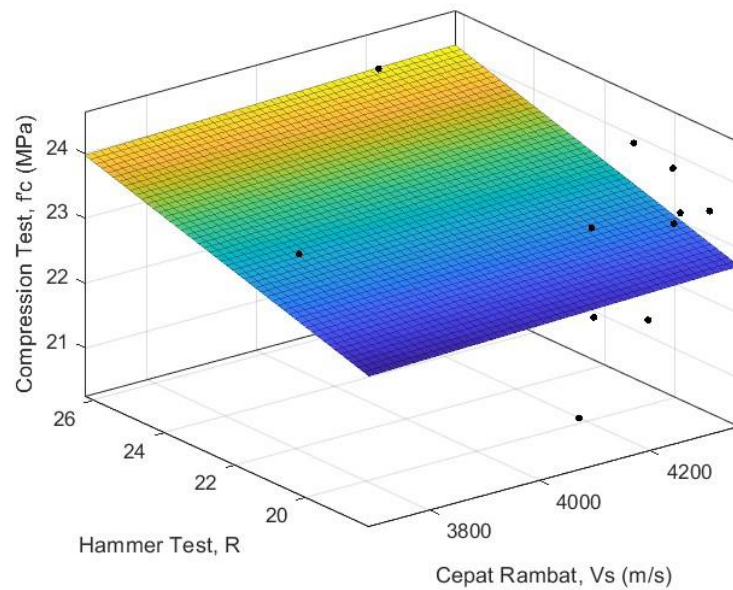
Pada penelitian ini, penggunaan perangkat lunak MATLAB (*Matrix Laboratory*) bertujuan untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik. Data hasil penelitian dimasukkan ke dalam aplikasi MATLAB untuk menghasilkan grafik hubungan korelasi antara ketiga metode pengujian, yaitu *non-destructive test* dan *compression test*. Dengan menggunakan MATLAB, kita dapat memvisualisasikan hubungan antara metode pengujian tersebut secara lebih jelas dan intuitif. Grafik-garafik ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara *non-destructive test* dan *Compression Test*. Berikut adalah grafik hubungan korelasi dari ketiga pengujian menggunakan software MATLAB.



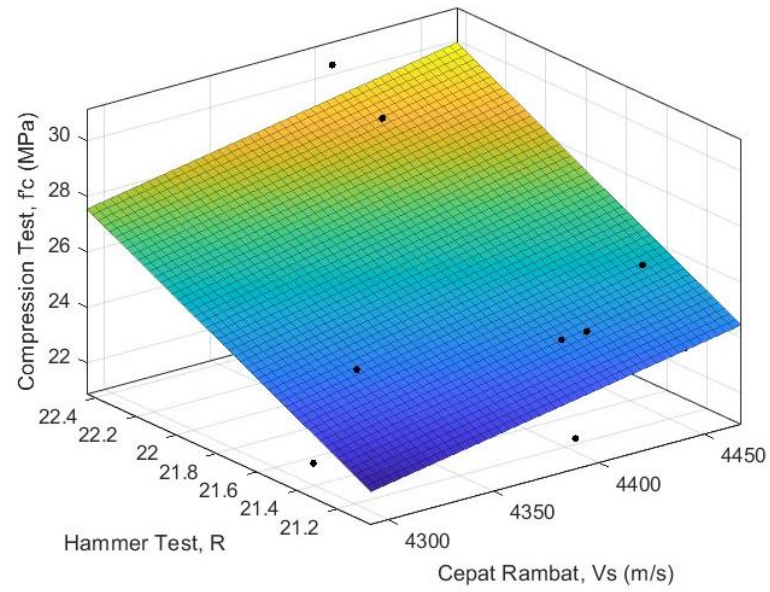
Gambar 5.76 Grafik korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dengan *Compression Test* Variasi K225



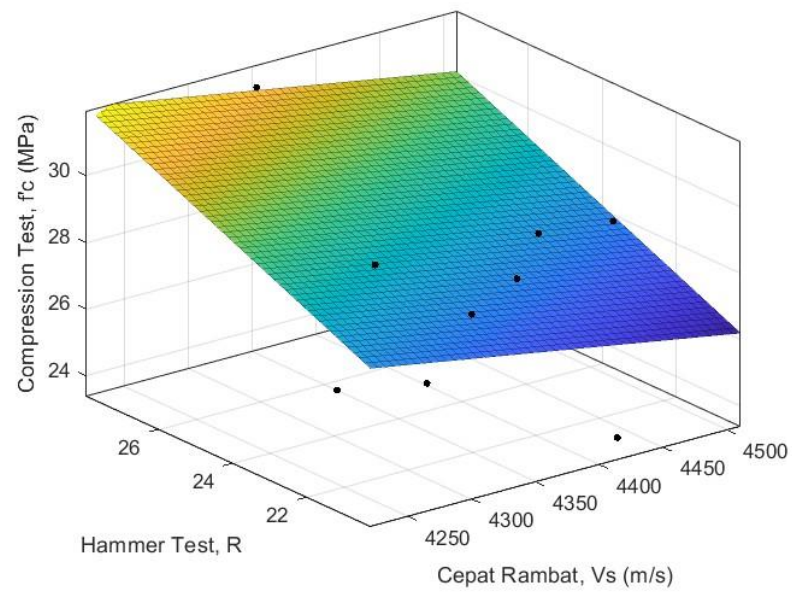
Gambar 5.77 Grafik korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dengan *Compression Test* Variasi K250



Gambar 5.78 Grafik korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dengan *Compression Test* Variasi K275



Gambar 5.79 Grafik korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dengan *Compression Test* Variasi K300



Gambar 5.80 Grafik korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dengan *Compression Test* Variasi K325

5.8.9 Analisis Regresi antara *Hammer Test*, *UPV Test* dan *Compression Test*

Dalam analisis ini, Nilai *compression test* menjadi variabel terikat (*dependent variable*) dan nilai *hammer test* serta *UPV test* menjadi variabel bebas (*independent variable*). Selanjutnya, kita dapat melakukan analisis statistik yang lebih spesifik tentang hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dalam setiap variasi mutu beton yang berbeda.

Tabel 5.41 Persamaan Regresi Antara *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *Compression Test*

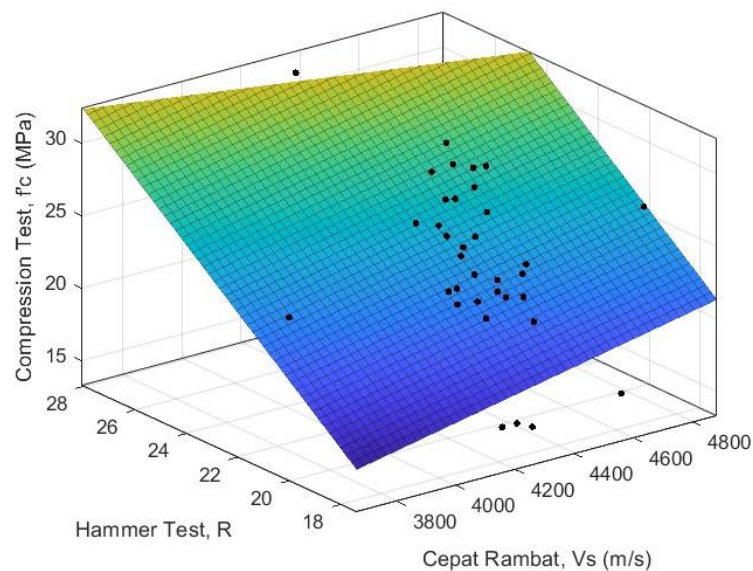
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
K225	$Y = 48,419 + 2,749X_1 + 0,004X_2$	0,186
K250	$Y = -27,769 + 1,024 X_1 + 0,007X_2$	0,454
K275	$Y = 18,565 + 0,174 X_1 + 0,00029X_2$	0,074
K300	$Y = -117.692 + 3.872X_1 + 0,014X_2$	0,461
K325	$Y = 46.193 + 0.51X_1 - 0,007X_2$	0,231

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

Dari Tabel 5.41 diperoleh nilai R² terbesar terdapat pada variasi benda uji K300 dengan nilai 0,461 yang dapat diartikan sebagai 46,1%. Nilai tersebut menjelaskan bahwa 46,1% dari variasi variabel terikat (*compressive test*) dapat dijelaskan oleh dua variabel bebas (*hammer test* dan *UPV test*) yang dimasukkan dalam model regresi. Sisanya, sebesar 53,9% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak termasuk dalam model regresi. Sehingga, pada benda uji K300 korelasi *hammer test*, *UPV test* dan *compression test*.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa tidak ada pendekatan yang signifikan antara nilai *compression test* yang diperoleh dari pengujian *non-destructive test*. Hal ini juga diperkuat oleh Tabel 5.41, di mana nilai koefisien determinasi (R²) yang diperoleh dari analisis regresi menggunakan software IBM SPSS sebagian besar berkisar antara 10% sampai 46%. Ini berarti variasi variabel *dependent Y (compression test)* dengan dua variabel *independent X1 (hammer test)* dan *X2 (UPV test)* memiliki hubungan yang rendah pada benda uji K225, K275, dan K325, dan memiliki hubungan yang cukup erat pada benda uji K250 dan K300. Hal ini disebabkan karena nilai koefisien determinasi antara *hammer test* dengan *compression test* memiliki nilai yang cukup tinggi. Sedangkan nilai koefisien determinasi antara *UPV test* dengan *compression test* memiliki nilai yang sangat

rendah atau dapat dikatakan tidak memiliki hubungan antara kedua pengujian tersebut. Sehingga nilai koefisien determinasi antara *hammer test*, UPV test dengan *compression test* lebih rendah dari pada nilai koefisien determinasi *hammer test* dengan *compression test* namun lebih tinggi dari nilai koefisien determinasi UPV dengan *compression test*.



