

TUGAS AKHIR

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

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



**Fildza Nur Rizqiyah
19511209**

**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 RENDAH
(CORRELATION BETWEEN HAMMER TEST AND UPV
RESULTS WITH COMPRESSIVE STRENGTH TEST
RESULTS OF LOW GRADE CONCRETE)

Disusun oleh

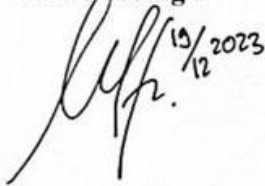
Fildza Nur Rizqiyah
19511209

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

Diuji pada tanggal 6 Desember 2023

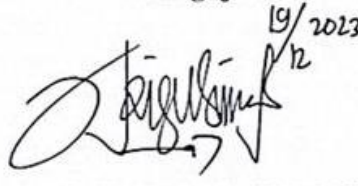
Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I



Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
NIK: 185111302

Penguji I



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

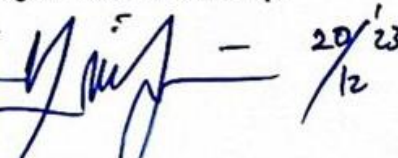
Penguji II



Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK: 195111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Yusuf Muntafi, S.T., M.T., Ph.D(Eng), IPM.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk 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 laporan 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. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 10 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Fildza Nur Rizqiyah

(19511209)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah rabbi'alamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul "Korelasi Antara Hasil Pengujian *Hammer* dan *UPV* dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Rendah" dengan baik. Sholawat dan salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Shallallahu'alaihi wa Sallam, keluarga, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi 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. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Malik Mushtofa S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi bimbingan, nasihat, saran dan dorongan kepada penulis dalam proses penelitian dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Anggit Mas Arifudin S.T., M.T selaku Penguji 2 pada Sidang Tugas Akhir saya.
4. Astriana Hardawati S.T., M.Eng selaku Penguji 3 pada Sidang Tugas Akhir saya.

5. Bapak Darussalam dan Bapak Suwarno selaku laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah membimbing saya dan membantu dalam proses pengumpulan data penelitian.
6. Seluruh Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberi banyak ilmu kepada penulis selama menuntut ilmu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Semoga ilmu yang disampaikan oleh bapak dan ibu dapat menjadi manfaat dan berkah untuk masa depan.
7. Muchammad Faiz, S.T. dan Zulchainun selaku abah dan umi saya, dan Zaki Arfad Rabbany selaku adik saya, yang selalu tanpa lelah memberi dukungan dan doa dalam setiap perjalanan saya hingga penulis dapat menyelesaikan studi S1 dan melewati segala kesulitan dan tantangan dengan baik.
8. Keluarga besar di Pontianak dan Surabaya, yang senantiasa selalu mendoakan penulis hingga penulis bisa menyelesaikan studi S1 Teknik Sipil di Universitas Islam Indonesia.
9. M. Alwan Dwi Widodo dan M. Arkam Mussadat yang selalu membantu penulis dan memberi motivasi dalam proses pembuatan sampel pengujian hingga proses penyusunan naskah Tugas Akhir.
10. Annisa Akmalia Julerezky, Tsamara Mita Gisbella, dan Amalia Nurul Hikmah, yang bertahun-tahun telah menjadi sahabat yang baik bagi penulis, semoga cita-cita kita segera terwujud.
11. Andien Salsabila Zahra dan Maulana Gita Cahyadi selaku rekan staff Departemen KSHL serta teman-teman Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil 2021/2022 dan teman-teman Teknik Sipil 2019 yang terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
12. Teman seperjuangan seperantauan, Azri, juga Rivan dan Medina yang turut menjadi teman penulis selama proses menyelesaikan Tugas Akhir.
13. Semua pihak dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, yang telah turut serta menyaksikan setiap proses dalam penyelesaian studi dan Tugas Akhir penulis.

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

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 20 Desember 2023

Penulis,

Fildza Nur Rizqiyah

(19511209)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxiii
ABSTRAK	xxiv
<i>ABSTRACT</i>	xxv
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 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan dilakukan	10
BAB III LANDASAN TEORI	14

3.1	Beton	14
3.2	Sifat – Sifat Beton	15
3.2.1	Kemudahan Pengerjaan (<i>Kelecakan/Workability</i>)	15
3.2.2	Pemisahan Kerikil (<i>Segregasi</i>)	15
3.2.3	Pemisahan Air (<i>Bleeding</i>)	16
3.2.4	Kuat Tekan	16
3.2.5	Tahan Lama (<i>Durability</i>)	18
3.3	Semen	18
3.4	Agregat	19
3.4.1	Agregat Kasar	20
3.4.2	Agregat Halus	20
3.5	Air	21
3.6	Hammer Test	22
3.7	Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test	24
3.8	Compression Test	26
3.9	Analisis Regresi	27
3.9.1	Regresi Linier Sederhana	28
3.9.2	Regresi Linier Berganda	28
3.9.3	Regresi Non Linier	29
BAB IV METODE PENELITIAN		32
4.1	Umum	32
4.2	Bahan yang Digunakan	32
4.3	Alat yang digunakan	34
4.4	Keterangan Benda Uji	38
4.5	Tahapan Penelitian	39
4.5.1	Persiapan Penelitian	39
4.5.2	Pengujian Agregat	40

4.5.3	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	40
4.5.4	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	41
4.5.5	Pengujian Beton	41
BAB V	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	47
5.1	Tinjauan Umum	47
5.2	Hasil Pemeriksaan Properties Campuran Beton	47
5.3	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	61
5.4	Perencanaan Campuran Beton Menggunakan SNI 7394:2008	71
5.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	72
5.6	Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> Digital	77
5.7	Hasil Pengujian UPV	83
5.8	Hasil Pengujian <i>Compressive, Hammer, dan UPV</i>	92
5.9	Analisis Regresi dan Korelasi	94
5.9.1	Analisis Regresi Linier	95
5.9.2	Analisis Regresi Eksponensial	102
5.9.3	Analisis Regresi Logaritmik	109
5.9.4	Analisis Regresi Polinomial	116
5.9.5	Analisis Regresi <i>Power</i>	123
5.9.6	Pembahasan Analisis Regresi Satu Variabel	129
5.9.7	Analisis Regresi Linier Berganda dan Korelasi Linier Berganda	132
5.9.8	Grafik Hubungan Korelasi antara <i>Hammer Test, UPV Test dan Compression Test</i>	133
5.9.9	Analisis Regresi antara <i>Hammer Test, UPV Test dan Compression Test</i>	135
5.10	Kesalahan Relatif antara Persamaan Regresi <i>Non-Destructive Test</i> dengan Kuat Tekan Rencana	137

5.11	Kesalahan Relatif antara Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan	141
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	145
6.1	Kesimpulan	148
6.2	Saran	149
	DAFTAR PUSTAKA	147
	LAMPIRAN	175

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilakukan	11
Tabel 3.1 Penyebab-Penyebab Utama Variasi Kekuatan	17
Tabel 3.2 Batas Gradasi Agregat Halus	21
Tabel 4.1 Keterangan Benda Uji	39
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	48
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus	50
Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus	51
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	53
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	54
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	54
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	56
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar	58
Tabel 5.9 Gradasi Agregat Kasar	59
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	60
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	61
Tabel 5.12 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Tersedia Kurang dari 30	62
Tabel 5.13 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang digunakan	62
Tabel 5.14 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	64
Tabel 5.15 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	65
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton	69
Tabel 5.17 Rekapitulasi Komposisi Campuran Material Beton Per m^3	71

Tabel 5.18 Rekapitulasi Komposisi Campuran Material Beton Per 12 Benda Uji Kubus	72
Tabel 5.19 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-100 ($f^c = 8,3$ MPa)	72
Tabel 5.20 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-125 ($f^c = 10,38$ MPa)	73
Tabel 5.21 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-150 ($f^c = 12,45$ MPa)	74
Tabel 5.22 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-175 ($f^c = 14,53$ MPa)	75
Tabel 5.23 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-200 ($f^c = 16,60$ MPa)	76
Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Kubus Mutu K-100	78
Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Kubus Mutu K-125	79
Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Kubus Mutu K-150	80
Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Kubus Mutu K-175	81
Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Kubus Mutu K-200	82
Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-100	83
Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-125	85
Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-150	87
Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-175	88
Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-200	90
Tabel 5.34 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang	91
Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Compressive</i> , <i>Hammer</i> , dan <i>UPV</i>	92
Tabel 5.36 Rekapitulasi Regresi Linier Antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	98

Tabel 5.37 Rekapitulasi Regresi Linier Antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	101
Tabel 5.38 Gabungan Regresi Eksponensial antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	104
Tabel 5.39 Rekapitulasi Regresi Eksponensial Antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	105
Tabel 5.40 Rekapitulasi Regresi Eksponensial Antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	108
Tabel 5.41 Rekapitulasi Regresi Logaritmik antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	112
Tabel 5.42 Rekapitulasi Regresi Logaritmik antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	115
Tabel 5.43 Rekapitulasi Regresi Polinomial antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	119
Tabel 5.44 Rekapitulasi Regresi Polinomial antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	122
Tabel 5.45 Rekapitulasi Regresi <i>Power</i> antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	126
Tabel 5.46 Rekapitulasi Regresi <i>Power</i> antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	129
Tabel 5.47 Klasifikasi Nilai Koefisien Korelasi	130
Tabel 5.48 Rekapitulasi Hasil Trendline Regresi antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	130
Tabel 5.49 Rekapitulasi Hasil Trendline Regresi antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	131
Tabel 5.50 Persamaan Regresi Antara <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dan <i>Compression Test</i>	136
Tabel 5.51 Persamaan Regresi antara <i>Non-Destructive Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	138
Tabel 5.52 Kesalahan Relatif antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Nilai Kuat Tekan Beton Hasil <i>Non-Destructive Test</i>	139

Tabel 5. 53 Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu dengan penelitian yang dilakukan	141
Tabel 5. 54 Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan	142

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Diameter 3 inci dan 6 inci	6
Gambar 2.2 Grafik Hubungan antara Pengujian <i>UPV</i> , <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i>	6
Gambar 2.3 Hubungan Kecepatan dan Kuat Tekan pada Beton Normal	7
Gambar 2.4 Grafik Hubungan Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Kubus dengan Variasi Mutu Beton Gabungan	8
Gambar 2.5 Grafik Hubungan Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Silinder Variasi Mutu Beton Gabungan	9
Gambar 2.6 Grafik Hubungan Korelasi <i>UPV Test</i> , <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i> Mutu Beton Gabungan	10
Gambar 3.1 Skema Cara Kerja Alat <i>Hammer</i>	23
Gambar 3.2 Cara-Cara Pengujian <i>UPV</i> berdasarkan Posisinya	25
Gambar 3.3 Skema Cara Kerja Alat <i>UPV</i>	26
Gambar 4.1 Semen	33
Gambar 4.2 Pasir	33
Gambar 4.3 Agregat Kasar	33
Gambar 4.4 Air	34
Gambar 4.5 Timbangan	34
Gambar 4.6 Ayakan <i>Mesh</i>	35
Gambar 4.7 Oven	35
Gambar 4.8 Bekisting Balok	35
Gambar 4.9 Baskom	36
Gambar 4.10 <i>Concrete Mixer</i>	36
Gambar 4.11 Sekop	36
Gambar 4.12 <i>Clamp F</i>	37
Gambar 4.13 Mesin <i>Compression Test</i>	37

Gambar 4.14	Alat <i>Hammer Test</i>	38
Gambar 4.15	Alat <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	38
Gambar 4.16	Metode Pengujian Secara <i>Direct</i>	42
Gambar 4.17	Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	45
Gambar 4.18	Diagram <i>Flowchart</i> Alur Penelitian	46
Gambar 5.1	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II	52
Gambar 5.2	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm	59
Gambar 5.3	Hubungan antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen untuk Benda Uji Kubus 150 x 150 x 150 mm	63
Gambar 5.4	Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	67
Gambar 5.5	Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Dipadatkan	68
Gambar 5.6	Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-100 ($f'c = 8,3$ MPa)	73
Gambar 5.7	Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-125 ($f'c = 10,38$ MPa)	74
Gambar 5.8	Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-150 ($f'c = 12,45$ MPa)	75
Gambar 5.9	Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-175 ($f'c = 14,53$ MPa)	76
Gambar 5.10	Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-200 ($f'c = 16,60$ MPa)	77
Gambar 5.11	Grafik Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Mutu K-100	79
Gambar 5.12	Grafik Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Mutu K-125	80
Gambar 5.13	Grafik Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Mutu K-150	81
Gambar 5.14	Grafik Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Mutu K-175	82
Gambar 5.15	Grafik Hasil Pengujian <i>Hammer</i> pada Benda Uji Kubus Mutu K-200	83
Gambar 5.16	Grafik Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-100	85
Gambar 5.17	Grafik Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-125	86
Gambar 5.18	Grafik Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-150	88

Gambar 5.19 Grafik Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-175	89
Gambar 5.20 Grafik Hasil Pengujian <i>UPV</i> pada Benda Uji Mutu K-200	91
Gambar 5.21 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-100 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	95
Gambar 5.22 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-125 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	95
Gambar 5.23 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-150 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	96
Gambar 5.24 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-175 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	96
Gambar 5.25 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-200 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	97
Gambar 5.26 Gabungan Regresi Linier antara pengujian <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	97
Gambar 5.27 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	98
Gambar 5.28 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	99
Gambar 5.29 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	99
Gambar 5.30 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	100
Gambar 5.31 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	100
Gambar 5.32 Gabungan Regresi Linier antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression</i> <i>Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	101
Gambar 5.33 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	102
Gambar 5.34 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	102
Gambar 5.35 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara	

	<i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	103
Gambar 5.36	Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	103
Gambar 5.37	Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	104
Gambar 5.39	Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	105
Gambar 5.40	Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	106
Gambar 5.41	Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	106
Gambar 5.42	Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	107
Gambar 5.43	Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>UPV</i> <i>Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	107
Gambar 5.44	Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	109
Gambar 5.45	Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	109
Gambar 5.46	Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	110
Gambar 5.47	Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	110
Gambar 5.48	Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	111
Gambar 5.49	Gabungan Regresi Logaritmik antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	111
Gambar 5.50	Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>UPV</i> <i>Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	112
Gambar 5.51	Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>UPV</i> <i>Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	113

Gambar 5.52 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	113
Gambar 5.53 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	114
Gambar 5.54 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	114
Gambar 5.55 Gabungan Regresi Logaritmik antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	115
Gambar 5.56 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	116
Gambar 5.57 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	116
Gambar 5.58 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	117
Gambar 5.59 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	117
Gambar 5.60 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	118
Gambar 5.61 Gabungan Regresi Polinomial antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	118
Gambar 5.62 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	119
Gambar 5.63 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	120
Gambar 5.64 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	120
Gambar 5.65 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	121
Gambar 5.66 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	121
Gambar 5.67 Gabungan Regresi Polinomial antara <i>UPV Test</i> dengan	