Gambar 5.81 Grafik korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dengan *Compression Test* Seluruh Variasi Benda Uji

Nilai Koefisien determinasi (R^2) korelasi *hammer test*, *UPV test*, dengan *compression test* Seluruh Variasi Benda Uji adalah sebesar 40,50%. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dengan *Compression Test* dapat dianggap memiliki hubungan yang cukup erat namun tidak signifikan. Berikut merupakan nilai koefisien determinasi (R^2) dan persamaan regresi dari hubungan antara *non-destructive test* dengan *compression test*.

$$Y = -26,231 + 1,482X_1 + 0,00X_2$$

Keterangan :

Y = Estimasi nilai kuat tekan beton

X1 = Nilai *rebound* (R)

X2 = Nilai cepat rambat (m/s)

5.9 Kesalahan Relatif Antara Persamaan Regresi *Non-Destructive Test* dengan Kuat Tekan Rencana

Dalam analisis ini, persamaan regresi yang telah didapatkan antara *hammer test* dengan *compression test* dan *UPV test* dengan *compression test* akan divalidasi dengan nilai kuat tekan rencana. Hasil persamaan regresi dari kedua pengujian disajikan dengan persentase kesalahan relatif. Sehingga dari nilai kesalahan relatif tersebut akan ditemukan seberapa besar keakuratan nilai estimasi kuat tekan beton hasil *non-destructive test* terhadap nilai kuat tekan rencana. Berikut merupakan hasil persamaan regresi antara *hammer test* dengan *compression test* dan *UPV test* dengan *compression test*.

Tabel 5.35 Persamaan Regresi Antara *Non-Destructive Test* dengan *Compression test*

Pengujian yang dilakukan	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)
<i>UPV test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = -0,00001X^2 + 0,116X - 255,28$	7,13 %
<i>Hammer test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = -0,339X^2 + 16,087X - 163,05$	58,37%
<i>Hammer test</i> , <i>UPV test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = -26,231 + 1,482X_1 + 0,00X_2$	40,50%

Dari ketiga persamaan regresi diatas, selanjutnya persamaan tersebut akan dianalisis untuk memperoleh nilai estimasi kuat tekan beton. Variabel yang digunakan dalam analisis ini adalah nilai *hammer test* dan *UPV test* yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah estimasi nilai kuat tekan beton tersebut didapatkan, nilai tersebut akan divalidasi dengan nilai kuat tekan rencana yang disajikan dalam persentase kesalahan relatif. Persentase kesalahan relatif diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$KR = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\%$$

Dengan: X₁ = Nilai kuat tekan beton rencana

X₂ = Hasil Kuat tekan beton dari persamaan regresi

Contoh perhitungan:

Nilai kuat tekan beton K225 : 18,675 MPa

Estimasi kuat tekan beton hasil *Hammer test* : 19,22 MPa

$$KR = \left| \frac{18,675 - 19,22}{18,675} \right| \times 100\% = 2,93\%$$

Tabel 5.436 Kesalahan Relatif Antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Non-Destructive Test

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Nilai Estimasi Kuat Tekan Beton Menggunakan NDT (MPa)					
	<i>Hammer test</i>	Kesalahan Relatif	UPV	Kesalahan Relatif	<i>Hammer test dan UPV test</i>	Kesalahan Relatif
18,675	19,22	2,93%	24,38	30,56%	23,40	25,28%
	15,58	16,55%	27,58	47,68%	23,22	24,35%
	19,31	3,42%	25,33	35,64%	23,60	26,37%
	20,12	7,76%	23,93	28,12%	23,47	25,66%
	20,12	7,76%	24,56	31,49%	23,69	26,83%
	15,64	16,27%	24,43	30,82%	21,74	16,43%
	18,15	2,82%	25,03	34,03%	22,97	22,99%
	16,54	11,44%	23,97	28,35%	21,93	17,43%
	21,97	17,63%	24,70	32,26%	24,70	32,24%
	18,49	0,98%	25,39	35,94%	23,26	24,53%
	19,05	2,02%	23,31	24,83%	22,77	21,91%
	19,28	3,24%	25,03	34,04%	23,47	25,66%
20,75	21,98	5,91%	23,13	11,48%	24,17	16,50%
	24,01	15,72%	23,57	13,60%	25,61	23,41%
	21,79	5,01%	21,90	5,53%	23,71	14,24%
	21,39	3,09%	24,78	19,44%	24,41	17,64%
	20,96	1,00%	23,07	11,17%	23,61	13,76%
	22,38	7,85%	23,32	12,41%	24,47	17,91%
	23,22	11,91%	23,77	14,56%	25,13	21,10%
	19,68	5,15%	23,42	12,85%	23,09	11,27%
	23,87	15,04%	24,37	17,44%	25,77	24,22%
	24,00	15,66%	25,28	21,82%	26,21	26,30%
	20,07	3,27%	25,43	22,57%	24,00	15,65%
22,52	8,55%	23,73	14,34%	24,68	18,95%	
22,825	18,21	20,24%	24,84	8,81%	22,92	0,41%
	23,54	3,14%	22,87	0,20%	25,06	9,77%
	23,97	5,02%	25,33	10,96%	22,96	0,58%
	19,02	16,68%	24,31	6,52%	23,09	1,14%
	21,60	5,39%	23,99	5,10%	24,24	6,20%
	22,79	0,16%	23,22	1,71%	24,68	8,12%
	21,15	7,35%	24,74	8,41%	24,27	6,32%
	21,35	6,45%	24,83	8,80%	24,41	6,95%
	23,13	1,33%	23,30	2,10%	24,92	9,17%

Lanjutan Tabel 5.43 Kesalahan Relatif Antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Non-Destructive Test

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Nilai Estimasi Kuat Tekan Beton Menggunakan NDT (MPa)					
	<i>Hammer test</i>	Kesalahan Relatif	UPV	Kesalahan Relatif	<i>Hammer test dan UPV test</i>	Kesalahan Relatif
22,825	21,78	4,57%	22,35	2,08%	23,83	4,40%
	21,02	7,89%	24,07	5,45%	23,96	4,99%
	21,89	12,08%	23,99	3,67%	24,40	6,91%
24,9	25,42	2,08%	25,50	2,40%	27,49	10,39%
	24,98	0,32%	24,41	1,98%	26,66	7,07%
	24,98	0,34%	25,81	3,64%	27,21	9,28%
	24,82	0,30%	25,56	2,66%	26,97	8,31%
	25,01	0,43%	26,12	4,89%	27,37	9,92%
	25,43	2,12%	24,50	1,62%	27,11	8,89%
	26,34	5,80%	25,20	1,19%	28,47	14,34%
	26,31	5,67%	25,78	3,52%	28,66	15,10%
	25,06	0,63%	26,36	5,85%	27,53	10,55%
	26,50	6,44%	25,73	3,32%	28,94	16,23%
	24,93	0,11%	25,71	3,24%	27,12	8,92%
25,13	0,91%	25,84	3,79%	27,36	9,87%	
26,975	23,97	11,13%	25,04	7,18%	26,09	3,27%
	24,92	7,63%	24,76	8,20%	26,74	0,89%
	25,64	4,93%	23,42	13,17%	26,97	0,01%
	25,02	7,23%	23,70	12,14%	26,46	1,91%
	25,39	5,88%	25,00	7,31%	27,26	1,06%
	25,36	5,98%	24,64	8,66%	27,10	0,46%
	25,83	4,24%	26,73	0,91%	28,50	5,64%
	26,27	2,61%	25,57	5,22%	28,51	5,70%
	24,66	8,59%	25,38	5,90%	26,76	0,81%
	23,89	11,44%	25,98	3,70%	26,42	2,05%
	25,10	6,95%	26,15	3,07%	27,47	1,83%
25,49	5,50%	24,43	9,45%	27,15	0,65%	
rata-rata kesalahan relatif	6,13%		12,63%		12,15%	

Dari Tabel 5.43 diketahui bahwa nilai estimasi kuat tekan beton hasil *hammer test* memiliki nilai persentase kesalahan relatif yang lebih kecil dibandingkan dengan estimasi kuat tekan beton hasil *UPV test* ataupun dari gabungan test

tersebut. Terlihat pada estimasi nilai kuat tekan beton pada mutu K225, nilai UPV test dan gabungan *hammer test* dan UPV test memiliki persentase kesalahan relatif nilai yang cukup besar. Kemudian, Hasil tersebut berbanding lurus dengan nilai koefisien determinasi (R^2) pada persamaan regresi yang telah dianalisis sebelumnya. Sehingga dengan adanya kesalahan relatif ini, persamaan regresi tersebut terbukti bahwa nilai *hammer test* memiliki pendekatan lebih tinggi dengan nilai kuat tekan rencana dibandingkan dengan nilai UPV maupun gabungan dari kedua pengujian tersebut.

5.10 Kesalahan Relatif Antara Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Setelah mendapatkan persamaan regresi terhadap *hammer test*, UPV test, dengan *compression test* dari penelitian yang dilakukan, persamaan tersebut akan divalidasi dengan nilai kuat tekan rencana. Perbedaan hasil persamaan regresi dengan kuat tekan rencana ditunjukkan dengan persentase kesalahan relatif. Pada analisis ini digunakan 2 persamaan regresi dari penelitian terdahulu dan persamaan regresi dari penelitian yang dilakukan. Persamaan regresi terdahulu diambil dari penelitian Wirotama (2018) dan Penelitian yang dilakukan oleh Manopo (2019) . Persamaan tersebut disajikan dalam Tabel 5.44 berikut.

Tabel 5.37 Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu dengan penelitian yang dilakukan

Sumber Penelitian	Persamaan Regresi
Wirotama (2018)	$Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021X_2$
Manopo (2019)	$Y = -44,42541145 + X_1 * 0,3643 + X_2 * 0,0161$
M. Alwan Dwi Widodo (2023)	$Y = -0,339X^2 + 16,087X_1 - 163,05$

Keterangan: Y = *Compression test*, X1 = *hammer test*, X2 = UPV test.

Dari ketiga persamaan regresi diatas, persamaan tersebut akan memperoleh perbedaan nilai kuat tekan beton hasil analisis dengan kuat tekan rencana. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton hasil persamaan regresi, digunakan nilai *hammer test* dan *upv test* dari pengujian yang telah dilakukan. Perbedaan hasil kuat tekan beton dari persamaan regresi dengan kuat tekan beton rencana akan

ditunjukkan dengan persentase kesalahan relatif. Persentase kesalahan relatif diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$KR = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\%$$

Dengan: X_1 = Nilai kuat tekan beton rencana

X_2 = Hasil Kuat tekan beton dari persamaan regresi

Contoh perhitungan:

Nilai kuat tekan beton K225 : 18,675 MPa

Nilai kuat tekan beton hasil persamaan regresi penelitian Wirotama: 19,22 MPa

$$KR = \left| \frac{18,675 - 19,22}{18,675} \right| \times 100\% = 2,93\%$$

Tabel 5.38 Kesalahan Relatif Antara Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Regresi

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Kuat tekan beton hasil persamaan regresi					
	M. Alwan Dwi Widodo		Manopo (2019)		Wirotama (2018)	
	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)
18,675	19,22	2,93%	25,46	36,34%	16,57	11,28%
	15,58	16,55%	30,30	62,24%	22,54	20,71%
	19,31	3,42%	26,61	42,47%	18,03	3,45%
	20,12	7,76%	24,96	33,65%	15,96	14,55%
	20,12	7,76%	25,66	37,43%	16,88	9,62%
	15,64	16,27%	25,47	36,40%	16,25	12,96%
	18,15	2,82%	26,21	40,36%	17,42	6,74%
	16,54	11,44%	24,97	33,71%	15,67	16,11%
	21,97	17,63%	25,86	38,46%	17,32	7,26%
	18,49	0,98%	26,67	42,81%	18,04	3,39%
	19,05	2,02%	24,30	30,14%	15,00	19,66%
19,28	3,24%	26,23	40,44%	17,53	6,11%	
20,75	21,98	5,91%	24,16	16,43%	15,11	27,20%
	24,01	15,72%	24,64	18,74%	15,99	22,96%
	21,79	5,01%	22,98	10,77%	13,55	34,69%
	21,39	3,09%	25,95	25,06%	17,38	16,26%
	20,96	1,00%	24,08	16,05%	14,90	28,22%
	22,38	7,85%	24,36	17,39%	15,41	25,73%
	23,22	11,91%	24,83	19,69%	16,13	22,24%
	19,68	5,15%	24,42	17,67%	15,21	26,70%

Lanjutan Tabel 5.45 Kesalahan Relatif Antara Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Regresi

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Kuat tekan beton hasil persamaan regresi					
	M. Alwan Dwi Widodo		Manopo (2019)		Wirotama (2018)	
	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)
20,75	23,87	15,04%	25,50	22,91%	17,09	17,62%
	24,00	15,66%	26,60	28,19%	18,54	10,64%
	20,07	3,27%	26,75	28,91%	18,29	11,87%
	22,52	8,55%	24,78	19,40%	15,97	23,02%
22,825	18,21	20,24%	25,98	13,81%	17,11	25,02%
	23,54	3,14%	23,92	4,81%	14,99	34,34%
	23,97	5,02%	16,20	29,03%	4,97	78,22%
	19,02	16,68%	25,38	11,18%	16,40	28,15%
	21,60	5,39%	25,05	9,74%	16,22	28,93%
	22,79	0,16%	24,25	6,26%	15,32	32,87%
	21,15	7,35%	25,90	13,47%	17,29	24,26%
	21,35	6,45%	26,01	13,96%	17,45	23,54%
	23,13	1,33%	24,35	6,67%	15,49	32,15%
	21,78	4,57%	23,40	2,52%	14,09	38,26%
	21,02	7,89%	25,13	10,08%	16,26	28,74%
21,89	12,08%	25,05	9,73%	16,25	28,79%	
24,9	25,42	2,08%	26,92	8,10%	19,19	22,93%
	24,98	0,32%	25,57	2,68%	17,35	30,32%
	24,98	0,34%	27,33	9,75%	19,65	21,10%
	24,82	0,30%	26,99	8,39%	19,18	22,98%
	25,01	0,43%	27,78	11,55%	20,24	18,73%
	25,43	2,12%	25,68	3,14%	17,58	29,39%
	26,34	5,80%	26,55	6,65%	18,94	23,95%
	26,31	5,67%	27,32	9,72%	19,93	19,97%
	25,06	0,63%	28,14	13,01%	20,72	16,79%
	26,50	6,44%	27,26	9,47%	19,90	20,06%
	24,93	0,11%	27,19	9,20%	19,46	21,86%
25,13	0,91%	27,38	9,98%	19,75	20,70%	
26,975	23,97	11,13%	26,30	2,50%	18,15	32,73%
	24,92	7,63%	25,98	3,68%	17,88	33,72%
	25,64	4,93%	24,52	9,11%	16,11	40,29%
	25,02	7,23%	24,79	8,09%	16,35	39,40%
	25,39	5,88%	26,28	2,57%	18,36	31,95%
	25,36	5,98%	25,84	4,19%	17,78	34,08%
	25,83	4,24%	28,77	6,65%	21,69	19,58%
	26,27	2,61%	27,03	0,21%	19,54	27,57%

Lanjutan Tabel 5.45 Kesalahan Relatif Antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Regresi

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Kuat tekan beton hasil persamaan regresi					
	M. Alwan Dwi Widodo		Manopo (2019)		Wirotama (2018)	
	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)
26,975	24,66	8,59%	26,75	0,84%	18,84	30,16%
	23,89	11,44%	27,55	2,13%	19,76	26,73%
	25,10	6,95%	27,82	3,14%	20,31	24,70%
	25,49	5,50%	25,60	5,09%	17,49	35,17%
rata - rata kesalahan relatif	6,13%		12,73%		24,12%	

Dari Tabel 5.45 diketahui bahwa nilai persentase kesalahan relatif rata-rata terkecil didapat dari persamaan regresi milik penulis dengan nilai 6,13%, Namun hasil ini tidak dapat menjadi acuan sepenuhnya bahwa persamaan regresi milik penulis adalah yang paling mendekati kuat tekan rencana dikarenakan nilai *hammer test* dan *UPV test* yang digunakan dalam analisis ini merupakan variabel yang sama terbentuknya persamaan regresi penulis. Variabel tersebut juga didukung dengan komposisi beton dan dimensi benda uji yang dibuat oleh penulis. Namun dengan adanya perbandingan kesalahan relatif ini dapat disimpulkan bahwa nilai persamaan regresi dari pengujian yang dilakukan penulis dapat dikatakan berhasil.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *compression test* sudah memenuhi nilai kuat tekan rencana dengan rata – rata nilai K225 adalah 18,67 MPa, K250 adalah 23,20 MPa, K275 adalah 23,04 MPa, K300 adalah 25,20 MPa, serta K325 adalah 28,06 MPa. Nilai hasil *hammer test* memiliki hubungan positif terhadap nilai *compression test* dengan nilai rata – rata 18,71 untuk K225, 19,89 untuk K250, 19,70 untuk K275, 21,50 untuk K300, serta 21,31 untuk K325. Sedangkan nilai hasil UPV memiliki rata – rata nilai K225 adalah 4335,55 m/s, K250 adalah 4303,90 m/s, K275 adalah 4218,97 m/s, K300 adalah 4388,31 m/s, serta K325 adalah 4353,194 m/s.
2. Didapatkan nilai persamaan regresi antara *hammer test* dengan *compression test* pada regresi polinomial berupa $Y = -0,339X^2 + 16,087X - 163,05$, UPV *test* dengan *compression test* pada regresi polinomial berupa $Y = -0,00001X^2 + 0,116X - 255,28$, dan *hammer test*, UPV *test* dengan *compressive test* pada regresi linier berganda berupa $Y = -26,231 + 1,482X_1 + 0,00X_2$.
3. Didapatkan nilai hubungan (korelasi) antara *hammer test* dengan *compression test* sebesar 0,5837 dikategorikan sedang, UPV *test* dengan *compression test* sebesar 0,0713 dikategorikan sangat rendah, dan *hammer test*, UPV *test* dengan *compressive test* sebesar 0,4050 dikategorikan sedang.