	<i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	122
Gambar 5.68	Regresi Power Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	123
Gambar 5.69	Regresi Power Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	123
Gambar 5.70	Regresi Power Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	124
Gambar 5.71	Regresi Power Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	124
Gambar 5.72	Regresi Power Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	125
Gambar 5.73	Gabungan Regresi <i>Power</i> antara <i>Hammer Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	125
Gambar 5.74	Regresi <i>Power</i> Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	126
Gambar 5.75	Regresi <i>Power</i> Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	127
Gambar 5.76	Regresi <i>Power</i> Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	127
Gambar 5.77	Regresi <i>Power</i> Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	128
Gambar 5.78	Regresi <i>Power</i> Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i>	128
Gambar 5.79	Gabungan <i>Power</i> Logaritmik antara <i>UPV Test</i> dengan <i>Compression Test</i> Setiap Variasi Mutu Beton	129
Gambar 5.80	Grafik Korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dan <i>Compression</i> <i>Test</i> pada Benda Uji Variasi K-100	133
Gambar 5.81	Grafik Korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dan <i>Compression</i> <i>Test</i> pada Benda Uji Variasi K-125	134
Gambar 5.82	Grafik Korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dan <i>Compression</i> <i>Test</i> pada Benda Uji Variasi K-150	134

Gambar 5.83 Grafik Korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dan <i>Compression Test</i> pada Benda Uji Variasi K-175	135
Gambar 5.84 Grafik Korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dan <i>Compression Test</i> pada Benda Uji Variasi K-200	135
Gambar 5.85 Grafik Korelasi <i>Hammer Test</i> , <i>UPV Test</i> , dan <i>Compression Test</i> Seluruh Variasi Benda Uji	137

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium	151
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	152
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i>	154
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Uji <i>UPV</i>	184
Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian	189

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SNI	= Standar Nasional Indonesia
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
UPV	= <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>
NDT	= <i>Non Destructive Test</i>
fc'	= Kuat tekan beton (MPa)
MPa	= <i>Megapascal</i>
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 Agregat Gabungan
BJAK	= Berat Jenis Agregat Kasar
%AH	= Persentase Agregat Halus
%AK	= Persentase Agregat Kasar
P	= Beban Maksimum (N)
A	= Luas Penampang Benda Uji (mm ²)
mm	= <i>Milimeter</i>
cm	= <i>Centimeter</i>
m	= <i>Meter</i>
R ²	= Koefisien Korelasi
R	= <i>Rebound</i>

ABSTRAK

Beton mutu rendah sering digunakan pada infrastruktur jalan, seperti bahu jalan, trotoar, dan pekerjaan paving. Meskipun memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah, beton mutu rendah tetap perlu diuji kualitasnya sebelum digunakan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa beton mutu rendah memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. Metode pengujian yang paling efektif untuk beton mutu rendah adalah pengujian destructive test berupa *core drill* dilanjutkan dengan *compression test*. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil sampel beton dari bagian konstruksi yang akan diuji. Sampel beton kemudian diuji kekuatan tekannya dengan menggunakan mesin *compression test*. Namun pengujian tersebut adakalanya tidak dapat dilakukan karena dikhawatirkan dapat merusak beton struktur serta memakan biaya yang lebih banyak. Maka dilakukan *non-destructive test* pada beton struktur eksisting sebagai metode alternatif pengujian agar tidak merusak beton struktur. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hubungan antara nilai kuat tekan hasil *compression test* dengan nilai hasil uji *non-destructive test* berupa *hammer test* dan *ultrasonic pulse velocity (UPV) test*. Sampel yang digunakan berupa beton kubus K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200 dengan usia 28 hari. Jumlah sampel adalah 60 dengan masing – masing variasi mutu sebanyak 12 sampel.

Hasil penelitian menunjukkan nilai *compression test* rata – rata pada benda uji mutu K-100 adalah 13,66 MPa, K-125 adalah 13,93 MPa, K-150 adalah 15,63 MPa, K-175 adalah 17,83 MPa, dan K-200 adalah 19,38 MPa. Nilai rata – rata hasil *hammer test* adalah 18,29 untuk K-100, 18,86 untuk K-125, 20,80 untuk K-150, 19,40 untuk K-175, dan 20,78 untuk K-200. Nilai rata – rata hasil UPV test K-100 adalah 4182,47 m/s, K-125 adalah 4315,55 m/s, K-150 adalah 4323 m/s, K-175 adalah 4377,81 m/s, serta K-200 adalah 4440,13 m/s. Serta didapatkan hubungan korelasi antara *hammer test* dengan *compression test* berupa $Y = 3E-05X^2 - 0,2719X + 567,62$ ($R^2 = 0,4611$) (Keterangan; X = *hammer test*; Y = *compression test*), UPV test dengan *compression test* berupa $Y = -0,0236X^2 + 2,331X - 19,897$ ($R^2 = 0,5749$) (Keterangan; X = UPV test; Y = *compression test*), dan *hammer test*, UPV test dengan *compressive test* berupa $Y = -38,08524 + 1,06996 X_1 + 0,00778X_2$ ($R^2 = 0,656$) (Keterangan; $X_1 = \textit{hammer test}$; $X_2 = \textit{UPV test}$; Y = *compression test*).

Kata kunci: *compression test, destructive test, hammer test, non-destructive test, dan UPV test.*

ABSTRACT

Low-strength concrete is commonly used in road infrastructure, such as roadside, sidewalks, and paving works. Despite its lower compressive strength, low-strength concrete still needs to be tested for quality before use. This testing is intended to ensure that low-strength concrete meets the established quality standards. The most effective testing method for low-strength concrete is destructive testing in the form of core drilling followed by compression testing. This testing is performed by taking a sample of concrete from the part of the structure to be tested. The concrete sample is then tested for its compressive strength using a compression testing machine. However, this testing cannot always be performed because it is feared that it can damage the structural concrete and requires more costs. Therefore, non-destructive testing is performed on existing structural concrete as an alternative testing method in order not to damage the structural concrete. This study aimed to obtain the relationship between the compressive strength values from compression testing and the results of non-destructive testing in the form of hammer test and ultrasonic pulse velocity (UPV) test. The samples used were cubic concrete of K-100, K-125, K-150, K-175, and K-200 strengths with an age of 28 days. The total number of samples was 60, with 12 samples for each variation of strength.

The results of the study showed that the average compression test value on K-100 concrete specimens was 13,66 MPa, K-125 was 13,93 MPa, K-150 was 15,63 MPa, K-175 was 17,83 MPa, and K-200 was 19,38 MPa. The average value of the hammer test results was 18,29 for K-100, 18,86 for K-125, 20,80 for K-150, 19,40 for K-175, and 20,78 for K-200. The average UPV test results for K-100 are 4182,47 m/s, K-125 is 4315,55 m/s, K-150 is 4323 m/s, K-175 is 4377,81 m/s, and K-200 is 4440,13 m/s. The correlation relationship between hammer testing and compression testing was obtained in the formula of $Y = 3E-05X^2 - 0,2719X + 567,62$ ($R^2 = 0,4611$) (Where; X = hammer test; Y = compression test), UPV testing with compression testing in the formula of $Y = -0,0236X^2 + 2,331X - 19,897$ ($R^2 = 0,5749$) (Where; X = UPV test; Y = compression test), and hammer testing, UPV testing with compressive test in the formula of $Y = -38,08524 + 1,06996 X_1 + 0,00778X_2$ ($R^2 = 0,656$) (Where; X_1 = hammer test; X_2 = UPV test; Y = compression test).

Keywords: *compression test, destructive test, hammer test, non-destructive test, and UPV test.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemeriksaan keberlanjutan fungsi bangunan tidak hanya digunakan pada gedung, tetapi juga untuk infrastruktur yang menggunakan beton mutu rendah. Beton mutu rendah dapat digunakan pada infrastruktur jalan, seperti bahu jalan, trotoar, dan pekerjaan paving. Menurut Pedoman Teknis Pd T-07-2005-B mengenai Pelaksanaan Pekerjaan Beton untuk Jalan dan Jembatan, dalam mengevaluasi kualitas bahan, campuran, atau hasil akhir konstruksi beton, diperlukan pengujian tambahan sesuai kebutuhan. Pengujian tersebut dapat meliputi pemeriksaan non-destruktif menggunakan peralatan seperti *impact echo*, *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*, atau alat uji lainnya. Pengujian ini dilakukan pada struktur atau bagian tertentu yang menimbulkan keraguan. Selain metode *non-destructive test*, pengambilan dan pengujian juga dilakukan dengan menggunakan metode *destructive test* dengan mengambil benda uji inti beton menggunakan *core drill*, serta pengujian lain yang disarankan.

Pengujian beton penting dilakukan untuk memperoleh data dalam mengidentifikasi suatu struktur beton. Metode pengujian beton berdasarkan sifatnya dibagi menjadi dua jenis, yaitu *non-destructive test* (pengujian bersifat tidak merusak) dan *destructive test* (pengujian bersifat merusak). Pengujian *destructive test* meliputi *loading test* atau *core drill* beton yang selanjutnya dilakukan *compression test* dengan alat *compression testing machine*. Sedangkan, *non-destructive test* satu diantaranya dapat dilakukan dengan *hammer test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*.

Metode pengujian *destructive test* adalah pengujian yang paling efektif dibandingkan dengan metode *non-destructive test*, karena data nilai kuat tekan beton yang didapatkan merupakan nilai kuat tekan beton aktual yang ada di lapangan. Untuk struktur eksisting yang usianya telah mencapai kurun waktu

beberapa tahun tertentu, metode *destructive test* terkadang sangat dihindari untuk dilakukan karena dapat merusak dan menurunkan kualitas beton struktur serta memakan biaya lebih banyak, maka dilakukan *structural assessment* pada beton struktur eksisting dengan metode *non-destructive test* sebagai metode alternatif karena sifatnya yang tidak merusak struktur yang akan dievaluasi.

Menurut *International Atomic Energy Agency (Vienna, 2002)*, berikut ini adalah situasi dimana pengujian *non-destructive-test* dibutuhkan, yaitu *quality control* dari beton *pre-cast* atau konstruksi *in situ*, memastikan dan menghilangkan keraguan tentang kualitas beton di lapangan, mengevaluasi dan mengkonfirmasi dugaan kerusakan beton akibat faktor-faktor kelebihan beban, kerusakan karena pembebanan yang berulang (*fatigue*), kebakaran, gempa, alih fungsi bangunan, dan efek lingkungan.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian dengan menggunakan *destructive* dan *non-destructive test* terhadap beton mutu rendah. Pengujian *non-destructive test* menggunakan metode *hammer test* untuk mendapatkan nilai *R* (*rebound hammer*) dan *UPV* (*Ultrasonic Pulse Velocity*) untuk mendapatkan nilai *V* (*velocity*). Kemudian dilakukan pengujian desak beton untuk mendapatkan nilai kuat tekan aktual. Hasil dari penelitian ini berupa suatu persamaan yang menggambarkan hubungan antara f_c' aktual dengan nilai *rebound* (*R*) dari hammer dan nilai cepat rambat (*V*) dari *UPV*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang dijabarkan di atas, berikut ini adalah rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana persamaan untuk menggambarkan nilai korelasi antara nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dari *compression test* dengan setiap hasil pengujian *hammer test* dan *UPV test* pada beton dengan variasi mutu beton K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200?
2. Bagaimana korelasi antara hasil pengujian *NDT hammer test*, *UPV test* dan *compression test* pada beton dengan variasi mutu beton K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Memperoleh persamaan hubungan antara nilai hasil uji hammer test dan *UPV* dengan nilai f_c' aktual dari pengujian *compression test*.
2. Menganalisis korelasi antara hasil pengujian *UPV*, *hammer test*, terhadap *compression test* pada beton variasi mutu beton K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari pengujian kekuatan beton menggunakan 3 metode pengujian yaitu *UPV*, *hammer test*, dan *compression test* dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan dalam hal pengujian beton khususnya pengujian *UPV*, *hammer test*, dan *compression test*.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan acuan korelasi nilai hasil uji *NDT* terhadap mutu beton aktual, khususnya dalam pekerjaan pemeriksaan kelayakan suatu bangunan dengan berbagai kondisi sesuai dengan syarat yang telah ditentukan.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, berdasarkan dari permasalahan masalah dan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka masalah yang akan diteliti dibatasi oleh beberapa hal, antara lain :

1. Benda uji yang dipakai menggunakan sampel beton kubus dengan mutu beton K-100, K-125, K-150, K-175, K-200.
2. Umur benda uji yang akan diuji adalah 28 hari.
3. Sampel yang digunakan untuk penelitian yaitu beton kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm.
4. Pengujian menggunakan metode *UPV test*, *hammer test*, dan *compression test*.

5. Alat uji *Hammer Test* menggunakan merk *Controls* dan *Matest*.
6. Alat uji *Ultrasonic Pulse Velocity Test* menggunakan merk *Proceq*.
7. Alat uji *compression test* menggunakan *compression testing machine*.
8. Benda uji berupa beton kubus sebanyak 60 sampel.
9. Proporsi campuran beton mengacu pada SNI 2834-2000 dan SNI 7394-2008.
10. Semen yang digunakan adalah semen *PCC* tipe I merk *Dynamix*.
11. Agregat kasar berasal dari Sungai Progo dengan ukuran maksimum 20 mm.
12. Agregat halus berasal dari Merapi.
13. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka membahas mengenai penelitian terdahulu sebagai bahan acuan dalam penelitian. Penelitian mengenai studi korelasi antara hasil pengujian nilai *rebound hammer test*, *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test*, dan pengujian kuat tekan (*destructive test*) pada beton sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai perbedaan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya.

2.2 Penelitian Terdahulu

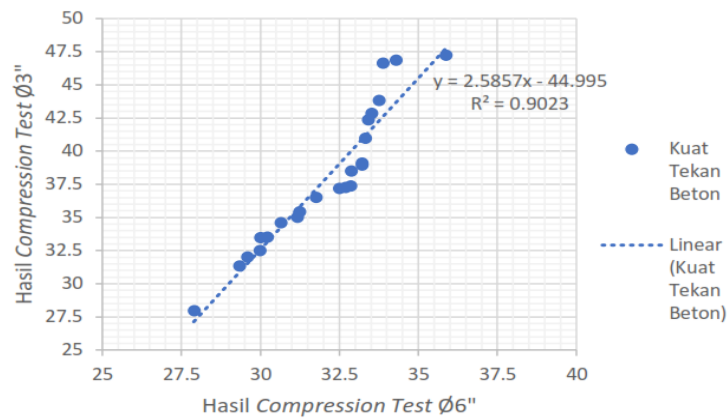
1. Studi Evaluasi Pengaruh Variasi Mutu Beton Terhadap Kekuatan Struktur Beton Normal menggunakan Metode *Non-Destructive Test* dan *Destructive Test*.