6.2 Saran

Penelitian yang dilakukan untuk menentukan korelasi antara *hammer test*, UPV *test*, dan *compressive test* masih memiliki beberapa kekurangan, sehingga terdapat banyak aspek yang perlu diteliti dan dikembangkan lebih lanjut. Berdasarkan kesimpulan di atas, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan

dalam pelaksanaan penelitian dan pengolahan data agar dapat menghasilkan suatu persamaan korelasi dan metode yang lebih sempurna pada penelitian selanjutnya. Berikut adalah beberapa saran untuk menyempurnakan penelitian selanjutnya:

1. Disarankan untuk memperluas jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian agar dapat mencakup lebih banyak variasi dan variasi kondisi beton. Dengan lebih banyak data, hasil korelasi dapat menjadi lebih representatif dan reliabel.
2. Perlu penelitian lebih lanjut terkait pembuatan benda uji dengan menggunakan beberapa dimensi beton yang berbeda dan benda uji beton bertulang. Sehingga dengan adanya penelitian tersebut dapat ditemukan pengaruh dimensi beton dan beton bertulang terhadap nilai korelasi *Hammer test*, *UPV test*, dan *compressive test* sesuai kondisi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, S. 2005. *Teknologi Beton A-Z*, UI-Press,
- 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>,
- Basuki, A, T. 2015. *Analisis Regresi Dengan SPSS*. Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2021. *Buku Saku Pedoman Perawatan Beton*. Kementerian PUPR,
- Mudhatsir, H. 2020. Studi Perbandingan Hasil Uji UPV dan Schmidt Hammer Test, Studi Kasus Stadion Barombong, Makassar. *Tugas Akhir*. Universitas Negeri Yogyakarta. <http://eprints.uny.ac.id/id/eprint/66300>
- International Atomic Energy Agency, V. 2002. *Guidebook on non destructive testing of concrete structures*. Training Course Series No. 17.
- Kocab, D., Kucharczykova, B., Misak, P., Zitt, P., dan Kralikova, M. 2017. Development of the Elastic Modulus of Concrete under Different Curing Conditions. *Procedia Engineering*. 195. 96–101. [https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04,529](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.529)
- 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>
- Mata, R., Ruiz, R, O., dan Nuñez, E. 2023, *Correlation between compressive strength of concrete and ultrasonic pulse velocity: A case of study and a new correlation method*, *Construction and Building Materials*. 369. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130569>
- 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>

- Mulyati, M., dan Arkis, Z. 2020. *Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal*. *Jurnal Teknik Sipil ITP*. 7(2). 78–84. <https://doi.org/10.21063/jts.2020.V702.05>
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton* (Edisi 1). Penerbit ANDI.
- Mahure, N, V., Vijh, G. K., Pankaj Sharma, N. Sivakumar, dan Murari Ratnam. 2011. Correlation between Pulse Velocity and Compressive Strength of Concrete. *International Journal of Earth Sciences and Engineering ISSN 0974-5904. Volume 04. No 06 SPL*. h: 871-874. Oktober 2011. (Online), <http://www.Academicjournals.org/SRE>
- Nugraha, P., dan Antoni. 2004. *Teknologi Beton : Material Pembuatan Beton Kinerja Tinggi*. C,V Andi Offset.
- Simatupang, R, M., Nuralinah, D., dan 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. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- SNI 1969. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*, Badan Standardisasi Nasional (BSN),
- SNI 1970. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*, Badan Standardisasi Nasional (BSN). <http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195>
- SNI 1974. 2011. *SNI 1974-2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, Badan Standardisasi Nasional (BSN)
- SNI 2847. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional (BSN)
- 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>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
 Gedung KII, Widy. Heter
 Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
 Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
 T. (0274) 898444 ext. 1200, 1201
 F. (0274) 895330
 E. dekanat@fppuik.ac.id
 W. fppuik.ac.id

Nomor : 31/Sek. Prodi PSTS/20/TA/III/2023
 Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

Kepada Yth:
**KEPALA LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : MUHAMMAD ALWAN DWI WIDODO
 NIM : 19511112
 PROGRAM STUDI : TEKNIK SIPIL
 JUDUL TUGAS AKHIR : KORELASI ANTARA HASIL PENGUJIAN HAMMER DAN UPV DENGAN
 HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN MUTU SEDANG
 DOSEN PEMBIMBING : MALIK MUSHTHOFA, S.T., M. ENG

Sehubungan dengan penelitian yang kami lakukan untuk proses pendukung penyelesaian penyusunan
 Proposal Tugas Akhir, melalui surat ini kami mengajukan permohonan izin peminjaman peralatan beserta
 fasilitas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Universitas Islam Indonesia.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima
 kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Sekretaris Program Sarjana Teknik Sipil,

 DINIA ANGGRAHENI, M. ENG

Yogyakarta, 14 Maret 2023
 Pemohon

 MUHAMMAD ALWAN DWI WIDODO
 NIM. 19511112

082243310055
 M. Alwan Dwi K

Lampiran 2 Laporan Hasil Sementara Perencanaan Campuran

Perencanaan Campuran K225

PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, f'_c	18,675	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13,32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, f'_{cr}	31,99	Mpa
5	Jenis semen Portland	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS	0,56	
8	Faktor air semen, FAS maksimum	0,6	
	FAS yang digunakan	0,56	
9	Nilai slump (ACI)	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20 mm	
11	Nilai kadar air bebas	205	liter
12	Jumlah semen	363	kg
13	Jumlah semen minimum	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	363	kg
15	FAS yang disesuaikan	0,56	
16	Zona gradasi agregat halus	Zona I	
17	Persentase ag. halus dalam campuran	53,10	
18	Berat jenis relatif agregat	2,55	kg/m ³
19	Berat jenis beton	2314	kg/m ³
20	Kadar agregat campuran	1745	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	927	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	818	kg/m ³

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m³

1	Air	205	liter
2	Semen	363	kg
3	Agregat halus (Pasir)	927	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	818	kg
	Total	2314	kg

Perencanaan Campuran K250

PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, f_c	20,75	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13,32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, f_{cr}	34,07	Mpa
5	Jenis semen Portland	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS	0,54	
8	Faktor air semen, FAS maksimum	0,6	
	FAS yang digunakan	0,54	
9	Nilai slump	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20 mm	
11	Nilai kadar air bebas	205	liter
12	Jumlah semen	381	kg
13	Jumlah semen minimum	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	381	kg
15	FAS yang disesuaikan	0,54	
16	Zona gradasi agregat halus	Zona I	
17	Persentase ag. halus dalam campuran	52,44	
18	Berat jenis relatif agregat	2,55	kg/m ³
19	Berat jenis beton	2314	kg/m ³
20	Kadar agregat campuran	1727	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	906	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	822	kg/m ³

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m³ :

1	Air	205	liter
2	Semen	381	kg
3	Agregat halus (Pasir)	906	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	822	kg
	Total	2314	kg

Perencanaan Campuran K275

PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, $f'c$	22,825	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13,32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, $f'cr$	36,14	Mpa
5	Jenis semen Portland	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS	0,51	
8	Faktor air semen, FAS maksimum	0,6	
	FAS yang digunakan	0,51	
9	Nilai slump	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20 mm	
11	Nilai kadar air bebas	205	liter
12	Jumlah semen	401	kg
13	Jumlah semen minimum	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	401	kg
15	FAS yang disesuaikan	0,51	
16	Zona gradasi agregat halus	Zona I	
17	Persentase ag. halus dalam campuran	51,77	
18	Berat jenis relatif agregat	2,55	kg/m ³
19	Berat jenis beton	2314	kg/m ³
20	Kadar agregat campuran	1707	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	884	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	823	kg/m ³

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m³ :

1	Air	205	liter
2	Semen	401	kg
3	Agregat halus (Pasir)	884	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	823	kg
	Total	2314	kg

Perencanaan Campuran K300

PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, $f'c$	24,9	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13,32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, $f'cr$	38,22	Mpa
5	Jenis semen Portland	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS	0,49	
8	Faktor air semen, FAS maksimum	0,6	
	FAS yang digunakan	0,49	
9	Nilai slump	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20 mm	
11	Nilai kadar air bebas	205	liter
12	Jumlah semen	419	kg
13	Jumlah semen minimum	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	419	kg
15	FAS yang disesuaikan	0,49	
16	Zona gradasi agregat halus	Zona I	
17	Persentase ag. halus dalam campuran	51,22	
18	Berat jenis relatif agregat	2,55	kg/m ³
19	Berat jenis beton	2314	kg/m ³
20	Kadar agregat campuran	1689	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	865	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	824	kg/m ³

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m³ :

1	Air	205	liter
2	Semen	419	kg
3	Agregat halus (Pasir)	865	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	824	kg
	Total	2314	kg

Perencanaan Campuran K325

PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE

STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, f'_c	26.975	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13.32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, f'_{cr}	40.29	Mpa
5	Jenis semen Portland (tipe I, II, III, IV, atau V)	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS, (tabel 3 dan grafik 1)	0.47	
8	Faktor air semen, FAS maksimum, (tabel 4)	0.6	
	FAS yang digunakan	0.47	
9	Nilai slump (bila tidak diketahui, tabel 6)	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20 mm	
11	Nilai kadar air bebas (tabel 7)	205	liter
12	Jumlah semen	436	kg
13	Jumlah semen minimum (tabel 4)	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	436	kg
15	FAS yang disesuaikan	0.47	
16	Zona gradasi agregat halus (grafik 2)	Zona I	
17	Persentase ag. halus dalam campuran (grafik 4)	50.75	
18	Berat jenis relatif agregat	2.55	kg/m ³
19	Berat jenis beton (grafik 5)	2314	kg/m ³
20	Kadar agregat campuran	1673	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	849	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	824	kg/m ³
Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m³ :			
1	Air	205	liter
2	Semen	436	kg
3	Agregat halus (Pasir)	849	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	824	kg
	Total	2314	kg

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Uji *Hammer Test*

Hammer Test K225 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 1 - 1	1	17,9	18,1	22
		2	19,5	21,7	16,1
		3	18,8	20,6	15,3
		4	18,3	20,9	24,2
		5	15,4	20,4	21,7
		6	18	21,2	18,1
		7	18,6	20,5	14,6
		8	18,1	20,1	17,8
		9	19,1	19,9	18,4
		10	19,8	15,3	19,2
R (Minimum)			15,4	15,3	14,6
R (Maksimum)			19,8	21,7	24,2
R (Rata-rata)			18,35	19,87	18,74

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 1 - 2	1	14,4	20,8	19,4
		2	19,8	17,8	18,7
		3	19,5	20,8	24,3
		4	12,9	14,6	21,7
		5	15,2	17,5	20,7
		6	20	17,3	20
		7	17,5	15,7	20,8
		8	13,6	13,1	16,3
		9	15,5	15,7	21,2
		10	13,7	18,7	18,2
R (Minimum)			12,9	13,1	16,3
R (Maksimum)			20	20,8	24,3
R (Rata-rata)			16,21	17,2	20,13

Hammer Test K225 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 1 - 3	1	17,6	14,8	16,6
		2	23,8	22,2	21,5
		3	15,9	22,5	20,1
		4	22,6	24,7	18,4
		5	23,8	19,4	18,5
		6	20,4	20,3	18,2
		7	17,7	12,6	19,9
		8	20,7	18,4	18,3
		9	12,5	16,9	15,6
		10	20	15	17,6
R (Minimum)			12,5	12,6	15,6
R (Maksimum)			23,8	24,7	21,5
R (Rata-rata)			19,5	18,68	18,47

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 1 - 4	1	16	19	20,3
		2	17,7	16,1	22,7
		3	13,4	20,6	19,9
		4	20,6	22	22,9
		5	22,8	21,6	24
		6	16,6	19,5	17,1
		7	15,3	17,5	21,8
		8	17,5	18,4	19,5
		9	16,9	18,8	19,2
		10	17,1	15,5	23,9
R (Minimum)			13,4	15,5	17,1
R (Maksimum)			22,8	22	24
R (Rata-rata)			17,39	18,9	21,13

Hammer Test K225 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 1 - 5	1	17,1	18,5	17,6
		2	17,7	17,5	22,9
		3	16,4	14,3	23
		4	18,5	20,5	19,4
		5	19,1	17,8	22
		6	18,9	20,6	19,9
		7	20,7	19,8	17,7
		8	18,6	18,1	22
		9	19,7	18,8	22,2
		10	19,2	17,5	18,2
R (Minimum)			16,4	14,3	17,6
R (Maksimum)			20,7	20,6	23

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
6	BT 1 - 6	1	13,8	16,5	18
		2	15,4	18,1	21,2
		3	15,4	19,1	21,7
		4	16,9	19,7	17,8
		5	15,5	17,2	21,4
		6	17,6	21	20,3
		7	16,3	18,2	23,2
		8	12,3	16,4	22,2
		9	11,9	20,3	17,9
		10	19,6	14,7	16,2
R (Minimum)			11,9	14,7	16,2
R (Maksimum)			19,6	21	23,2

Hammer Test K225 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 1 - 7	1	18,3	15,8	18,6
		2	18,9	16	19,1
		3	20,9	17,1	14,6
		4	15,8	19,2	21
		5	20,9	21,6	14,8
		6	19,7	20,6	19,4
		7	19	17,5	20,1
		8	16,9	16	22,6
		9	15,7	18,6	20,9
		10	16,2	21,8	18,5
R (Minimum)			15,7	15,8	14,6
R (Maksimum)			20,9	21,8	22,6
R (Rata-rata)			18,23	18,42	18,96

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 1 - 8	1	13,7	18,6	20,3
		2	15,7	20,6	22,9
		3	15,2	18,7	21,9
		4	16,2	16,3	21,4
		5	14,7	18,1	19,9
		6	15,2	19,5	18,8
		7	16,9	18,7	21,3
		8	13,7	17,4	20,3
		9	19,2	13,5	22,1
		10	17,4	14	20,6
R (Minimum)			13,7	13,5	18,8
R (Maksimum)			19,2	20,6	22,9
R (Rata-rata)			15,79	17,54	20,95

Hammer Test K225 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 1 - 9	1	20,6	21,1	18,8
		2	22,6	19,2	20,3
		3	18,3	17,7	16,6
		4	21,4	19,4	21,3
		5	20,5	19,2	20,3
		6	19,5	22,7	23,3
		7	21,7	17,2	22,6
		8	17,3	20,1	23,5
		9	18,1	17,3	21,4
		10	16,5	15,8	19,3
R (Minimum)			16,5	15,8	16,6
R (Maksimum)			22,6	22,7	23,5
R (Rata-rata)			19,65	18,97	20,74

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
10	BT 1 - 10	1	19,5	17,3	17,1
		2	18,3	24,7	20,6
		3	20,8	14,2	18,8
		4	20,8	17,4	20,5
		5	15,6	18,7	24
		6	19,3	14,1	22,5
		7	16,7	15,9	20,2
		8	15,3	16,6	19,7
		9	15,1	17,6	19,8
		10	20,7	16,1	21,2
R (Minimum)			15,1	14,1	17,1
R (Maksimum)			20,8	24,7	24
R (Rata-rata)			18,21	17,26	20,44

Hammer Test K225 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 1 - 11	1	18,6	18	17,5
		2	18,7	20	21,7
		3	20,8	17,5	23,8
		4	16,5	16,5	21,8
		5	19,9	16,5	19,9
		6	19,5	17	20,2
		7	17,6	17	20,2
		8	20,2	15,5	19,2
		9	16	17,5	20,9
		10	19,6	18	18
R (Minimum)			16	15,5	17,5
R (Maksimum)			20,8	20	23,8
R (Rata-rata)			18,74	17,35	20,32

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 1 - 12	1	16,5	18,1	18,3
		2	18,5	17,9	21,3
		3	20,1	18,2	20,6
		4	25,2	15,8	18,7
		5	21,3	14,3	19,3
		6	17,3	18,7	21,8
		7	19	22,1	18,2
		8	16,5	16,8	15,9
		9	17,8	17,8	21,1
		10	21,1	17,3	20,7
R (Minimum)			16,5	14,3	15,9
R (Maksimum)			25,2	22,1	21,8
R (Rata-rata)			19,33	17,7	19,59

Hammer Test K250 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 2 - 1	1	20	15	21,4
		2	20,2	15,5	27,2
		3	19,2	15,2	24,2
		4	18,6	20	24,3
		5	21,8	18,7	17
		6	20,3	19	25,5
		7	18,8	18,7	22,2
		8	15,8	16	25,6
		9	16,3	15,9	21,8
		10	20,9	17,7	20,9
R (Minimum)			15,8	15	17
R (Maksimum)			21,8	20	27,2
R (Rata-rata)			19,19	17,17	23,01

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 2 - 2	1	19,5	16,3	21,6
		2	18,9	18,7	23,5
		3	18,8	23,3	22,4
		4	18,8	19,1	22,4
		5	20	17,6	22,9
		6	22,5	18,4	23,1
		7	21	20,9	26
		8	23	20,3	20,4
		9	18	17,4	22,9
		10	21,1	15,4	25,7
R (Minimum)			18	15,4	20,4
R (Maksimum)			23	23,3	26
R (Rata-rata)			20,16	18,74	23,09

Hammer Test K250 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 2 - 3	1	18,2	15,6	21,7
		2	18	17,6	23,7
		3	15,8	15,1	25,1
		4	16,5	18,8	21,4
		5	18,2	22,3	21
		6	18,4	26,6	24,2
		7	17,5	19,6	22,7
		8	17,2	16,2	24,2
		9	17	17,9	17,3
		10	15,2	21,9	26,7
R (Minimum)			15,2	15,1	17,3
R (Maksimum)			18,4	26,6	26,7
R (Rata-rata)			17,2	19,16	22,8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 2 - 4	1	15	19,7	23
		2	19	17,8	25,3
		3	19,7	20,3	20,8
		4	17,6	21,2	23,2
		5	16,7	19,3	17,7
		6	18,6	16,3	23,5
		7	18,9	17,6	24,6
		8	16	21,2	24
		9	17,6	17	20,5
		10	17,5	17,4	20,2
R (Minimum)			15	16,3	17,7
R (Maksimum)			19,7	21,2	25,3
R (Rata-rata)			17,66	18,78	22,28

Hammer Test K250 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 2 - 5	1	15,7	15,9	20
		2	18,3	18,8	19,4
		3	15,2	17,4	19,2
		4	16,4	20,4	26,4
		5	20,2	17,6	25,7
		6	19,3	18,7	23,5
		7	20,7	16,1	22,7
		8	18,4	18,5	22,6
		9	18,8	19,1	20,2
		10	16,4	17,2	23,8
R (Minimum)			15,2	15,9	19,2
R (Maksimum)			20,7	20,4	26,4
R (Rata-rata)			17,94	17,97	22,35

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
6	BT 2 - 6	1	16,5	18	18,6
		2	17,8	19,7	23,4
		3	17,9	16,4	25,1
		4	17	19,7	22,2
		5	22,3	22	23,4
		6	17,4	17,7	21,6
		7	19,4	19,2	20,5
		8	19,4	16,7	23,4
		9	16,3	19,9	22,6
		10	20,6	18,2	25,5
R (Minimum)			16,3	16,4	18,6
R (Maksimum)			22,3	22	25,5
R (Rata-rata)			18,46	18,75	22,63

Hammer Test K250 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 2 - 7	1	19,3	18,2	20,4
		2	22,4	16,7	22,7
		3	17,7	21,3	21,2
		4	18,5	18,9	25,6
		5	19,6	18,3	22
		6	19,6	19,3	23,1
		7	18,3	20,4	21,8
		8	17,3	18,4	22,5
		9	18,3	24,8	24,3
		10	18,5	18	21,5
R (Minimum)			17,3	16,7	20,4
R (Maksimum)			22,4	24,8	25,6
R (Rata-rata)			18,95	19,43	22,51

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 2 - 8	1	17,3	17,7	20,3
		2	19,4	17,3	22,7
		3	19	16,4	24,8
		4	2,4	21,2	25,4
		5	17,7	21,3	23,4
		6	18,3	19,9	21,7
		7	18,4	17,6	21,8
		8	16,3	17,8	23,4
		9	17,3	20,5	20,2
		10	15	17,5	21,6
R (Minimum)			2,4	16,4	20,2
R (Maksimum)			19	21,3	25,4
R (Rata-rata)			15,74	18,72	22,53

Hammer Test K250 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 2 - 9	1	17,2	19,2	18,8
		2	19,9	18,7	21,1
		3	18	17,8	21,3
		4	18,9	22,9	25,3
		5	21	20	25,8
		6	19,7	18,9	19,4
		7	20,8	17,3	23,3
		8	20,6	19,8	23,6
		9	21,5	18,7	23,5
		10	22,1	21,3	20,6
R (Minimum)			17,2	17,3	18,8
R (Maksimum)			22,1	22,9	25,8
R (Rata-rata)			19,97	19,54	22,27