Bagas Bhanu Aribawa, dkk (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi mutu beton terhadap kekuatan struktur beton normal menggunakan metode *NDT* dan *destructive test*. Penelitian ini dilakukan pada beton silinder dengan variasi 12,5 MPa, 18,75 MPa, dan 25 MPa dengan 3 buah sampel pada masing masing variasi mutu beton. Tujuan penelitian ini adalah ingin mengetahui pengaruh variasi mutu beton terhadap kecepatan rambat gelombang *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test*, *rebound number* beton hasil *Hammer Test* dan kuat tekan aktual hasil *compressive test*, yang kemudian akan diperoleh permodelan formula hasil dari kombinasi ketiga pengujian tersebut.

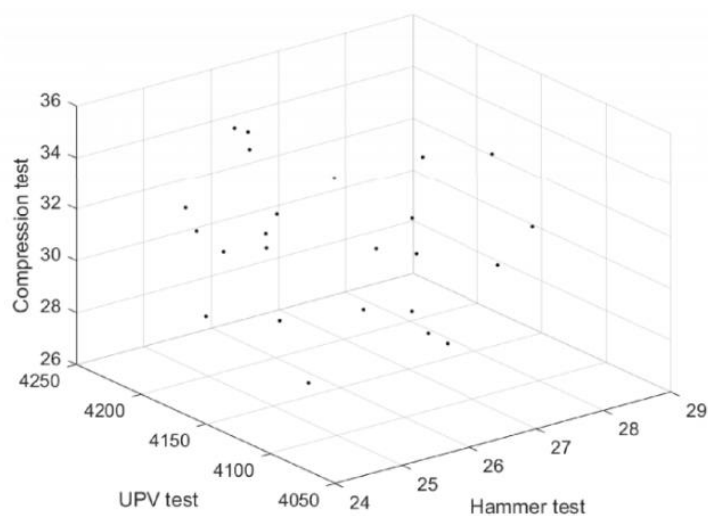
2. Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton dari Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*, *Hammer Test*, dan *Compression Test*.

Manopo, H. (2019) melakukan penelitian kuantitatif menggunakan benda uji berbentuk silinder yaitu dengan ukuran diameter 6 inci dengan tinggi 30 cm

dan diameter 3 inci dengan tinggi 20 cm. Pengujian yang dilakukan menggunakan *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Penelitian ini salah satu tujuannya adalah mencari hubungan korelasi dari hasil pengujian *UPV test*, *hammer test*, dan *compression test*. Penelitian ini menunjukkan hubungan korelasi dari hasil pengujian *UPV test*, *hammer test*, dan *compression test* pada beton mutu sedang dalam bentuk regresi polinomial yaitu $Y = -44,42541145 + 0,364325668X_1 + 0,016144329X_2$. Keterangan : $Y = \text{compression test}$, $X_1 = \text{hammer test}$, dan $X_2 = \text{UPV test}$.



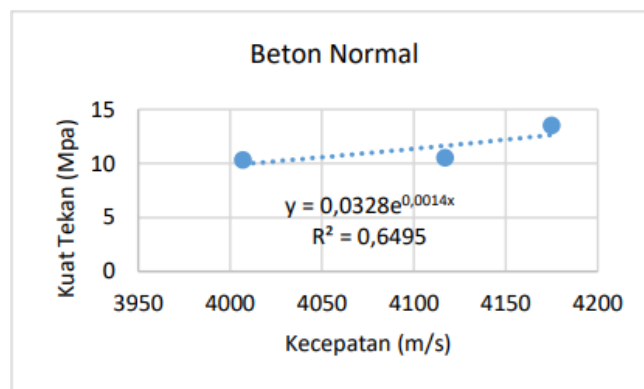
Gambar 2.1 Hubungan Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Diameter 3 inci dan 6 inci



Gambar 2.2 Grafik Hubungan antara Pengujian UPV, Hammer Test, dan Compression Test

3. Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Terhadap Kerapatan Beton dengan Menggunakan *Pulse Velocity* Pada Alat *UPV*.

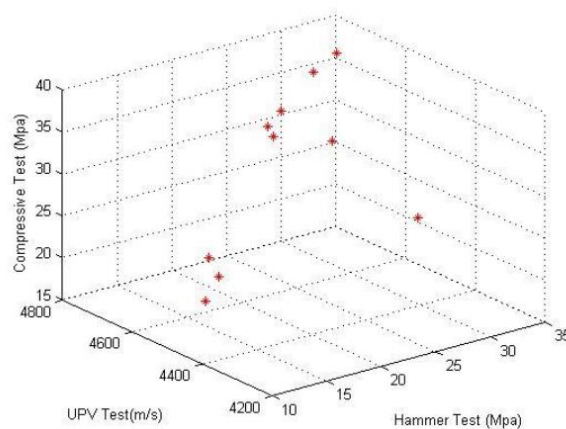
Enggie Ayu Herma P., Indradi Wijatmiko, dan Sugeng P. Budio (2019) melakukan analisis kecepatan rambat yang diperoleh dari *Ultrasonic Pulse Velocity Testing* pada beton silinder dengan variasi agregat yang berbeda. Adapun 4 tipe variasi agregat pada penelitian ini yaitu beton serat, batu apung, beton porous atau beton non pasir, dan beton agregat kasar daur ulang. Dalam penelitian ini persamaan antara kuat tekan dan kecepatan rambat menghasilkan koefisien korelasi yang berbeda pada setiap variasi beton. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa pada beton rata-rata nilai kuat tekan yang didapat berada diatas kuat tekan rencana, hal ini dikarenakan adanya fiber pada campuran beton yang menambah kuat tekan pada beton walaupun nilainya tidak signifikan. Setelah data-data hasil pengujian kuat tekan aktual dan kecepatan gelombang didapat, kemudian setiap benda uji dirata-rata untuk dapat dicari hubungan antara kuat tekan beton dengan kecepatan gelombang. Berikut hasil dari penelitian berupa grafik persamaan regresi linear antara kuat tekan beton dengan kecepatan gelombang yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini.



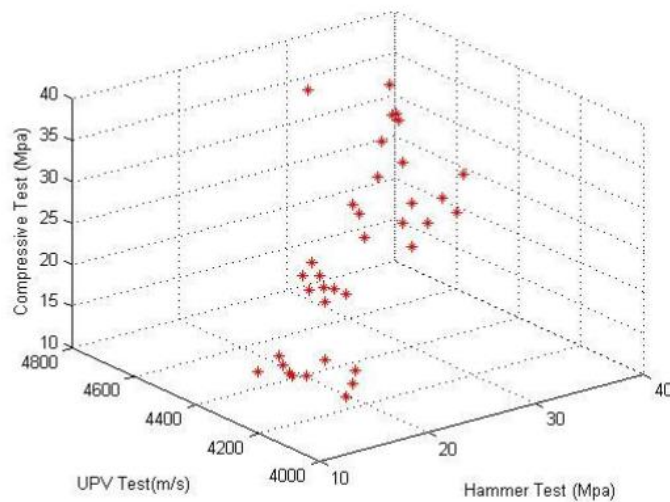
Gambar 2.3 Hubungan Kecepatan dan Kuat Tekan pada Beton Normal

4. Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan *Non-Destructive Test* dan *Destructive Test*.

I Nengah Gandi Wirotama (2018) melakukan penelitian dengan dua metode pengujian beton, yaitu *Non-Destructive Test* dan *Destructive Test*. Pengujian dilaksanakan pada objek uji berbentuk kubus dan silinder dengan variasi mutu beton yang berbeda, yaitu 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Hasil pengujian tersebut selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode regresi untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi dan persamaan regresi yaitu $Y=a+bX_1+cX_2$, dimana a, b, c adalah konstanta, Y adalah nilai kuat tekan dari *compression test*, X_1 adalah nilai kuat tekan dari *hammer test* dan X_2 adalah nilai hasil pengujian *UPV test*. Berikut hasil dari penelitian berupa grafik persamaan regresi linear antara kuat tekan beton dengan kecepatan gelombang yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 di bawah ini.



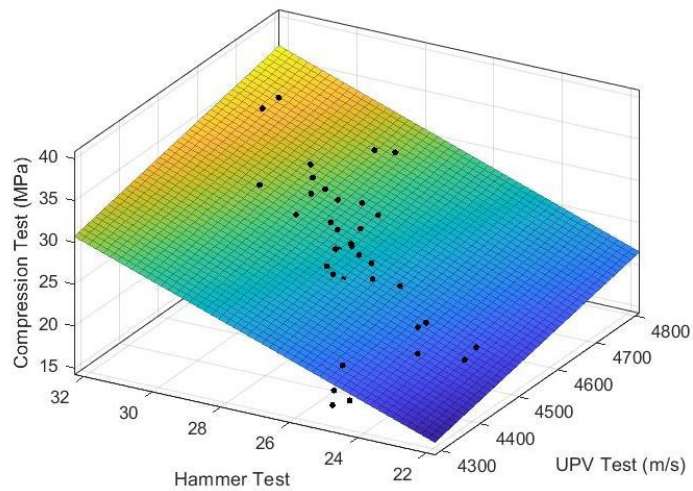
Gambar 2.4 Grafik Hubungan Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Kubus dengan Variasi Mutu Beton Gabungan



Gambar 2.5 Grafik Hubungan Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Silinder Variasi Mutu Beton Gabungan

5. Korelasi Antara Hasil Pengujian *Hammer* dan *UPV* dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan *Fly Ash* Mutu Sedang.

Muhammad Arkam Mussadat (2023) melakukan penelitian terhadap 4 variasi benda uji beton dengan variasi beton mutu sedang yaitu 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa dan masing-masing benda uji ditambahkan dengan *fly ash* pengganti semen sebesar 10%. Benda uji kemudian dilakukan pengujian *non-destructive test* yaitu *UPV test* dan *hammer test* dan pengujian *destructive test* yaitu *compression test*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan/korelasi dari hasil pengujian *hammer test* dan *UPV test* dengan hasil pengujian *compression test*. Hasil korelasi/hubungan antara pengujian *hammer test* dan *UPV test* dengan *compression test* yaitu $Y = -62,102 + 0,011X_1 + 1,420X_2$ (dimana $X_1 = \text{hammer test}$, $X_2 = \text{UPV test}$) dengan $R^2 = 0,602$. Korelasi tersebut disajikan dengan grafik pada Gambar 2.6 sebagai berikut.



Gambar 2.6 Grafik Hubungan Korelasi *UPV Test*, *Hammer Test*, dan *Compression Test* Mutu Beton Gabungan

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan dilakukan

Perbandingan perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilakukan

Peneliti	Aribawa, dkk. (2019)	Manopo, H. (2019)	Putri, dkk. (2019)	Wirotama (2018)	Mussadat (2023)	Penulis (2023)
Judul	Studi Evaluasi Pengaruh Variasi Mutu Beton Terhadap Kekuatan Struktur Beton Normal Menggunakan Metode <i>Non-Destructive Test</i> dan <i>Destructive Test</i>	Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton dari Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), Hammer Test, dan Compression Test.	Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Terhadap Kerapatan Beton dengan Menggunakan <i>Pulse Velocity</i> pada Alat UPV (<i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>)	Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan <i>Non-Destructive Test</i> dan <i>Destructive Test</i>	Korelasi Antara Hasil Pengujian <i>Hammer</i> dan <i>UPV</i> dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Fly Ash</i> Mutu Sedang	Korelasi Antara Hasil Pengujian <i>Hammer</i> dan <i>UPV</i> dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Rendah
Tujuan	Mengetahui pengaruh variasi mutu beton 12,5 MPa, 18,75 MPa, dan 25 MPa terhadap kecepatan rambat gelombang ultrasonic menggunakan metode <i>Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test, rebound number</i> beton hasil <i>Hammer Test</i> dan kuat tekan aktual hasil <i>Compressive Test</i> , yang kemudian akan diperoleh permodelan formula hasil dari kombinasi pengujian tersebut.	Mengidentifikasi persamaan regresi antara pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), hammer test, dan compression test pada beton silinder dengan diameter 3" dan 6".	Memperoleh nilai cepat rambat dari <i>Ultrasonic Pulse Velocity Testing</i> pada beton silinder dengan variasi agregat yang berbeda. Dalam penelitian ini persamaan antara kuat tekan dan kecepatan rambat menghasilkan koefisien korelasi yang berbeda pada setiap variasi beton.	Memperoleh nilai korelasi antara pembacaan nilai kekuatan tekan beton menggunakan metode hammer test, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), dan uji kuat tekan pada sampel beton yang bervariasi dalam mutu beton (f_c).	Mencari nilai korelasi antara hasil pengujian kuat tekan beton menggunakan <i>compression test</i> dengan nilai hasil uji <i>non-destructive test</i> yaitu <i>hammer test</i> dan <i>UPV test</i> pada benda uji beton <i>fly ash</i> mutu sedang.	Mendapatkan nilai kuat tekan beton yang diperoleh dari masing – masing alat. Hasil tersebut diverifikasi dengan nilai kuat tekan aktual. Sehingga didapatkan persamaan yang menggambarkan hubungan antara f_c' aktual dengan nilai rebound (R) dari hammer dan nilai cepat rambat (V) dari UPV.