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
10	BT 2 - 10	1	15,2	17,8	21,2
		2	24,6	22,6	20,5
		3	24,6	20,4	21,4
		4	20,5	19,7	23
		5	26,3	22,5	20,4
		6	21,8	18,8	23,5
		7	19,6	16,9	23,9
		8	17	17,8	20,2
		9	19,9	17,1	22,3
		10	19,1	19,7	21,4
R (Minimum)			15,2	16,9	20,2
R (Maksimum)			26,3	22,6	23,9
R (Rata-rata)			20,86	19,33	21,78

Hammer Test K250 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 2 - 11	1	18,5	17,1	21,6
		2	20,4	17,7	23,7
		3	20,6	17,9	17,7
		4	19,9	17,4	19,7
		5	17,9	19,1	21,7
		6	19,1	19,5	20,2
		7	18	14,6	22,4
		8	18,6	17,6	21,8
		9	17,2	15,3	22,1
		10	18,3	17,8	20,3
R (Minimum)			17,2	14,6	17,7
R (Maksimum)			20,6	19,5	23,7
R (Rata-rata)			18,85	17,4	21,12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 2 - 12	1	17,9	18,4	20,4
		2	18	21	23,8
		3	20,5	16,7	23
		4	23,3	17,2	24,7
		5	19,4	18,9	19,4
		6	18,2	17,7	20,5
		7	22,6	18,6	21,3
		8	20	18,9	17,4
		9	18,4	19,2	21,6
		10	20,2	21,6	
R (Minimum)			17,9	16,7	17,4
R (Maksimum)			23,3	21,6	24,7
R (Rata-rata)			19,85	18,82	21,34

Hammer Test K275 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 3 - 1	1	15,2	17,6	19,7
		2	16,6	17,7	21,9
		3	20,2	20,9	19,9
		4	17,8	19,7	22,1
		5	18,4	16,3	19
		6	20,4	15,5	19,5
		7	18,9	20,4	20,6
		8	16,1	17,9	16,4
		9	15,8	20,9	17,4
		10	18,3	17,5	18
R (Minimum)			15,2	15,5	16,4
R (Maksimum)			20,4	20,9	22,1
R (Rata-rata)			17,77	18,44	19,45

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 3 - 2	1	19,6	15,5	24,9
		2	19,1	21,7	24,4
		3	20,7	19,4	24,8
		4	16,3	21	24,5
		5	18,1	18	22,6
		6	20,3	15,9	23,6
		7	20,4	15,6	23,5
		8	19,4	14,6	25,8
		9	19,1	20,2	23,6
		10	16,6	21,6	22,4
R (Minimum)			16,3	14,6	22,4
R (Maksimum)			20,7	21,7	25,8
R (Rata-rata)			18,96	18,35	24,01

Hammer Test K275 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 3 - 3	1	16	17,7	19,5
		2	20	20,6	21,6
		3	18,2	21,6	20,6
		4	21,4	19,2	22,8
		5	19,2	23,2	23,8
		6	21,9	20,2	23,7
		7	20,2	20,3	22,6
		8	20,8	21,8	22,5
		9	17,9	18,8	23,1
		10	16,2	21,8	22,1
R (Minimum)			16	17,7	19,5
R (Maksimum)			21,9	23,2	23,8
R (Rata-rata)			19,18	20,52	22,23

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 3 - 4	1	19,8	18,1	18,2
		2	19,5	18,4	20,5
		3	19	20,6	17,4
		4	17,4	17,9	16,9
		5	20,8	16,9	20
		6	19,8	16,3	17,8
		7	16,9	17,9	22,5
		8	16,6	17	21,2
		9	17,6	17,8	23,4
		10	17,1	20	20,5
R (Minimum)			16,6	16,3	16,9
R (Maksimum)			20,8	20,6	23,4
R (Rata-rata)			18,45	18,09	19,84

Hammer Test K275 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 3 - 5	1	17,7	17,9	18,6
		2	20,2	22,1	19,4
		3	18,8	21,3	21,8
		4	19,6	21,8	19,1
		5	19,1	21,6	21
		6	18,6	19,3	20,6
		7	17,7	20	20,2
		8	16,8	20,6	20,6
		9	17,44	19,5	20,1
		10	16,8	19,7	21,5
R (Minimum)			16,8	17,9	18,6
R (Maksimum)			20,2	22,1	21,8
R (Rata-rata)			18,274	20,38	20,29

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
6	BT 3 - 6	1	19	18,9	17,2
		2	22,8	17,4	19,2
		3	18,6	19,7	23
		4	21,2	18,7	22,1
		5	21,6	18,5	23,1
		6	20,2	17	22
		7	19,2	16,7	23,4
		8	19,2	22,1	22,6
		9	16,3	19,2	24,1
		10	18,3	20,5	21,1
R (Minimum)			16,3	16,7	17,2
R (Maksimum)			22,8	22,1	24,1
R (Rata-rata)			19,68889	18,87	21,78

Hammer Test K275 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 3 - 7	1	19,7	17,5	17,6
		2	17,2	17,9	20,7
		3	18,3	19	21,4
		4	20	20,4	23,9
		5	18,1	16,6	17,4
		6	17,9	17,5	20,1
		7	18,8	18,9	18,5
		8	16,7	20,2	18,8
		9	24,6	19	24,3
		10	20,3	17,2	26,1
R (Minimum)			16,7	16,6	17,4
R (Maksimum)			24,6	20,4	26,1
R (Rata-rata)			19,16	18,42	20,88

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 3 - 8	1	19,9	21,9	18,8
		2	17,3	18,5	22,6
		3	18,5	19	17,7
		4	21,9	20,8	20,4
		5	22,1	19,9	18,2
		6	19,3	16	23,7
		7	18,1	19	24
		8	17,8	15,7	21,6
		9	19	15	20,1
		10	18,2	20,4	21,4
R (Minimum)			17,3	15	17,7
R (Maksimum)			22,1	21,9	24
R (Rata-rata)			19,21	18,62	20,85

Hammer Test K275 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 3 - 9	1	21,6	19,2	22,6
		2	21,9	18,7	22,8
		3	19,8	16,6	22,2
		4	16,8	19,9	22,8
		5	19,4	21	23,5
		6	15,2	20,2	24,1
		7	28,1	15,3	20,2
		8	17,5	19,6	22,5
		9	19	20,4	19,2
		10	18,9	17,9	20,8
R (Minimum)			15,2	15,3	19,2
R (Maksimum)			28,1	21	24,1
R (Rata-rata)			19,82	18,88	22,07

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
10	BT 3 - 10	1	17,5	16,1	20,3
		2	20,6	18,6	21,8
		3	17,9	22,1	23,2
		4	17,3	19	21,2
		5	20,1	20,1	20,5
		6	19,6	21,6	26,3
		7	20,5	18,8	17,2
		8	19,9	16,3	19
		9	16,7	18,4	19,7
		10	17,9	22,2	21,1
R (Minimum)			16,7	16,1	17,2
R (Maksimum)			20,6	22,2	26,3
R (Rata-rata)			18,8	19,32	21,03

Hammer Test K275 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 3 - 11	1	18,2	19,6	19,7
		2	18,7	20,3	18,2
		3	19,3	16,9	21,7
		4	18,3	19	19,7
		5	17,3	19,8	21,7
		6	17,5	18	20,2
		7	18,5	21,8	22,4
		8	17	18,4	21,5
		9	19,2	19	22,1
		10	19,7	19,3	20,3
R (Minimum)			17	16,9	18,2
R (Maksimum)			19,7	21,8	22,4
R (Rata-rata)			18,37	19,21	20,75

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 3 - 12	1	21,3	16,8	21,2
		2	21,2	20,3	23,4
		3	19,1	20,5	20,9
		4	15,2	21	22,6
		5	17,8	17,6	20,3
		6	16	21,6	17,9
		7	17,1	17,66	19,5
		8	20,9	17	22,8
		9	19,3	19,9	22,7
		10	19	20,8	21,4
R (Minimum)			15,2	16,8	17,9
R (Maksimum)			21,3	21,6	23,4
R (Rata-rata)			18,69	19,316	21,27

Hammer Test K300 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 4 - 1	1	17,2	18,3	25,6
		2	19,6	22,1	21
		3	20,1	18,6	23,6
		4	22,4	18,9	24,9
		5	22,3	18,4	29,9
		6	19,9	19,9	21,2
		7	17,9	20,9	24,7
		8	19	19,2	24,1
		9	21,2	22,6	25,7
		10	19,9	18,9	25,8
R (Minimum)			17,2	18,3	21
R (Maksimum)			22,4	22,6	29,9
R (Rata-rata)			19,95	19,78	24,65

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 4 - 2	1	20	19,9	19,9
		2	22,9	16,9	23,3
		3	17,9	19,7	22,1
		4	19,9	23,2	22,2
		5	20,9	23	23,6
		6	23	21	21,1
		7	20,1	22,9	22,7
		8	21,3	20,8	21,5
		9	19,3	21,9	19,8
		10	21,3	24,4	19
R (Minimum)			17,9	16,9	19
R (Maksimum)			23	24,4	23,6
R (Rata-rata)			20,66	21,37	21,52

Hammer Test K300 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 4 - 3	1	17,3	18,8	24
		2	20,4	19,7	22,3
		3	18,9	20,6	22,4
		4	21,9	20,8	21,6
		5	22,6	19,9	23,8
		6	22,1	18,8	25,8
		7	17,1	20,7	25,1
		8	19,8	18	19,9
		9	20,4	20,9	22,1
		10	21,6	23,4	24,9
R (Minimum)			17,1	18	19,9
R (Maksimum)			22,6	23,4	25,8
R (Rata-rata)			20,21	20,16	23,19

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 4 - 4	1	19,3	21	23,1
		2	18,7	20	21,9
		3	20,1	21,4	24,1
		4	19,2	21,1	21,7
		5	21	20,1	23,5
		6	18,5	17,9	24,2
		7	17,4	22,3	25
		8	17,6	24,9	23,6
		9	20,6	21,1	20,3
		10	18,6	22	22,6
R (Minimum)			17,4	17,9	20,3
R (Maksimum)			21	24,9	25
R (Rata-rata)			19,1	21,18	23

Hammer Test K300 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 4 - 5	1	22,5	20,2	21,4
		2	21,5	20,7	22,9
		3	20,8	22	20,3
		4	19,8	21,5	20,8
		5	23,5	21,8	25,3
		6	20,4	17,9	21,6
		7	20	18,9	21,6
		8	20,7	19,9	23,7
		9	20,2	19,6	18,4
		10	23,5	18,8	25,8
R (Minimum)			19,8	17,9	18,4
R (Maksimum)			23,5	22	25,8
R (Rata-rata)			21,29	20,13	22,18

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
6	BT 4 - 6	1	19,6	16,5	22
		2	21,8	20,4	20,8
		3	19,3	21,1	22
		4	17,7	20,8	19,7
		5	21,8	21,6	22,1
		6	18,6	24	22,9
		7	22,1	24,2	20,3
		8	26,9	21,1	24,1
		9	20,9	21,9	23,2
		10	21,8	22,4	22,4
R (Minimum)			17,7	16,5	19,7
R (Maksimum)			26,9	24,2	24,1
R (Rata-rata)			21,05	21,4	21,95

Hammer Test K300 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 4 - 7	1	20,7	24,3	20,9
		2	19,5	23,6	21
		3	22,3	20,3	25,9
		4	21,1	17,6	23,6
		5	23	23,1	26,6
		6	19,7	21,4	23,5
		7	20,2	24,6	23,3
		8	21,5	23,3	19
		9	19,8	22,6	24,3
		10	22,5	25,2	21,8
R (Minimum)			19,5	17,6	19
R (Maksimum)			23	25,2	26,6
R (Rata-rata)			21,03	22,6	22,99

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 4 - 8	1	17,6	20,2	24,6
		2	20,3	22,4	23,5
		3	26,3	20,5	24,6
		4	26,3	20,2	23
		5	21,5	23,5	22,3
		6	22,5	18,3	23,6
		7	23,6	19,4	24,2
		8	20,8	18,9	24,3
		9	22,3	21,5	22,8
		10	20,4	22,2	23,6
R (Minimum)			17,6	18,3	22,3
R (Maksimum)			26,3	23,5	24,6
R (Rata-rata)			22,16	20,71	23,65

Hammer Test K300 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 4 - 9	1	19	18,2	20,6
		2	22	20,2	20,8
		3	21	21,3	22,2
		4	20	21,1	22,2
		5	20,1	20	18,4
		6	20,1	24,1	18,2
		7	23,5	22,3	20,6
		8	20,7	22	23
		9	22,4	22,9	22,6
		10	22,2	20,5	24,7
R (Minimum)			19	18,2	18,2
R (Maksimum)			23,5	24,1	24,7
R (Rata-rata)			21,1	21,26	21,33

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
10	BT 4 - 10	1	21,6	21,6	18,9
		2	23,3	22,4	23,4
		3	20,6	23,2	22,3
		4	18,2	20,6	21,5
		5	22,9	24,6	21,5
		6	22,6	22,7	26,4
		7	22,3	20,8	21,4
		8	23,4	22,4	25,1
		9	21,3	23,6	27,5
		10	19,1	23,8	22,3
R (Minimum)			18,2	20,6	18,9
R (Maksimum)			23,4	24,6	27,5
R (Rata-rata)			21,53	22,57	23,03

Hammer Test K300 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 4 - 11	1	18,9	18,8	22,2
		2	19,3	20,8	24,1
		3	18,5	19,2	23,7
		4	17,7	21,6	20,8
		5	21,6	22,7	21,9
		6	21,4	22	21
		7	20,8	18,3	23,8
		8	19,9	19,2	27,2
		9	17,3	21,6	23,4
		10	22	20	24,9
R (Minimum)			17,3	18,3	20,8
R (Maksimum)			22	22,7	27,2
R (Rata-rata)			19,74	20,42	23,3

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 4 - 12	1	17,8	20,5	18,6
		2	21,9	22,7	23,3
		3	17,7	21,5	22,9
		4	24	21,4	21,8
		5	24,2	23,4	22,2
		6	20,7	20,9	23,1
		7	22	19	21,3
		8	20,8	21,6	22
		9	21,8	18,3	19,7
		10	19,9	23,5	19,7
R (Minimum)			17,7	18,3	18,6
R (Maksimum)			24,2	23,5	23,3
R (Rata-rata)			21,08	21,28	21,46

Hammer Test K325 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 5 - 1	1	18,3	20,2	22,5
		2	22	21,8	23,1
		3	20,1	18,9	21,5
		4	21,8	17,3	21,4
		5	24,6	18,8	21,6
		6	22,2	17,4	25,7
		7	18	17,7	21,8
		8	19,9	18,7	22,6
		9	21,1	18,4	22,3
		10	20,1	19	20,5
R (Minimum)			18	17,3	20,5
R (Maksimum)			24,6	21,8	25,7
R (Rata-rata)			20,81	18,82	22,3

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 5 - 2	1	17,3	18,2	23,9
		2	22	21,1	26,6
		3	17,7	19,8	22,7
		4	21,3	20,1	25
		5	23,5	25,4	19,9
		6	19,9	20,8	22
		7	22,3	20,5	22,9
		8	21,4	20,6	20
		9	17,3	18,5	22,3
		10	21,2	19,8	20,4
R (Minimum)			17,3	18,2	19,9
R (Maksimum)			23,5	25,4	26,6
R (Rata-rata)			20,39	20,48	22,57

Hammer Test K325 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 5 - 3	1	17,3	16,8	22,9
		2	21,3	21,5	22
		3	19,8	18,1	25,1
		4	21,2	19,5	24,6
		5	24,5	19,3	25,1
		6	22,7	16,9	23,7
		7	19,9	19,2	23,8
		8	23,2	22,2	25,1
		9	21,5	21,9	21,4
		10	23,2	20,9	23,9
R (Minimum)			17,3	16,8	21,4
R (Maksimum)			24,5	22,2	25,1
R (Rata-rata)			21,46	19,63	23,76

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 5 - 4	1	19,3	17,5	17,9
		2	21,5	22,3	23
		3	18,1	18,3	22
		4	23	20	24,3
		5	24,5	23,6	21,5
		6	20,4	22	22,2
		7	21,4	20,5	21,6
		8	22,7	20,3	20,5
		9	19,4	18,7	22,5
		10	23	21,7	22,6
R (Minimum)			18,1	17,5	17,9
R (Maksimum)			24,5	23,6	24,3
R (Rata-rata)			21,33	20,49	21,81

Hammer Test K325 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 5 - 5	1	18,6	19,3	22,8
		2	19,2	19,8	25,2
		3	17,6	24,4	24,2
		4	21	21	22,5
		5	24,1	23,6	23
		6	21	19,7	21,7
		7	20,8	18,5	25,1
		8	22,8	21,2	21,9
		9	20,5	18,5	23,3
		10	21,2	20,7	20
R (Minimum)			17,6	18,5	20
R (Maksimum)			24,1	24,4	25,2
R (Rata-rata)			20,68	20,67	22,97

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
6	BT 5 - 6	1	18,5	18	20,9
		2	21,1	19,6	26,1
		3	19,8	19,8	24,1
		4	21,1	21,7	24
		5	26,1	21,6	23,3
		6	20,2	20,3	22,9
		7	20,2	21,2	20,9
		8	23,9	20,2	22,6
		9	18,8	22,3	23,4
		10	20,7	18,2	21,2
R (Minimum)			18,5	18	20,9
R (Maksimum)			26,1	22,3	26,1
R (Rata-rata)			21,04	20,29	22,94

Hammer Test K325 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 5 - 7	1	18,9	19,3	23,4
		2	22,4	19,9	25,4
		3	18,3	19,9	22,9
		4	21,5	20,3	19,5
		5	23,8	19,2	25,6
		6	23	25	22,1
		7	19,9	19,3	24
		8	21,2	18,7	22,6
		9	22,9	23,3	22
		10	24,7	22,4	21,3
R (Minimum)			18,3	18,7	19,5
R (Maksimum)			24,7	25	25,6
R (Rata-rata)			21,66	20,73	22,88

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 5 - 8	1	18,6	19,9	23,3
		2	22,6	22,2	24,1
		3	21,8	22,5	23,6
		4	24	20,5	24,6
		5	21,4	24,9	23,2
		6	18,5	19,1	22,6
		7	23,2	22,5	25
		8	18,4	18,8	23,7
		9	20,5	20,6	26,5
		10	23,4	21,8	22,2
R (Minimum)			18,4	18,8	22,2
R (Maksimum)			24	24,9	26,5
R (Rata-rata)			21,24	21,28	23,88

Hammer Test K325 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 5 - 9	1	19,9	17,6	23,6
		2	21,2	20,5	24,1
		3	19,4	18	24,7
		4	21,8	17,8	19
		5	23,4	20,4	21,6
		6	20,2	20,8	21
		7	22	22,6	22,7
		8	22,9	19	20,1
		9	23,1	18,2	23,1
		10	18,7	19,3	23,3
R (Minimum)			18,7	17,6	19
R (Maksimum)			23,4	22,6	24,7
R (Rata-rata)			21,26	19,42	22,32