Lanjutan Tabel 2.3 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilakukan

Peneliti	Aribawa, dkk. (2019)	Manopo, H. (2019)	Putri, dkk. (2019)	Wirotama (2018)	Mussadat (2023)	Penulis (2023)
Metode	<p>Metode yang digunakan adalah metode <i>Sonic Rebound (SONREB)</i>, yang merupakan formula yang dihasilkan oleh <i>PROCEQ</i> dari kombinasi dua metode <i>non-destructive</i> yaitu <i>Hammer Test</i> dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)</i> dengan kuat tekan aktual untuk melakukan evaluasi kekuatan beton secara lebih akurat.</p> <p>Penelitian ini menggunakan benda uji beton silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Digunakan 9 benda uji yang dibagi menjadi 3 mutu yang berbeda, masing-masing mutu berjumlah sebanyak 3 benda uji.</p>	<p>Penelitian ini menggunakan benda uji beton silinder $f'c$ rencana 25 MPa dengan diameter 3 inci dan 6 inci dan setiap variasi benda uji sejumlah 30 sampel. Pengujian yang dilakukan menggunakan <i>hammer test</i>, <i>UPV test</i>, dan <i>compression test</i>. Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai korelasi antara hasil kuat tekan beton menggunakan pengujian <i>UPV</i>, <i>hammer test</i>, dan <i>compression test</i>.</p>	<p>Benda uji menggunakan beton silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm dengan variasi beton: normal (kuat tekan rencana 17 MPa), fiber kaleng normal, fiber kaleng kait, pumice, pumice fiber kaleng, pumice pilin A, pumice pilin B, porous, porous 1 (tambahan silica fume 7%), porous 2 (tambahan <i>fly ash</i> 25%), dan porous recycle, beton recycle dengan $f'c$ rencana 20 MPa. Variabel yang dianalisis adalah kuat tekan dan cepat rambat beton menggunakan alat PUNDIT.</p>	<p>Penelitian ini dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder dan kubus dengan perbedaan variasi mutu beton yaitu 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa.</p>	<p>Beton yang digunakan adalah beton silinder dengan variasi mutu $f'c$ 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa dengan campuran <i>fly ash</i> sebesar 10% dari berat semen. Pengujian yang dilakukan antara lain <i>hammer test</i>, <i>compression test</i>, dan <i>UPV test</i>. Hasil pengujian yang diperoleh dianalisis menggunakan metode regresi untuk mendapatkan nilai korelasi dan persamaan.</p>	<p>Pengujian ini dilakukan terhadap benda uji kubus dengan variasi mutu beton K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200. Pengujian meliputi <i>hammer test</i> dan <i>UPV test</i> yang selanjutnya akan dibuktikan dengan pengujian kuat tekan beton aktual menggunakan <i>compression test</i>. Setelah itu dianalisis korelasi antara ketiga pengujian dengan metode regresi untuk mendapatkan nilai korelasi dan persamaan.</p>

Lanjutan Tabel 2.3 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilakukan

Peneliti	Aribawa, dkk. (2019)	Manopo, H. (2019)	Putri, dkk. (2019)	Wirotnama (2018)	Mussadat (2023)	Penulis (2023)
Hasil	<p>Hasil yang diperoleh dari perhitungan antara destruktif tes dengan non destruktif tes menggunakan metode <i>SONREB</i> dapat berupa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nilai R^2 • Koefisien a, b, dan c • $f_c = a \times UPV^b \times R^{nc}$ 	<p>Hasil dari penelitian ini adalah diperolehnya persamaan regresi dari 3 metode pengujian pada mutu beton 25 MPa. Persamaan dari pengujian tersebut adalah sebagai berikut, $Y = -44,42541145 + X_1 * 0,364325668 + X_2 * 0,016144329$.</p>	<p>Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa pada beton rata-rata nilai kuat tekan yang didapat berada diatas kuat tekan rencana, hal ini dikarenakan adanya fiber pada campuran beton yang menambah kuat tekan pada beton walaupun nilainya tidak signifikan. Setelah data-data hasil pengujian kuat tekan aktual dan kecepatan gelombang didapat, kemudian setiap benda uji dirata-rata untuk dapat dicari hubungan antara kuat tekan beton dengan kecepatan gelombang.</p>	<p>Hasil yang diperoleh dari penelitian ini merupakan koefisien korelasi dan persamaan regresi yaitu $Y = a + bX_1 + cX_2$. Untuk benda uji silinder dengan mutu beton gabungan didapatkan persamaan regresi yaitu $Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021X_2$ untuk benda uji silinder, dan persamaan regresi $Y = -132,711 + 0,408X_1 + 0,033X_2$ untuk benda uji kubus.</p>	<p>Hasil dari penelitian untuk variasi mutu beton 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa diperoleh korelasi gabungan antara pengujian <i>hammer test</i> dan <i>UPV test</i> dengan <i>compression test</i> berupa $Y = -62,102 + 0,011X_1 + 1,420X_2$ dengan nilai $R^2 = 0,602$.</p>	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Dalam bidang konstruksi, beton adalah bahan yang paling umum digunakan untuk pembangunan struktur. Keberadaan bahan ini di pasar yang mudah dan harganya yang terjangkau adalah salah satu alasan utama mengapa beton begitu sering digunakan dalam industri konstruksi. Selain itu, perkembangan teknologi beton terus meningkat sejalan dengan peningkatan tuntutan konstruksi yang semakin kompleks.

Menurut ketentuan dari SNI 2847:2019, Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat-Lembaga Pengembangan Manajemen Bangunan memberikan definisi tentang beton, yakni sebagai campuran antara semen portland atau jenis semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air. Campuran ini dapat juga termasuk bahan tambahan lain yang membentuk struktur padat. Pendapat Tjokrodinuljo, K (2007) mengenai beton juga serupa, yaitu bahwa beton secara umum merupakan gabungan dari agregat kasar dan agregat halus yang kemudian terikat bersama oleh semen yang dicampur dengan air.

Beton berdasarkan kuat tekan-nya dapat dikategorikan atas 3 jenis, yaitu sebagai berikut :

1. **Beton mutu rendah**

Beton mutu rendah adalah beton dengan nilai kuat tekan di bawah 20 MPa. Beton mutu rendah biasa digunakan untuk struktur rumah tinggal sederhana, infrastruktur jalan meliputi bahu jalan, trotoar, dan pekerjaan paving.

2. **Beton mutu sedang**

Beton mutu sedang adalah beton dengan nilai kuat tekan berada dalam rentang 21 MPa hingga 40 MPa. Penggunaan beton mutu sedang salah satunya adalah untuk struktur bangunan bertingkat.

3. Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi memiliki nilai kuat tekan di atas 41 MPa. Beton mutu tinggi salah satu penggunaannya adalah untuk bangunan pencakar langit atau *high rise building*.

3.2 Sifat – Sifat Beton

Di dunia konstruksi, sifat-sifat beton tidak selalu dimiliki semua beton dilihat dari kegunaan beton tersebut. Perbandingan campuran beton, cara memadatkan dan perawatan beton menjadi faktor yang dapat mempengaruhi sifat beton. Berikut ini adalah beberapa sifat yang dimiliki beton secara umum, yaitu :

3.2.1 Kemudahan Pengerjaan (Keleccakan/*Workability*)

Tingkat keenceran (keleccakan) adukan beton mempengaruhi tingkat kemudahan pengerjaan atau *workability*. Pengerjaan beton semakin mudah jika adukan beton semakin cair. Pengujian slump perlu dilakukan agar tingkat keleccakan beton dapat diketahui menggunakan alat Kerucut Abrahams. Pada umumnya nilai slump berkisar antara 10 ± 2 cm.

Faktor yang mempengaruhi keleccakan/*workability* dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Volume air pada campuran beton.
2. Grading agregat kasar dan agregat halus.
3. Bentuk butiran agregat dan tekstur permukaan agregat.
4. Ukuran maksimum agregat.

3.2.2 Pemisahan Kerikil (Segregasi)

Secara umum, segregasi disebabkan oleh kurang tepatnya proses penuangan dan pemadatan pada campuran beton sehingga campuran agregat kasar mengalami pemisahan dari campuran dan mengalami penurunan ke bagian bawah campuran beton.

Berikut ini adalah beberapa faktor penyebab segregasi antara lain :

1. Volume air yang kurang atau berlebih pada campuran.
2. Kurangnya jumlah agregat halus.

3. Kurangnya jumlah material halus, ukuran agregat lebih dari 25 mm.
4. Bentuk butir tidak seragam.

Segregasi dapat diatasi dengan penggunaan air yang direncanakan dengan volume yang tidak berlebihan, adukan dituang minimal atau sama dengan 150 cm dari area penuangan, memaksimalkan cara pengangkutan, penuangan, dan pemadatan dengan benar.

3.2.3 Pemisahan Air (*Bleeding*)

Menurut Firdausia (2018), *bleeding* adalah peristiwa pemisahan air ke permukaan setelah dilakukan pemadatan. Naiknya air serta membawa semen dan butiran agregat halus kemudian membuat lapisan yang disebut *laitance*. Lapisan ini akan menjadi penghalang rekatan antara beton di bawahnya dan lapisan beton di atasnya sehingga dapat menurunkan kualitas struktur.

Peristiwa ini seringkali muncul saat campuran mengandung terlalu banyak air, dimana beton yang mengalami kadar air yang terlalu tinggi akan membuat beton memiliki aliran air. Air yang naik akan membawa butiran dan pasir halus. Beton yang mengalami *bleeding* terlihat dengan permukaan beton yang penuh dengan air.

3.2.4 Kuat Tekan

Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang digunakan atau tergantung pada faktor air semen. Nilai kuat tekan beton semakin meningkat sejalan dengan peningkatan umurnya. Beton sudah memiliki kekuatan maksimum pada umur 28 hari. Nilai kuat beton diukur dengan membuat benda uji berbentuk silinder dan pembacaan kuat tekan beton didapatkan dengan pengujian kuat tekan beton. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton antara lain:

1. Faktor air semen.
2. Umur beton.
3. Sifat agregat.
4. Jenis admixture.
5. Perawatan.

Menurut ACI 2143-11, menjelaskan bahwa besarnya variasi kekuatan contoh uji beton tergantung pada mutu material, pembuatan dan kontrol dalam pengujian. Perbedaan kekuatan dapat ditemukan dua penyebab utama yang berbeda, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 3. 1 Penyebab-Penyebab Utama Variasi Kekuatan

Variasi dalam Perilaku Beton	Ketidaksesuaian dalam Metode Pengujian
Perubahan dalam rasio air semen: <ul style="list-style-type: none"> • Kontrol air yang jelek • Variasi yang sangat besar dari kelembaban dalam agregat • Perubahan sifat 	Prosedur pengambilan benda uji yang tidak tepat
Variasi dalam kebutuhan air: <ul style="list-style-type: none"> • Ukuran dan butir agregat, penyerapan, bentuk partikel • Perilaku semen dan bahan pencampuran • Waktu • Temperatur 	Variasi yang disebabkan oleh teknik pembuatan, pengangkatan, dan pemeliharaan silinder yang baru dibuat, kualitas cetakan yang jelek
Variasi pada karakteristik dan bahan penyusun: <ul style="list-style-type: none"> • Agregat • Semen • Pozzolan • Bahan campur 	Perubahan dalam pemeliharaan: <ul style="list-style-type: none"> • Variasi suhu • Kelembaban yang bervariasi • Penundaan silinder ke dalam laboratorium
Variasi dalam pengangkutan, penempatan dan pepadatan.	Prosedur pengujian yang kurang baik: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Capping</i> silinder • Pengujian tekan

(Sumber : ACI 214R-11)

Evaluasi kuat tekan beton dapat dilakukan dengan menggunakan nilai standar deviasi atau angka variasi. Rumus untuk menghitung nilai standar deviasi dan angka variasi dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$V = \frac{s}{x} \times 100\%$$

dengan:

- S = standar deviasi,
- X = kuat tekan beton,
- \bar{X} = kuat tekan rata-rata (MPa),
- V = angka variasi, dan,
- N = jumlah benda uji.

3.2.5 Tahan Lama (*Durability*)

Durabilitas adalah keawetan beton dalam menghadapi segala kondisi yang telah direncanakan, tanpa mengalami kerusakan (*deteriorate*) selama masa pakainya (*serviceability*). Beton yang demikian disebut mempunyai daya tahan yang baik.

Agregat mempengaruhi sifat, kekerasan dan keawetan beton. Sifat mekanis agregat seperti kekuatan, modulus elastisitas, dan ketahanan terhadap dapat mempengaruhi daya tahan beton. Daya tahan agregat untuk polishing sangat penting, terutama pada trotoar dan jenis permukaan lainnya. Sifat kimiawi atau mineralogi agregat dapat secara signifikan mempengaruhi kinerja dan daya tahan beton, terutama bila terkena senyawa alkali.

3.3 Semen

Semen Portland adalah material hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan melalui proses penghalusan klinker. Klinker ini mengandung silikat-silikat kalsium yang memiliki sifat hidrolis, dan gips ditambahkan sebagai bahan

tambahan untuk memperlambat reaksi antara semen dan air (PUBI-1982). Pembuatan Semen Portland melibatkan pencampuran dan pembakaran bahan dasar semen pada suhu sekitar 1550°C, menghasilkan klinker (Kardiyono, 1992).

Kardiyono (1992) menjelaskan bahwa fungsi semen adalah menggabungkan butiran dari agregat kasar dan halus untuk membentuk massa padat yang kompak. Selain itu, semen juga berperan sebagai pengisi ruang antara butiran-butiran agregat. Ketika terjadi reaksi antara semen dan air, akan terbentuk pasta semen yang bertindak sebagai bahan pengikat, sehingga semen dapat digolongkan sebagai bahan pengikat hidrolis.

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton karena berdasarkan SNI 15-2049-2004 Semen *Portland* dan *ASTM C 150* membagi kembali semen menjadi beberapa tipe yaitu :

1. Semen Tipe I yaitu semen portland untuk keperluan umum atau dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya,
2. Semen Tipe II yaitu semen portland dengan ketahanan sulfat sedang,
3. Semen Tipe III yaitu semen portland dengan kekuatan awal tinggi,
4. Semen Tipe IV yaitu semen portland dengan penggunaannya perlu ketahanan terhadap panas hidrasi rendah,
5. Semen Tipe V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat yang tinggi.

3.4 Agregat

Menurut SNI 2847:2013, pengertian agregat adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis.

Menurut Tjokodimuljo (2007), Agregat didefinisikan sebagai butiran alami sebagai bahan campuran khususnya terhadap beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 60-70% dari volume adukan beton.

Berdasarkan bentuknya, agregat dibagi menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut ini.

3.4.1 Agregat Kasar

Berdasarkan *ASTM C33*, agregat kasar adalah agregat yang tertahan dari ayakan dengan ukuran 4,75 mm. Syarat-syarat agregat kasar sebagai berikut.

1. Agregat kasar harus meliputi butiran keras yang tidak berpori
2. Sifatnya kekal, artinya tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca
3. Modulus halus butir agregat kasar antara 5 – 7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila kadar lumpur melampaui 1% agregat kasar harus dicuci
5. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.

3.4.2 Agregat Halus

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa pasir batuan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Mengutip dari *ASTM C33*, agregat halus berukuran lebih kecil dari 4,75 mm dari agregat yang diayak yang artinya, lolos pada ayakan berukuran 4,75 mm. Syarat-syarat agregat halus adalah sebagai berikut.

1. Modulus kelengkapannya harus tidak kurang dari 2,3 atau lebih dari 3,1.
2. Agregat halus yang baik adalah apabila tidak mengandung kadar lumpur lebih dari 5%.
3. Tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
4. Tidak mengandung zat organik yang terlalu banyak.
5. Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus harus tidak reaktif terhadap alkali.
6. Agregat halus dari laut/pantai boleh dipakai asal dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Tabel 3. 2 Batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan <i>ASTM</i>	Persentasi Berat yang Lolos pada Tiap Saringan (%)
9,5 mm	100
4,75 mm	95-100
2,36 mm	80-100
1,18 mm	50-85
0,600 mm	25-60
0,300 mm	5-30
0,150 mm	0-10

(sumber: *ASTM C33*)

3.5 Air

Dalam pencampuran beton, air merupakan salah satu komponen terpenting sebagai bahan dasar pembuatannya. Senyawa air merupakan komponen penting sebagai bahan dasar penyusun beton yang dapat membuat semen melakukan reaksi kimia pada campuran yang lainnya. Air diperlukan untuk memudahkan pengerjaan campuran beton. Pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dan air. Air berpengaruh penting pada kekuatan beton, kelebihan campuran air dapat menimbulkan gelembung air berlebih pada campuran beton, sedangkan proses hidrasi tidak bekerja secara maksimal jika campuran air terlalu sedikit. Mengutip dari SNI 7974: 2013, air yang digunakan sebagai bahan pencampur beton adalah air yang bila dipakai dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling. Sedangkan menurut Tjokrodimuljo (1996), air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh terhadap sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), nilai susut beton, dan daya tahan kekuatan beton terhadap usia beton. Penggunaan air sebagai bahan campuran beton sebaiknya memenuhi syarat air untuk campuran beton sesuai SNI 03-2847-2002, yaitu sebagai berikut :

1. Bahan-bahan seperti oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya dapat merusak kualitas beton atau tulangan. Bahan-bahan yang

merusak tersebut tidak boleh tercampur pada adukan beton dan campuran beton harus dijaga kebersihannya.

2. Air yang akan digunakan untuk campuran tidak boleh mengandung kadar ion klorida karena dapat mengurangi usia pelayanan dan kekuatannya.
3. Air tidak boleh mengandung partikel-partikel tersuspensi lebih dari 2 gram per liter karena kandungan tersebut dapat merusak kapasitas beton dan dapat menyebabkan segregasi.
4. Untuk menghindari korosi pada komponen baja dalam struktur beton, kandungan klorida pada air harus dibatasi maksimal 0,5 gram per liter.
5. Kandungan sulfat berlebihan pada campuran beton dapat menyebabkan beton retak dan membengkak, maka untuk menghindari kerusakan pada campuran beton, jumlah senyawa sulfat dalam kandungan air tidak boleh melebihi 1 gram per liter.

3.6 Hammer Test

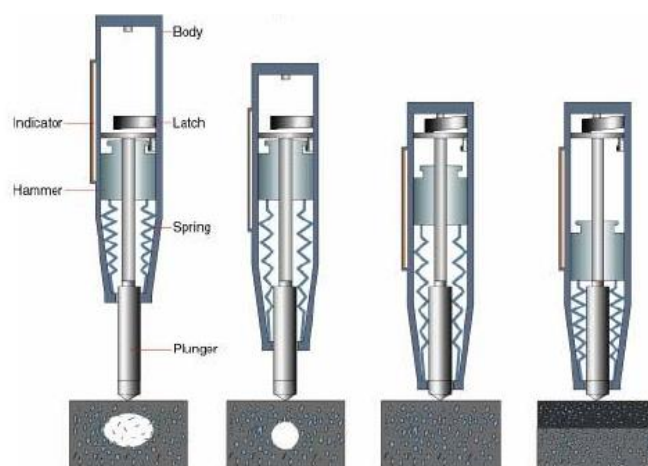
Alat palu pantul (*hammer*) adalah palu baja yang digerakkan oleh gaya pegas yang apabila dilepaskan akan memukul peluncur baja ke permukaan beton (SNI 03-4430, 1997). Metode pengujian hammer test mencakup penentuan angka pantul beton keras dengan menggunakan palu pantul yang digunakan oleh pegas. Metode ini menggunakan prinsip pantulan (*rebound*) untuk menentukan tingkat kekerasan beton dengan memberikan dampak pada permukaan beton menggunakan massa yang ditetapkan.

Mengutip dari laporan ACI Committee, skema pengujian dan prinsip kerja pada alat *rebound hammer* dapat dilihat pada uraian sebagai berikut :

1. Plunger diarahkan pada posisi tegak lurus di atas area permukaan beton yang akan diuji.
2. Saat proses pengujian, alat diberi tekanan ke arah beton, yang mengakibatkan pegas akan meregang.
3. Ketika alat *hammer* ditekan hingga posisi maksimum, *latch* atau penahan 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 memberikan pantulan pada permukaan beton.
5. Pantulan sistem massa ini akan menggerakkan sebuah indikator geser, yang akan mencatat nilai *rebound* yang dihasilkan dari beton yang diuji.

Menurut RSNI 4083-2002, jika nilai pembacaan memiliki selisih lebih dari 6 satuan dari rata-rata 10 titik bacaan maka nilai tersebut diabaikan. Nilai rata-rata kemudian dihitung dari pembacaan data yang memenuhi kriteria. Apabila lebih dari dua titik bacaan menunjukkan selisih lebih dari 6 satuan dari nilai rata-rata, maka seluruh rangkaian pengujian *hammer test* dan angka pantul harus diuji kembali pada 10 titik bacaan baru pada daerah pengujian.



Gambar 3.1 Skema Cara Kerja Alat Hammer

(Sumber: Xu et al, 2018)

Tes ini didasarkan pada prinsip bahwa rebound massa elastis tergantung pada kekerasan permukaan atas, dan dalam hal ini akan memberikan informasi tentang lapisan permukaan beton yang didefinisikan sebagai tidak lebih dari 25 mm. Hasilnya memberikan ukuran kekerasan relatif dari zona ini, dan ini tidak dapat langsung berhubungan dengan properti lainnya dari beton.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperkirakan nilai kuat tekan beton eksisting berdasarkan kekerasan permukaan beton pada seluruh bagian komponen

struktur. *Hammer test* merupakan alat yang ringan dan praktis dalam penggunaannya. Prinsip kerjanya adalah dengan memberikan tumbukan pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan menggunakan energi dengan besaran tertentu. Timbulnya tumbukan antara massa dengan permukaan beton inilah yang menyebabkan massa tersebut akan dipantulkan Kembali. Jarak pantulan massa yang terukur memberikan indikasi kekerasan permukaan beton. Kekerasan beton dapat memberikan suatu indikasi kuat tekan. Penggunaan alat ini bertujuan untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur. Pengujian menggunakan alat ini sangat sederhana dan hanya membutuhkan waktu yang singkat, sehingga penggunaannya efektif untuk mencakup area pengujian yang luas dalam segi waktu. Alat ini sangat peka terhadap variasi yang ada pada permukaan beton, misalnya keberadaan partikel batu pada bagian-bagian tertentu dekat permukaan.

Prinsip kerja *hammer test* adalah dengan pantulan massa di ujung alat (seperti memukulkan sebuah “palu”) pada permukaan beton yang rata. Pada sisi luar alat terdapat bagian yang akan menunjukkan nilai pantulan/rebound tersebut. Pengujian biasanya dapat dilakukan pada struktur kolom dan balok serta slab sebagai penyangga konstruksi. Adapun standar acuan yang digunakan pada pelaksanaan pengujian ini antara lain sebagai berikut.

- a. *ASTM C 805 (North American Standard)*
- b. *EN12504-2 (European Standard)*
- c. *JGJ/T 23-2001 (Chinese Standard)*
- d. *DIN 1048 Part 2 (German Standard)*

3.7 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test

Dikutip dari *International Atomic Energy Agency* (2002), pengujian menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* adalah suatu metode pengujian untuk memproyeksikan tingkat kekerasan beton berdasarkan cepat rambat gelombang melalui struktur beton. Metode ini dapat mendeteksi retak internal dan kerusakan lainnya serta perubahan kualitas beton akibat faktor lingkungan. (V.M Malhotra & N.J Carino, 2004).

Metode kecepatan pulsa *ultrasonic* juga dapat digunakan untuk memperkirakan kuat tekan beton baik pada benda uji maupun beton eksisting. Metode ini termasuk pengujian dengan kategori tidak merusak beton karena menggunakan gelombang mekanik tanpa merusak elemen beton yang diuji. Beton dengan pemadatan yang kurang baik atau mengalami kerusakan butiran material, kecepatan gelombang *UPV* akan menurun. Perubahan kekuatan beton dapat dilihat dari perbedaan cepat rambat gelombangnya. Jika kecepatan menurun, kekuatan beton juga menurun, dan sebaliknya, jika kecepatan meningkat maka kekuatan beton pun meningkat juga (Hamidian, 2012). Kecepatan rambatan gelombang *V* dapat dihitung dengan membagi *L* dengan *T*.

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.1)$$

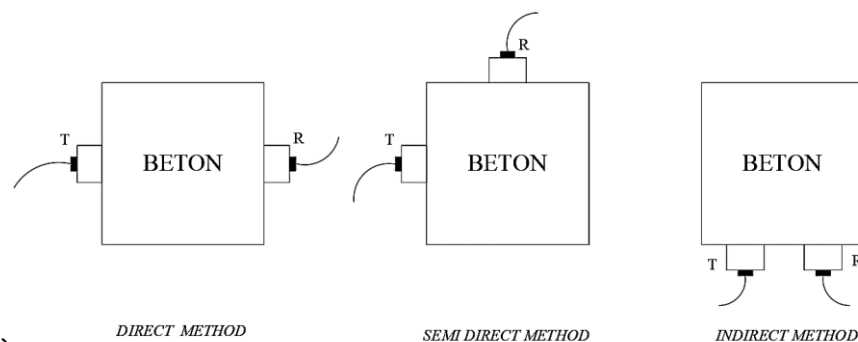
dengan :

v = cepat rambat gelombang longitudinal (m/detik),

L = panjang lintasan beton yang dilewati (m), dan

T = waktu tempuh gelombang longitudinal *ultrasonic* pada sepanjang lintasan *L* (detik).

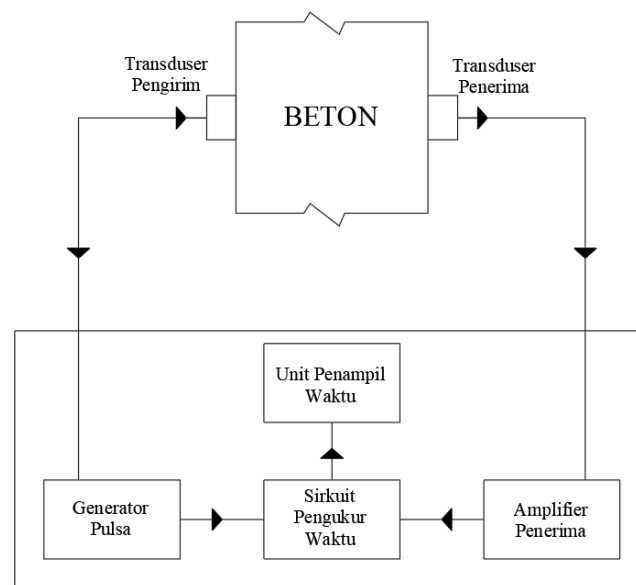
Ada tiga cara untuk melakukan pengujian *UPV*, yaitu secara langsung (*direct*), tidak langsung (*indirect*), dan semi langsung (*semi direct*). Di bawah ini, terdapat contoh ilustrasi yang menggambarkan pelaksanaan pengujian *UPV*.



Gambar 3.2 Cara-Cara Pengujian *UPV* berdasarkan Posisinya

(Sumber: Bungey, 1996)

Prinsip penggunaan metode *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* didasarkan pada kecepatan gelombang tekan yang melewati suatu benda, yang tergantung pada sifat elastis dan kepadatan benda tersebut. Menurut standar *ASTM C597 – 02 (2003)* cara kerja *UPV* melibatkan pengiriman gelombang oleh transduser pengirim (*transmitter*) dan penangkapan gelombang oleh transduser penerima (*receiver*), yang terletak pada jarak L dari *transmitter*. Alat *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* menampilkan waktu yang diperlukan oleh gelombang untuk melewati beton, yang disebut waktu tempuh (*travel time*) Δt . Dengan demikian, *UPV* dapat digunakan untuk mengukur dan memperoleh informasi tentang kondisi beton.



Gambar 3.3 Skema Cara Kerja Alat UPV

(Sumber : SNI ASTM C597 - 2012)

3.8 *Compression Test*

Pengujian yang paling umum dilakukan untuk beton yang sudah mengeras adalah uji kuat tekan, hal ini bisa terjadi karena pengujian ini mudah untuk dilaksanakan. Karakteristik beton yang diinginkan berhubungan erat dengan kuat tekannya, dan yang paling utama adalah karena kuat tekan menjadi salah satu faktor penting dalam desain struktur. (Neville, 2002)

Mutu dari sebuah struktur didapatkan oleh nilai dari kuat tekan beton. Kekuatan tekan beton itu sendiri adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan, semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dimiliki.

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar dengan menggunakan mesin uji *compressive machine test*. Mesin uji ini memberikan beban tekan berkala pada benda uji silinder beton sampai hancur. Untuk standar pengujian kuat tekan digunakan SNI 03-6805-2002 dan *ASTM C 39/C 39M-04a*.

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji ditekan dengan beban senilai P sampai mengalami keretakan. Karena ada beban tekan P, maka terjadi tegangan tekan pada beton (σ_c), sebesar beban (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

dengan :

- σ_c = tegangan tekan beton, MPa,
- P = besar beban tekan, N, dan
- A = luas penampang beton, mm².

3.9 Analisis Regresi

Penelitian merupakan proses sistematis dan logis dalam memperoleh dan menganalisis data untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam proses pengumpulan data penelitian terdapat dua metode pengolahan data yaitu metode kuantitatif dan kualitatif. Pada penelitian ini, digunakan metode pengolahan data kuantitatif yaitu analisis regresi.

Analisis regresi adalah metode analisis yang digunakan untuk menentukan apakah terdapat hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya. Dalam konteks penelitian, analisis regresi bertujuan untuk memproyeksikan atau memprediksi nilai dari variabel terikat (Y) berdasarkan pengetahuan mengenai variabel bebas (X). Dikutip dari buku yang berjudul Analisis Regresi dengan SPSS

(Basuki, 2015), berikut adalah beberapa jenis regresi yang umumnya diterapkan dalam proses penelitian.