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
10	BT 5 - 10	1	20,3	17,5	19,7
		2	22,9	17,8	22,2
		3	18	19,3	21,3
		4	21,8	18,7	24,4
		5	22,1	20,7	22,8
		6	21	24,6	24,1
		7	21,7	19,8	21,1
		8	19	17,8	19
		9	17,7	18,1	20,8
		10	18,7	23,9	21,3
R (Minimum)			17,7	17,5	19
R (Maksimum)			22,9	24,6	24,4
R (Rata-rata)			20,32	19,82	21,67

Hammer Test K325 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 5 - 11	1	25,4	19,1	23
		2	21,3	21,4	24
		3	19,2	20,1	21,6
		4	20,5	20,8	22,9
		5	23,2	22,5	19,9
		6	19,9	21	24,1
		7	18,9	19,1	21
		8	22	22,7	22
		9	12,6	20,1	25,7
		10	24,5	18,8	20,4
R (Minimum)			12,6	18,8	19,9
R (Maksimum)			25,4	22,7	25,7
R (Rata-rata)			20,75	20,56	22,46

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 5 - 12	1	20,2	19,2	19,3
		2	21,2	21,5	23,6
		3	20,7	21,1	22,5
		4	21,3	18,8	18,9
		5	22,5	20,6	22,6
		6	23,5	23,8	24,1
		7	22,1	26,3	20,3
		8	21,9	24,1	21,4
		9	19,9	19	24
		10	20,6	20,2	20,1
R (Minimum)			19,9	18,8	18,9
R (Maksimum)			23,5	26,3	24,1
R (Rata-rata)			21,39	21,46	21,68

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Uji UPV

UPV Test K225

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
			mm	(m/s)	(m/s)	
1	BT 1 - 1	1	152	4294	4419	4297,83
		2	150	4237	4237	
		3	149	4331	4269	
2	BT 1 - 2	1	149	4529	4599	4600,83
		2	149	4991	4269	
		3	151	4927	4290	
3	BT 1 - 3	1	151	4454	4390	4369,17
		2	152	4419	4294	
		3	150	4298	4360	
4	BT 1 - 4	1	153	4322	4262	4266,33
		2	149	4150	4209	
		3	150	4295	4360	
5	BT 1 - 5	1	150	4155	4360	4310,17
		2	150	4323	4491	
		3	153	4384	4148	
6	BT 1 - 6	1	151	4266	4206	4301,17
		2	153	4359	4322	
		3	151	4327	4327	
7	BT 1 - 7	1	152	4355	4419	4345,50
		2	152	4355	4355	
		3	152	4234	4355	
8	BT 1 - 8	1	150	4178	4237	4269,33
		2	151	4266	4327	
		3	153	4322	4286	
9	BT 1 - 9	1	152	4355	4211	4320,67
		2	151	4352	4390	
		3	150	4491	4125	
10	BT 1 - 10	1	153	4377	4322	4373,67
		2	151	4266	4302	
		3	151	4521	4454	
11	BT 1 - 11	1	151	4148	4114	4226,33
		2	152	4142	4176	
		3	152	4294	4484	
12	BT 1 - 12	1	152	4355	4294	4345,67
		2	149	4331	4461	
		3	150	4298	4335	

UPV Test K250

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
			mm	(m/s)	(m/s)	
1	BT 2 - 1	1	149	4302	4265	4215,17
		2	150	4181	4181	
		3	148	4181	4181	
2	BT 2 - 2	1	150	4298	4298	4243,00
		2	150	4178	4087	
		3	149	4237	4360	
3	BT 2 - 3	1	149	4123	4123	4142,33
		2	150	4181	4123	
		3	148	4181	4123	
4	BT 2 - 4	1	150	4178	4274	4826,83
		2	150	7360	4360	
		3	149	4298	4491	
5	BT 2 - 5	1	149	4181	4157	4211,17
		2	148	4181	4181	
		3	148	4265	4302	
6	BT 2 - 6	1	150	4181	4181	4227,17
		2	148	4277	4241	
		3	150	4181	4302	
7	BT 2 - 7	1	149	4202	4178	4256,00
		2	150	4360	4237	
		3	149	4298	4261	
8	BT 2 - 8	1	150	4431	4181	4233,00
		2	149	4241	4123	
		3	149	4217	4205	
9	BT 2 - 9	1	148	4366	4241	4296,83
		2	148	4302	4241	
		3	149	4265	4366	
10	BT 2 - 10	1	150	4360	4425	4364,83
		2	149	4360	4298	
		3	151	4360	4386	
11	BT 2 - 11	1	151	4237	4274	4377,50
		2	151	4298	4298	
		3	149	4798	4360	
12	BT 2 - 12	1	151	4261	4121	4253,00
		2	150	4386	4178	
		3	150	4274	4298	

UPV Test K275

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
			m	(m/s)	(m/s)	
1	BT 3 - 1	1	149	4294	4331	4330,83
		2	148	4431	4366	
		3	149	4269	4294	
2	BT 3 - 2	1	148	4209	4093	4199,00
		2	148	4150	4209	
		3	148	4264	4269	
3	BT 3 - 3	1	148	4395	433	3718,83
		2	148	4331	4269	
		3	150	4394	4491	
4	BT 3 - 4	1	149	4331	4269	4293,00
		2	151	4331	4269	
		3	149	4264	4294	
5	BT 3 - 5	1	149	4264	4150	4270,67
		2	150	4254	4331	
		3	151	4294	4331	
6	BT 3 - 6	1	149	4209	4209	4220,33
		2	149	4241	4181	
		3	151	4217	4265	
7	BT 3 - 7	1	151	4266	4206	4324,00
		2	150	4390	4327	
		3	151	4428	4327	
8	BT 3 - 8	1	151	4390	4242	4330,67
		2	148	4421	4269	
		3	149	4331	4331	
9	BT 3 - 9	1	149	4269	4209	4225,83
		2	149	4306	4093	
		3	150	4209	4269	
10	BT 3 - 10	1	149	4241	4241	4168,17
		2	150	4011	4033	
		3	150	4302	4181	
11	BT 3 - 11	1	150	4298	4178	4276,00
		2	151	4323	4298	
		3	149	4298	4261	
12	BT 3 - 12	1	150	4298	4087	4270,33
		2	151	4274	4178	
		3	151	4425	4360	

UPV Test K300

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
			m	(m/s)	(m/s)	
1	BT 4 - 1	1	150	4497	4425	4382,67
		2	151	4454	4266	
		3	151	4327	4327	
2	BT 4 - 2	1	148	4241	4302	4299,50
		2	149	4529	4185	
		3	149	4209	4331	
3	BT 4 - 3	1	150	4559	4297	4408,83
		2	148	4366	4498	
		3	148	4431	4302	
4	BT 4 - 4	1	151	4454	4290	4388,00
		2	149	4331	4461	
		3	149	4461	4331	
5	BT 4 - 5	1	151	4660	4390	4436,67
		2	150	4425	4360	
		3	150	4360	4425	
6	BT 4 - 6	1	150	4155	4425	4306,00
		2	150	4213	4323	
		3	150	4360	4360	
7	BT 4 - 7	1	150	4491	4275	4358,50
		2	150	4425	4298	
		3	149	4331	4331	
8	BT 4 - 8	1	149	4488	4370	4406,17
		2	150	4425	4298	
		3	149	4395	4461	
9	BT 4 - 9	1	150	4491	4360	4459,17
		2	149	4599	4461	
		3	151	4454	4390	
10	BT 4 - 10	1	149	4599	4269	4401,83
		2	150	4425	4274	
		3	151	4454	4390	
11	BT 4 - 11	1	150	4425	4298	4400,33
		2	148	4431	4392	
		3	149	4461	4395	
12	BT 4 - 12	1	151	4521	4327	4412,17
		2	148	4526	4366	
		3	148	4431	4302	

UPV Test K325

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	Direct Velocity Rata-rata		Nilai rata-rata
				1	2	
			m	(m/s)	(m/s)	
1	BT 5 - 1	1	150	4298	4399	4346,17
		2	151	4327	4327	
		3	149	4331	4395	
2	BT 5 - 2	1	149	4395	4331	4325,33
		2	149	4209	4269	
		3	150	4323	4425	
3	BT 5 - 3	1	149	4269	4116	4233,33
		2	151	4092	4327	
		3	150	4298	4298	
4	BT 5 - 4	1	151	4092	4070	4251,33
		2	149	4395	4209	
		3	151	4415	4327	
5	BT 5 - 5	1	152	4419	4294	4343,33
		2	146	4124	4307	
		3	150	4491	4425	
6	BT 5 - 6	1	148	4241	4302	4316,17
		2	151	4206	4266	
		3	151	4454	4428	
7	BT 5 - 7	1	149	4599	4331	4497,00
		2	149	4671	4331	
		3	150	4491	4559	
8	BT 5 - 8	1	149	4461	4331	4388,33
		2	148	4431	4302	
		3	151	4390	4415	
9	BT 5 - 9	1	150	4323	4425	4373,33
		2	149	4209	4269	
		3	151	4520	4494	
10	BT 5 - 10	1	149	4421	4395	4423,83
		2	150	4491	4425	
		3	150	4386	4425	
11	BT 5 - 11	1	152	4524	4484	4439,33
		2	147	4401	4311	
		3	150	4491	4425	
12	BT 5 - 12	1	149	4269	4395	4300,83
		2	150	4155	4175	
		3	150	4425	4386	

Lampiran 5 Dokumentasi Pngujiann



Gambar L-5.1 Titik Pengujian *Hammer*



Gambar L-5.2 Pengujian *Hammer*



Gambar L-5.3 Sampel Benda Uji



Gambar L-5.4 Penjepitan Benda Uji Menggunakan Clamp F



Gambar L-5.5 Pengujian *Hammer*



Gambar L-5.6 Pengujian *UPV*



Gambar L-5.5 Pengujian Kuat Tekan Beton