3. 9. 1 Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana adalah teknik statistik yang digunakan untuk mengukur hubungan antara dua variabel numerik dengan asumsi bahwa hubungannya bersifat linear. Dalam regresi linier sederhana, hanya ada satu variabel independen (X) yang digunakan untuk meramal variabel dependen (Y). Pada buku yang berjudul Analisis Regresi (Sembiring, 1995), bentuk umum persamaan regresi sederhana adalah.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

dimana:

- Y_i = variabel terikat untuk observasi ke-i,
- β_j = parameter model regresi $j: 0, 1, 2, \dots, k$,
- X_i = variabel bebas ke-I,
- ε_i = residual, dan
- k = banyaknya variabel bebas.

3. 9. 2 Regresi Linier Berganda

Regresi linear berganda adalah metode analisis statistik yang memungkinkan pengukuran hubungan antara satu variabel respon dan dua atau lebih variabel prediktor dengan asumsi bahwa hubungannya bersifat linier. Dalam regresi linear berganda, terdapat lebih dari satu variabel independen (X) yang digunakan untuk memprediksi variabel dependen (Y).

Pada buku yang berjudul Analisis Regresi (Sembiring, 1995), persamaan untuk regresi berganda adalah:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (3.4)$$

dimana:

Y_i = variabel terikat untuk observasi ke- i ,

β_j = parameter model regresi $j:0,1,2,\dots,k$,

X_i = variabel bebas ke- i ,

ε_i = residual, dan

k = banyaknya variabel bebas.

3.9.3 Regresi Non Linier

Regresi non linier adalah metode analisis statistik yang diterapkan untuk mengevaluasi keterkaitan antara satu variabel respons dan satu atau lebih variabel prediktor dengan anggapan bahwa keterkaitan di antara variabel-variabel tersebut bersifat nonlinier. Dalam regresi nonlinier, model yang digunakan tidak memiliki bentuk garis lurus, melainkan dapat berupa model eksponensial, model logaritmik, atau model polinomial.

1. Regresi Eksponensial

Regresi eksponensial adalah regresi non-linier yang variabel terikatnya berdistribusi eksponensial. Metode yang digunakan untuk mengestimasi parameter pada model eksponensial salah satunya adalah metode *Ordinary Last Square*.

Secara umum model eksponensial dirumuskan sebagai berikut (Sudjana, 2003):

$$Y_i = \beta_0 e^{\beta_1 x_i} \cdot \varepsilon_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.5)$$

dimana:

Y = variabel terikat untuk observasi ke- i ,

X = variabel bebas,

β = parameter model regresi,

e = 2,71828, dan

ε_i = residual.

Menurut Atmaja (2009), berdasarkan persamaan regresi eksponensial ini dapat disimpulkan bahwa jika tanpa adanya pengaruh dari variabel bebas

maka tidak dapat diperkirakan untuk variabel terikatnya, dan jika adanya pengaruh dari variabel bebas maka dapat diperkirakan nilai kenaikan atau penambahannya secara eksponensial.

2. Regresi Logaritmik

Regresi logaritmik adalah teknik statistik yang diterapkan untuk memodelkan korelasi antara variabel terikat dan satu atau lebih variabel bebas dengan menggunakan transformasi logaritmik. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan data yang tidak menunjukkan korelasi linier ke dalam bentuk yang lebih mendekati linier.

Rumus umum untuk regresi logaritmik dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.

$$Y = a + b \cdot \log(X) + \varepsilon \quad (3.6)$$

dimana:

Y = variabel terikat,

X = variabel bebas,

a, b = parameter yang harus diestimasi dari data, dan

ε = residual.

3. Regresi Polinomial

Regresi polinomial merupakan model statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel independen (X) dan variabel dependen (Y) dalam bentuk polinomial.

Model regresi polinomial dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan polinomial, seperti :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n \quad (3.7)$$

dimana Y adalah variabel dependen, X adalah variabel independen, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ adalah koefisien regresi dan data n adalah derajat polinomial tertinggi.

4. Regresi Power

Regresi power adalah metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel independent dan dependen dalam bentuk fungsi daya.

Model regresi power dinyatakan dalam bentuk persamaan di bawah ini.

$$Y = \beta_0 \cdot X^{\beta_1} + \varepsilon \quad (3.8)$$

dimana Y adalah variabel dependen, X adalah variabel independen, β_0 dan β_1 adalah koefisien regresi dan ε adalah kesalahan atau deviasi acak.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah serangkaian prosedur, tata cara, atau langkah-langkah yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis data terkait suatu permasalahan guna mencapai tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan kuantitatif yang melibatkan penggunaan data primer melalui eksperimen di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan persamaan yang menggambarkan suatu nilai korelasi antara hasil *non-destructive test* (yang meliputi *hammer test* dan *ultrasonic pulse velocity test*) dengan kuat tekan aktual pada beton dari hasil *compression test*. Benda uji yang digunakan adalah benda uji beton kubus dengan berbagai variasi mutu beton, yaitu K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200.

4.2 Bahan yang Digunakan

Berikut adalah beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Semen *Portland*

Penelitian ini menggunakan semen jenis *portland composite cement* dengan merek Dynamix, yang termasuk dalam kategori tipe I. Untuk memastikan kualitasnya tetap terjaga, semen tersebut harus disimpan di lokasi yang terlindung dari sinar matahari dan kelembapan.



Gambar 4.1 Semen

2. Agregat Halus (Pasir)

Dalam penelitian ini, digunakan agregat halus yang diperoleh dari daerah kawasan Gunung Merapi dengan ukuran lolos saringan berdiameter 4,75 mm.



Gambar 4.2 Pasir

3. Agregat Kasar (Kerikil)

Penelitian ini menggunakan agregat kasar yang berasal dari Sungai Progo.



Gambar 4.3 Agregat Kasar

4. Air

Penelitian ini menggunakan air bersih yang dipasok dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.



Gambar 4.4 Air

4.3 Alat yang digunakan

Dalam penelitian ini diperlukan alat-alat dalam kondisi baik untuk menunjang pembuatan benda uji. Alat-alat yang diperlukan meliputi sebagai berikut.

1. Timbangan

Pada penelitian ini timbangan digunakan untuk menimbang berat material yang nantinya akan digunakan dalam proses pembuatan benda uji. Berat material yang dibutuhkan didapat dari hasil perhitungan *mix design*.



Gambar 4.5 Timbangan

2. Ayakan *Mesh*

Pada penelitian ini ayakan *mesh* atau set saringan agregat digunakan untuk memisahkan butir agregat sesuai dengan ukurannya. Alat ini nantinya digunakan untuk pengujian analisis lolos saringan agregat kasar dan agregat halus.



Gambar 4.6 Ayakan Mesh

3. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan agregat kasar. Alat ini juga digunakan untuk menguji berat jenis dan daya serap air pada agregat.



Gambar 4.7 Oven

4. Bekisting Balok

Cetakan digunakan sebagai wadah dalam pembentukan sampel (beton) dengan dimensi yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, digunakan cetakan balok dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 15 cm.



Gambar 4.8 Bekisting Balok

5. Bak Penampung atau Baskom

Pada penelitian ini baskom digunakan sebagai wadah material dan alat untuk membantu memasukkan material ke dalam *concrete mixer*.



Gambar 4.9 Baskom

6. *Concrete Mixer*

Concrete mixer berguna dalam pencampuran agregat kasar dan agregat halus, semen dan juga air sesuai dengan kadar yang telah ditentukan dari perhitungan *mix design*.



Gambar 4.10 Concrete Mixer

7. Sekop

Pada penelitian ini sekop digunakan untuk menuang adonan (beton segar) ke dalam cetakan beton.



Gambar 4.11 Sekop

8. *Clamp F*

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



Gambar 4.12 *Clamp F*

9. Mesin Uji Tekan

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



Gambar 4.13 Mesin Compression Test

10. Alat *Hammer Test*

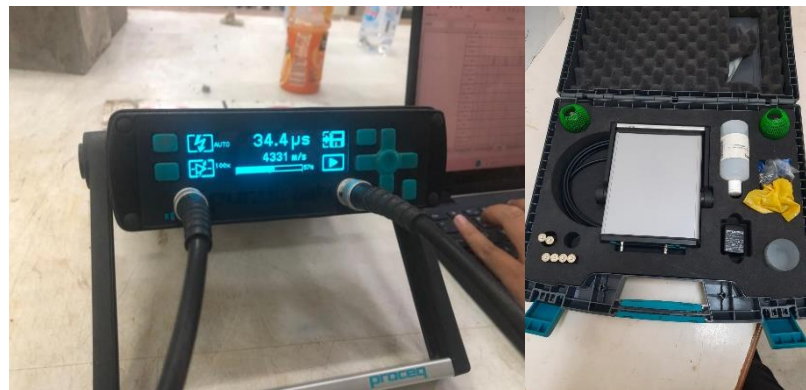
Alat *Hammer Test* yang digunakan adalah *Rebound Test Hammer* digital model 58-C0181/DGT



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 *Ultrasonic Pulse Velocity*

4.4 Keterangan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan benda uji dengan variasi mutu K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200. Setiap objek pengujian akan diuji dengan tiga metode, yaitu *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *compression test*. SNI 2847:2019 menyebutkan dalam ketentuannya bahwa mutu beton dinyatakan sebagai f_c' dengan satuan MPa, dengan kata lain pengujian mutu beton dilakukan menggunakan benda uji silinder. Namun, penelitian ini sengaja tidak menggunakan benda uji silinder sebagaimana disyaratkan dalam SNI 2847:2019, melainkan menggunakan benda uji kubus. Hal ini bertujuan, agar data NDT yang didapatkan lebih banyak. Jumlah benda uji pada

setiap variasi mutu sampel sebanyak 12 benda uji dengan total keseluruhan 60 benda uji.

Tabel 4.1 Keterangan Benda Uji

Variasi Sampel	Umur Beton (Hari)	Jumlah Benda Uji (Buah)
K-100	28	12
K-125	28	12
K-150	28	12
K-175	28	12
K-200	28	12
Total		60

4.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan sesuatu sehingga dapat terlaksana sesuai dengan tahapan yang berlaku. Penelitian ini mengambil varian beton mutu K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200 dengan sampel sebanyak 60 benda uji. Benda uji yang digunakan berbentuk beton kubus ukuran 15 x 15 x 15 cm.

Langkah-langkah penelitian ini guna mendapatkan data yang valid, berikut beberapa penjelasan langkah pengujian antara lain:

4.5.1 Persiapan Penelitian

Tahapan awal pada penelitian adalah mempersiapkan hal-hal yang dibutuhkan agar dapat melanjutkan ke proses berikutnya. Pada proses persiapan ini, peneliti melakukan studi literatur berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dalam bentuk buku ataupun jurnal sebagai bahan referensi pendukung dan sebagai bekal pengetahuan untuk peneliti dalam melakukan eksperimen. Selain itu, alat dan bahan yang dibutuhkan juga sangat penting untuk disiapkan semaksimal mungkin agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan lancar.

4.5.2 Pengujian Agregat

Mendapatkan kualitas agregat yang terbaik tentunya sangat dibutuhkan dalam hal penelitian, oleh karena itu perlu dilakukan pengujian terhadap agregat yang akan digunakan. Kemudian, dari hasil pengujian agregat didapatkan karakteristik dan sifat agregat yang selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan dalam membuat *mix design*. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang berasal dari kawasan Gunung Merapi, sedangkan agregat kasar diperoleh dari Sungai Progo.

Di bawah ini merupakan beberapa standar yang dipakai dalam proses pengujian agregat.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan sesuai standar SNI 1970-2016.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk agregat kasar dilakukan sesuai standar SNI 1969-2016.
3. Pengujian analisis saringan untuk agregat halus dilakukan sesuai standar SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisis saringan untuk agregat kasar dilakukan sesuai standar SNI 1968-1990.
5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat pada agregat halus dilakukan sesuai standar SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat pada agregat kasar dilakukan sesuai standar SNI 4804-1998.
7. Pengujian butir lolos ayakan no. 200 (Uji kandungan lumpur pada pasir) dilakukan sesuai standar SNI 4142-1996.

4.5.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan proporsi campuran beton (*Mix Design*) dilakukan dengan menggunakan data sifat dan karakteristik yang diperoleh dari pengujian agregat halus dan agregat kasar. Pembuatan *mix design* dilakukan dengan mengacu standar SNI 2834-2000. Rincian perhitungan perencanaan campuran akan dijelaskan pada bab V.

4.5.4 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pada tahap ini, dilakukan persiapan dan pembuatan benda uji sesuai dengan perencanaan campuran beton. Bahan-bahan penyusun beton yang telah diperhitungkan dengan *mix design* dicampur dengan *concrete mixer*. Beton segar kemudian diuji nilai *slump*-nya untuk dicetak menggunakan bekisting beton. Selanjutnya beton dilepaskan dari bekisting dan dilakukan *curing*. Dalam penelitian ini, metode *curing* atau perawatan pada sampel beton dilakukan perendaman benda uji dalam air hingga usia beton mencapai 28 hari. Proses perawatan dilakukan dengan bak perendaman yang tertutup oleh atap sehingga tidak terkena air hujan atau terkena sinar matahari secara langsung.

4.5.5 Pengujian Beton

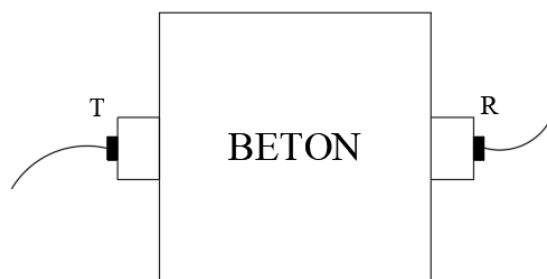
Setelah beton direndam pada bak perawatan selama 28 hari, beton dapat diuji kuat tekannya. Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian benda uji beton.

1. Persiapan beton
 - a. Mengeringkan benda uji beton sebelum dilakukan pengujian
 - b. Memberi tanda nomor sampel pada benda uji
 - c. Menimbang berat benda uji
 - d. Mengukur dimensi dari benda uji (diameter dan tinggi)
 - e. Meratakan permukaan benda uji diameter besar (untuk pengujian UPV)
2. Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) merupakan pengujian beton secara non-destructive yaitu dengan menguji rambat gelombang dari beton. Pengujian UPV dilakukan pada beton kubus dengan ukuran 150 x 150 x 150 mm pada usia 28 hari. Pengujiannya dilakukan dengan menempatkan transduser pada permukaan beton kubus. Pengujiannya menggunakan alat Proceq Pundit Lab +32620002. Tahapan pengujiannya sebagai berikut.

- a. Persiapkan alat uji UPV antara lain, satu buah *read out unit* PUNDIT (*Portable Unit Non Destructive Indicator Tester*), dua buah *transducer* (untuk *transmitter* dan *receiver*), satu buah *calibration bar*, kabel-kabel *connector*, dan bahan perantara (*ultrasonic gel*).

- b. Atur kalibrasi alat *UPV* dengan menempelkan kedua transducer ke *calibration bar*.
- c. Oleskan *ultrasonic gel* pada permukaan benda uji dan ujung kabel konektor.
- d. Atur pengaturan alat *UPV* sesuai dengan spesifikasi benda uji dan kondisi pengujian, termasuk jenis gelombang yang digunakan dan waktu tunda.
- e. Tempelkan kabel-kabel konektor ke benda uji yang sudah diolesi gel, kemudian tekan tombol “*start*” pada alat *UPV*, alat akan mengirimkan gelombang ultrasonic ke benda uji dan didapatkan kecepatan rambatnya.
- f. Setelah pengujian selesai catat hasil bacaan kecepatan gelombang ultrasonic yang dihasilkan.
- g. Setelah selesai mengumpulkan data, analisis data untuk menentukan kualitas benda uji.



Gambar 4.16 Metode Pengujian *UPV* Secara *Direct*

(Sumber : *BS EN 12504-4*, 2004)

3. Pengujian *Hammer Test*

Pengujian *Hammer Test* merupakan pengujian kuat tekan beton secara Non-Destructive. Metode pengujiannya yaitu dengan mengambil angka pantul yang diberikan alat terhadap benda uji. Cara pengujian ini dilakukan pada benda uji kubus yaitu dengan cara memberikan beban pada benda uji dengan sudut 0° , 90° , dan -90° dan diambil 10 titik pengukuran pada setiap sudut di setiap benda uji. Adapun tahapan pengujiannya sebagai berikut.

- a. Menyiapkan alat HT yang digunakan untuk mengambil angka pantul.
- b. Melakukan kalibrasi terhadap alat.
- c. Menempatkan benda uji seperti posisi balok dan menjepitnya supaya tidak bergerak saat diuji pantul.
- d. Melakukan uji pantul pada 10 titik setiap sudut sisi pada beton kubus.
- e. Mencatat nilai pantul pada setiap titik yang diuji.

4. Pengujian *Compression Test*

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (SNI 1974-2011).

Prosedur pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 03-2974-1990, benda uji diletakkan pada mesin tekan secara sentris, dan mesin tekan dijalankan dengan penambahan beban antara 2 – 4 kg/cm² per detik. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur dan beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji dicatat. Uji kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari.

5. Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini meliputi,

a. Angka pantul beton dari *Hammer Test*

Pengujian angka pantul dilakukan dengan menggunakan sudut pengambilan sebesar 0°, 90°, dan -90°. Pengambilan angka pantul dilakukan karena dapat mempermudah pelaksanaan di lapangan. Pengambilan nilai angka pantul diuji pada 10 titik yang berbeda pada beton kubus. Nilai pantul harus pada maksimum rentangan 6, bila terlalu melebihi atau kurang data maka harus dibuang dan mengambil Kembali nilai pada titik yang berbeda. Pengambilan titik uji seluas maksimum 200 mm².

b. Pengujian *UPV*

Pengujian dengan menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity* yang memanfaatkan kecepatan rambat gelombang dapat menentukan kerapatan dari suatu beton. Pada pengujian ini menggunakan metode

pengambilan data secara *direct transmission*. *Direct transmission* merupakan metode yang berguna pada saat pengujian kepadatan dari beton. Data yang dihasilkan memiliki satuan m/s, berikut ini rumus kecepatan gelombang ultrasonik pada beton :

$$V = \frac{L}{T} \quad (4.1)$$

Dengan :

V = kecepatan gelombang (m/s),

L = jarak antar *transmitter*, m, dan

T = waktu tempuh gelombang, s.

c. Kuat tekan beton

Pengujian nilai kuat tekan dengan *compression testing machine* ini diambil dengan memberikan beban maksimal pada benda uji sehingga dihasilkan nilai kuat tekan yang sebenarnya dari benda uji. Satuan beban yang diberikan dari *compression testing machine* yaitu dalam satuan ton. Maka dari itu untuk mengubahnya ke satuan MPa dapat dirumuskan sebagai berikut :

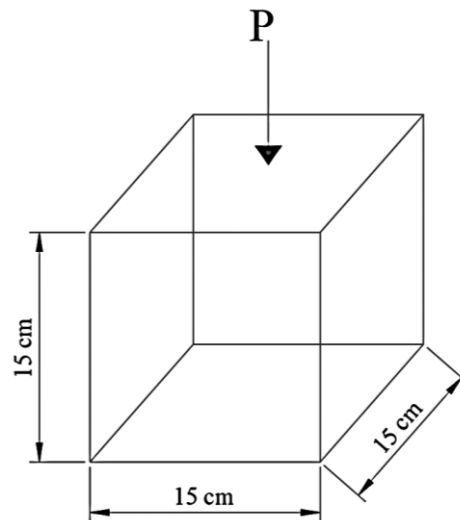
$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (4.2)$$

Dengan :

σ_c = Kuat tekan, MPa

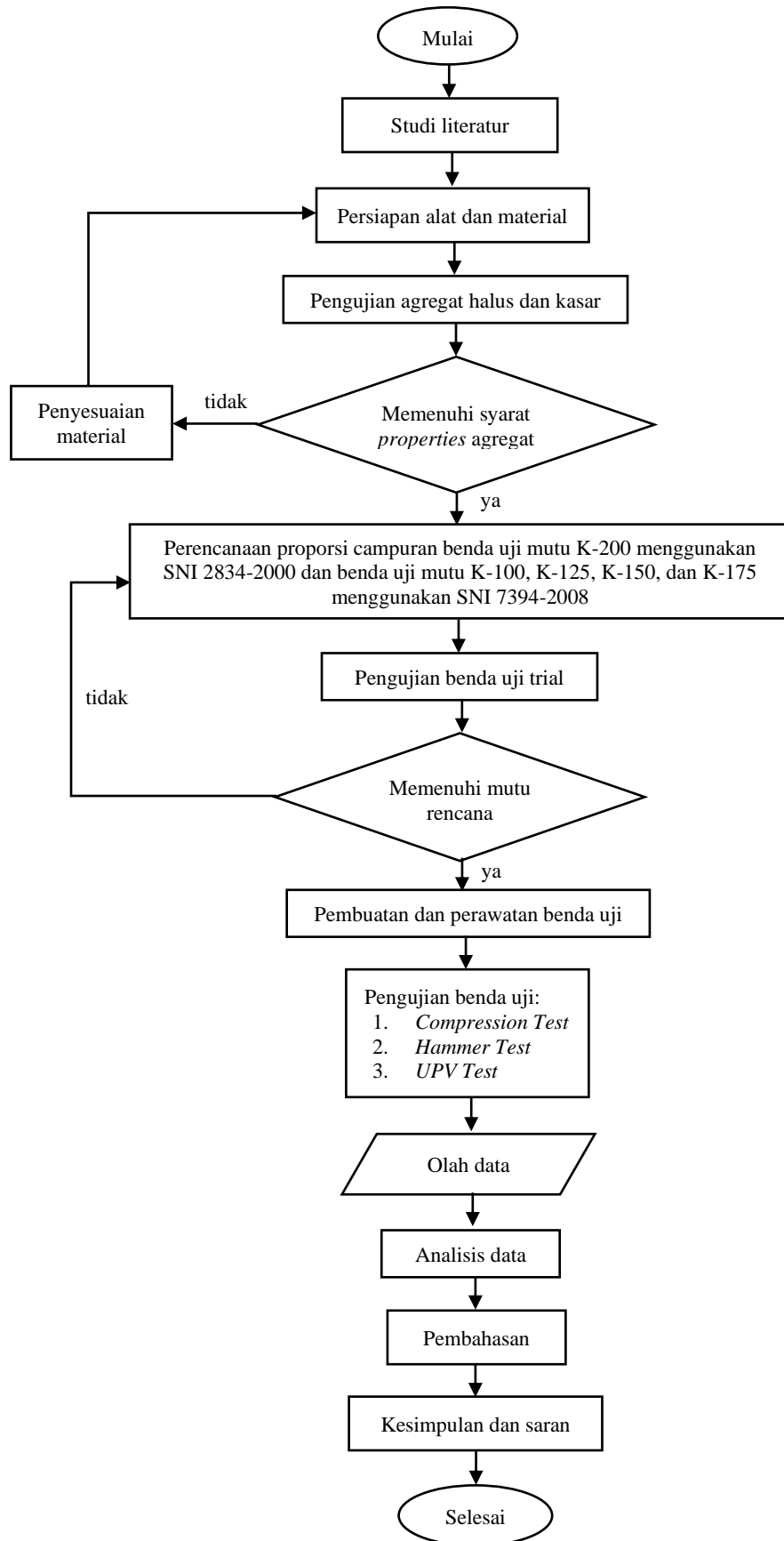
P = Beban tekan, ton

A = Luas penampang beton, mm²



Gambar 4.17 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

- d. Analisis Data
Tahap analisis data dilakukan dengan membandingkan kelompok variabel tertentu untuk mengetahui nilai korelasi antar variabel-variabel X dan Y. Dari korelasi tersebut kemudian akan ditarik kesimpulannya.
- e. Pembahasan
Pembahasan merupakan tahapan dimana dilakukan pembahasan analisis data untuk memperoleh jawaban serta penafsiran terhadap perbedaan-perbedaan nilai variabel dan persamaan yang ditemui pada tahap analisis data.
- f. Kesimpulan dan Saran
Kesimpulan dan saran merupakan bagian dari proses di mana hasil analisis digunakan untuk membuat rangkuman yang mengacu pada tujuan penelitian. Dari simpulan ini, dibuat saran untuk penelitian yang akan datang.
- g. Diagram Alir Penelitian
Diagram alir penelitian ini dapat diuraikan pada Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.18 Diagram Flowchart Alur Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Sebelum melakukan proses pembuatan sampel beton kubus, terlebih dahulu perlu dilakukan pengujian properties campuran. Bab ini menjabarkan tentang data dan hasil dari penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) yang terdiri dari pemeriksaan properties campuran beton, perencanaan *mix design* beton, pencampuran material, dan pelaksanaan pengujian disertai dengan data hasil pengujian beton. Adapun hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap pengujian material maupun benda uji yaitu sebagai berikut :

5.2 Hasil Pemeriksaan Properties Campuran Beton

Bahan – bahan yang akan digunakan dalam pembuatan sampel beton harus dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat dan karakteristiknya, sifat dan karakteristik dari material yang digunakan juga harus memenuhi persyaratan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pemeriksaan material penyusun beton meliputi 2 tahap, yaitu pemeriksaan agregat halus dan pemeriksaan agregat kasar.

5.2.1 Pengujian Agregat Halus

Pada penelitian ini, agregat halus yang digunakan berasal dari Merapi. Pengujian agregat halus yang dilakukan meliputi pengujian kadar air, berat jenis, analisis saringan, berat volume gembur dan volume padat serta pengujian butir lolos ayakan no. 200.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pemeriksaan agregat halus mencakup evaluasi berat jenis, penyerapan air agregat halus, analisis saringan agregat halus, pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus, dan pengujian untuk menentukan kadar lumpur dalam pasir. Berikut adalah data – data yang diperoleh dari pemeriksaan ini.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\
 &= \frac{483}{531+500-824} \\
 &= 2,33 \text{ gram} \\
 \text{b. Berat jenis SSD} &= \frac{500}{B+500-Bt} \\
 &= \frac{500}{531+500-824} \\
 &= 2,41 \text{ gram} \\
 \text{c. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \\
 &= \frac{483}{733+489-1044} \\
 &= 2,7472 \text{ gram} \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{500-483}{483} \times 100\% \\
 &= 3,52\%
 \end{aligned}$$

Nilai hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada tabel rekapitulasi bawah ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	483,00	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	824,00	gram
Berat piknometer berisi air (B)	531,00	gram

Lanjutan Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat jenis curah $B_k/(B+500-B_t)$	2,33	gram
Berat jenis jenuh kering muka (SSD), $500/(B+500-B_t)$	2,42	gram
Berat jenis semu $B_k/(B+B_k-B_t)$	2,54	gram
Penyerapan air $(500-B_k)/B_k \times 100\%$	3,52	%

Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, didapatkan data berat jenis jenuh kering muka (SSD) sebesar 2,42 gram dan persentase penyerapan air agregat halus sebesar 3,52%.

2. Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus (*Sieve Analysis*)

Pada pengujian analisis saringan agregat halus, penguji memperoleh data yang akan diolah untuk mendapatkan nilai modulus halus butir (MHB) agregat dan daerah gradasi. Pengujian ini dilakukan dengan landasan SNI 1968-1990. Pada pengujian ini, agregat halus digunakan sebesar 2000 gram. Data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 5.2. Perhitungan analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada uraian di bawah ini.

a. Persentase berat tertinggal $= \frac{\text{Berat tertinggal}}{\Sigma \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$

- 1) Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{6}{1996} \times 100\% = 0,30\%$
- 2) Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{73}{1996} \times 100\% = 3,66\%$
- 3) Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{276}{1996} \times 100\% = 13,83\%$
- 4) Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{813}{1996} \times 100\% = 40,73\%$
- 5) Lubang ayakan 0,30 mm $= \frac{626}{1996} \times 100\% = 31,36\%$
- 6) Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{183}{1996} \times 100\% = 9,17\%$
- 7) Pan $= \frac{19}{1996} \times 100\% = 0,95\%$

b. Persentase berat tertinggal kumulatif

- 1) Lubang ayakan 4,8 mm = 0,30 %
- 2) Lubang ayakan 2,4 mm = 0,30 % + 3,66 % = 3,96 %
- 3) Lubang ayakan 1,2 mm = 3,96 % + 13,83 % = 17,79 %
- 4) Lubang ayakan 0,6 mm = 17,79 % + 40,73 % = 58,52 %
- 5) Lubang ayakan 0,3 mm = 58,52 % + 31,36 % = 89,88 %
- 6) Lubang ayakan 0,15 mm = 89,88 % + 9,17 % = 99,05 %
- 7) Pan = 99,05 % + 0,95 % = 100 %

c. Persentase lolos kumulatif

- 1) Lubang ayakan 4,8 mm = 100 % - 0,30 % = 99,70 %
- 2) Lubang ayakan 2,4 mm = 100 % - 3,96 % = 96,04 %
- 3) Lubang ayakan 1,2 mm = 100 % - 17,79 % = 82,21 %
- 4) Lubang ayakan 0,6 mm = 100 % - 58,52 % = 41,48 %
- 5) Lubang ayakan 0,3 mm = 100 % - 89,88 % = 10,12 %
- 6) Lubang ayakan 0,15 mm = 100 % - 99,05 % = 0,95 %
- 7) Pan = 100 % - 100 % = 0 %

Nilai hasil pengujian analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada tabel rekapitulasi di bawah ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	6	0,30	0,30	99,70
2,40	73	3,66	3,96	96,04

Lanjutan Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1,20	276	13,83	17,79	82,21
0,60	813	40,73	58,52	41,48
0,30	626	31,36	89,88	10,12
0,15	183	9,17	99,05	0,95
Sisa	19	0,95	100,00	0,00
Jumlah	1996	100,00	369,49	630,51

Berdasarkan tabel 5.2 maka didapatkan nilai modulus halus butir (MHB) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus halus butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{369,49}{100} \\
 &= 3,69
 \end{aligned}$$

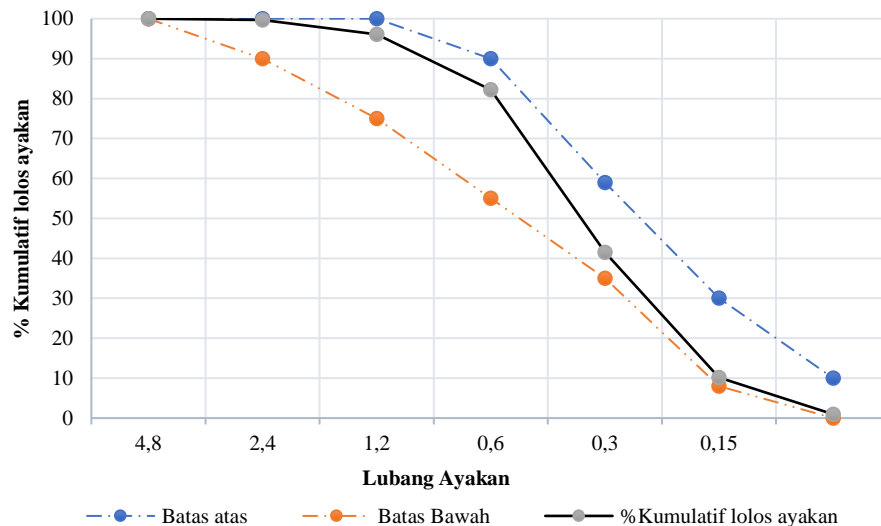
Berdasarkan SNI 03-1968-1990, nilai modulus halus butir agregat halus memiliki ketentuan dalam rentang 1,5 – 3,8. Pada penelitian ini, diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 3,69 sehingga telah memenuhi standard. Nilai hasil analisis saringan selanjutnya diolah untuk menentukan gradasi agregat yang dapat dilihat pada tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100 – 100	100 – 100	100 – 100	100 – 100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 90	75 – 90
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	60 – 79
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	12 – 40
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 10

(Sumber : SK SNI T-15-1990-03)

- Keterangan:
- Daerah I : Pasir kasar
 - Daerah II : Pasir agak kasar
 - Daerah III : Pasir agak halus
 - Daerah IV : Pasir halus



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II

Dari kurva gradasi yang terlihat pada Gambar 5.1, dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini masuk ke dalam kategori gradasi II, yang dapat dideskripsikan sebagai pasir yang relatif kasar.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus berpatokan pada standard SNI 03-4804-1998. Perhitungan agregat halus pada pengujian berat volume gembur dan padat dapat dilihat pada uraian di bawah ini.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \quad \text{Berat Agregat (W}_3) &= W_2 - W_1 \\
 &= 18897 - 11450 \\
 &= 7447 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \quad \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,08^2 \times 30,12 \\
 &= 5379,57 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \quad \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7447}{5379,57} \\
 &= 1,38 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 1) \quad \text{Berat Agregat (W}_3) &= W_2 - W_1 \\
 &= 18950 - 10115 \\
 &= 8835 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \quad \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,22^2 \times 29,97 \\
 &= 5454,82 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \quad \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8835}{5454,82} \\
 &= 1,62 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dari uraian perhitungan di atas, tabel rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat pada agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.4 dan tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W ₁)	11450	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W ₂)	18897	gram
Berat Agregat (W ₃)	7447	gram
Volume Tabung (V)	5379,57	cm ³
Berat Volume Gembur	1,38	gram/cm ³

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W_1)	10115	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W_2)	18950	gram
Berat Agregat (W_3)	8835	gram
Volume Tabung (V)	5454,82	cm ³
Berat Volume Padat	1,62	gram/cm ³

Dari tabel rekapitulasi di atas, dapat disimpulkan bahwa berat volume gembur dari agregat halus adalah 1,38 gram/cm³, sementara berat volume padatnya adalah 1,62 gram/cm³.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur dalam Pasir)

Pengujian lolos saringan no.200 (uji kadar lumpur dalam pasir) berdasarkan pada SNI 4142 – 1996. Sampel agregat halus yang digunakan pada pengujian ini sebesar 500 gram dalam kondisi kering oven. Informasi mengenai hasil pengujian ini dapat disimak pada tabel 5.6 di bawah ini. Berikut adalah uraian perhitungan pengujian lolos saringan no.200.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 491}{500} \times 100\% \\
 &= 1,8\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Agregat Kering Oven (W_1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W_2)	491	gram
Berat Lolos Ayakan No. 200 [($W_1 - W_2$)/ W_1] x 100	1,8	%

5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar mencakup pengukuran berat jenis dan daya serap air, analisis saringan, serta pengukuran berat volume dalam kondisi gembur dan padat. Berikut adalah hasil dari pengujian agregat kasar.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini mengacu pada SNI 1969 – 2016. Informasi mengenai hasil pengujian ini dapat disimak pada tabel 5.8. Contoh perhitungan pada pengujian ini dapat dilihat pada uraian di bawah.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{Bj - Ba} \\
 &= \frac{4886}{5000 - 3105} \\
 &= 2,58 \text{ gram} \\
 \text{b. Berat jenis SSD} &= \frac{Bj}{Bj - Ba} \\
 &= \frac{5000}{5000 - 3105} \\
 &= 2,64 \text{ gram} \\
 \text{c. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{Bk - Ba} \\
 &= \frac{4886}{4886 - 3105} \\
 &= 2,74 \text{ gram} \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{Bj - Bk}{Bk} \\
 &= \frac{5000 - 4886}{4886} \times 100\% \\
 &= 2,33 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.8 berikut ini memberikan ringkasan hasil pengujian berat jenis dan daya serap air pada agregat kasar.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4886,00	gram
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3105,00	gram
Berat jenis curah $Bk/(Bj - Ba)$	2,58	gram
Berat jenis jenuh kering muka (SSD), $Bj/(Bj - Ba)$	2,64	gram
Berat jenis semu $Bk/(Bk - Ba)$	2,74	gram
Penyerapan air $[(Bj - Bk)/Bk] \times 100\%$	2,33	%

Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, didapatkan data berat jenis jenuh kering muka (SSD) sebesar 2,64 gram dan persentase penyerapan air agregat halus sebesar 2,33%.

2. Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Pada pengujian analisis saringan agregat kasar, penguji memperoleh data yang akan diolah untuk mendapatkan nilai modulus halus butir (MHB) agregat dan daerah gradasi. Pengujian ini dilakukan dengan landasan SNI 1968-1990. Pada pengujian ini, penguji menggunakan agregat kasar sebesar 5000 gram. Data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 5.9. Perhitungan analisis saringan agregat kasar dapat dilihat pada uraian di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Persentase berat tertinggal} &= \frac{\text{Berat tertinggal}}{\sum \text{Berat tertinggal}} \times 100\% \\
 \text{1) Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3672}{4989} \times 100\% \\
 &= 73,60 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Lubang ayakan } 4,80 \text{ mm} &= \frac{1070}{4989} \times 100\% \\
 &= 21,45 \% \\
 3) \text{ Lubang ayakan } 4,80 \text{ mm} &= \frac{74}{4989} \times 100\% \\
 &= 1,48 \% \\
 4) \text{ Lubang ayakan } 4,80 \text{ mm} &= \frac{20}{4989} \times 100\% \\
 &= 0,40 \%
 \end{aligned}$$

b. Persentase berat tertinggal kumulatif

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Lubang ayakan } 10 \text{ mm} &= 0 \% + 73,60 \% = 73,60 \% \\
 2) \text{ Lubang ayakan } 4,8 \text{ mm} &= 73,60 \% + 21,45 \% = 95,05 \% \\
 3) \text{ Lubang ayakan } 2,4 \text{ mm} &= 95,05 \% + 1,48 \% = 96,53 \% \\
 4) \text{ Lubang ayakan } 1,2 \text{ mm} &= 96,53 \% + 0,40 \% = 96,93 \% \\
 5) \text{ Lubang ayakan } 0,60 \text{ mm} &= 96,93 \% + 0 \% = 96,93 \% \\
 6) \text{ Lubang ayakan } 0,30 \text{ mm} &= 96,93 \% + 0 \% = 96,93 \% \\
 7) \text{ Lubang ayakan } 0,15 \text{ mm} &= 96,93 \% + 0 \% = 96,93 \%
 \end{aligned}$$

c. Persentase lolos kumulatif

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Lubang ayakan } 40 \text{ mm} &= 100 \% - 0 \% = 100 \% \\
 2) \text{ Lubang ayakan } 20 \text{ mm} &= 100 \% + 0 \% = 100 \% \\
 3) \text{ Lubang ayakan } 10 \text{ mm} &= 100 \% - 73,60 \% = 26,39 \% \\
 4) \text{ Lubang ayakan } 4,8 \text{ mm} &= 100 \% - 95,05 \% = 4,95 \% \\
 5) \text{ Lubang ayakan } 2,4 \text{ mm} &= 100 \% - 96,53 \% = 3,47 \% \\
 6) \text{ Lubang ayakan } 1,2 \text{ mm} &= 100 \% - 99,93 \% = 3,07 \% \\
 7) \text{ Lubang ayakan } 0,6 \text{ mm} &= 100 \% - 99,93 \% = 3,07 \% \\
 8) \text{ Lubang ayakan } 0,3 \text{ mm} &= 100 \% - 99,93 \% = 3,07 \% \\
 9) \text{ Lubang ayakan } 0,15 \text{ mm} &= 100 \% - 100 \% = 3,07 \% \\
 10) \text{ Pan} &= 100 \% - 100 \% = 0 \%
 \end{aligned}$$

Tabel ringkasan hasil perhitungan analisis saringan agregat kasar dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	3672	73,60	73,60	26,39
4,80	1070	21,45	95,05	4,95
2,40	74	1,48	96,53	3,47
1,20	20	0,40	96,93	3,07
0,60	0	0	96,93	3,07
0,30	0	0	96,93	3,07
0,15	0	0	96,93	3,07
Sisa	153	3,07	100	0
Jumlah	4989	100	652,92	147,08

Berdasarkan nilai hasil analisis saringan pada agregat kasar, nilai modulus halus butir (MHB) dari agregat yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

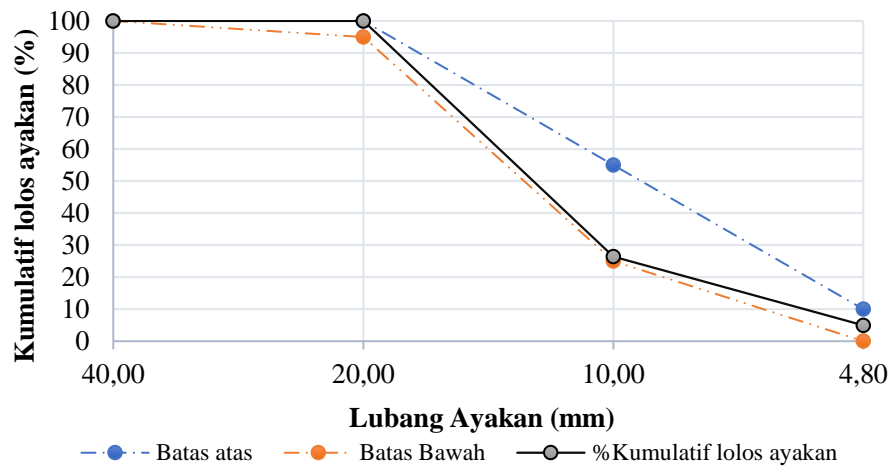
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus halus butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{652,92}{100} \\
 &= 6,53
 \end{aligned}$$

Batas modulus halus butir agregat kasar berkisar antara rentang nilai 5 hingga 8, hal ini mengacu pada SNI 03 – 1968 – 1990. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa nilai modulus butir agregat kasar yang dihasilkan pada penelitian ini sudah memenuhi persyaratan spesifikasi. Nilai hasil dari *sieve analysis* ini dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat, yang diacu dari ketentuan SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada tabel 5.9 di bawah ini. Dari nilai hasil pengujian analisis saringan agregat kasar juga menunjukkan bahwa ukuran maksimum agregat kasar adalah 20 mm.

Tabel 5.9 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum					
	40 mm			20 mm		
40	95	–	100	100	–	100
20	30	–	70	90	–	100
10	10	–	35	25	–	55
4,8	0	–	5	0	–	10

(Sumber : SNI 3-2834-2000)

**Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm**

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus berpatokan pada standard SNI 4804-1998. Perhitungan agregat halus pada pengujian berat volume gembur dan padat dapat dilihat pada uraian di bawah ini.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \quad \text{Berat Agregat (W}_3) &= W_2 - W_1 \\
 &= 17650 - 11500 \\
 &= 6150 \text{ gram} \\
 2) \quad \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,40^2 \times 30,20
 \end{aligned}$$

$$= 5627,47 \text{ cm}^3$$

$$3) \quad \text{Berat Volume Gembur} = \frac{W_3}{V}$$

$$= \frac{6150}{5627,47}$$

$$= 1,09 \text{ gram/cm}^3$$

b. Berat Volume Padat

$$1) \quad \text{Berat Agregat (W}_3) = W_2 - W_1$$

$$= 18469 - 10218$$

$$= 8251 \text{ gram}$$

$$2) \quad \text{Volume Tabung (V)} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,15^2 \times 30,15$$

$$= 5437,22 \text{ cm}^3$$

$$3) \quad \text{Berat Volume Padat} = \frac{W_3}{V}$$

$$= \frac{8251}{5437,22}$$

$$= 1,52 \text{ gram/cm}^3$$

Dari uraian perhitungan di atas, tabel rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat pada agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.10 dan tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W ₁)	11500	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W ₂)	17650	gram
Berat Agregat (W ₃)	6150	gram
Volume Tabung (V)	15,40	cm ³
Berat Volume Gembur	30,20	gram/cm ³

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W_1)	10218	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W_2)	18469	gram
Berat Agregat (W_3)	8251	gram
Volume Tabung (V)	15,15	cm ³
Berat Volume Gembur	30,15	gram/cm ³

Dari tabel rekapitulasi di atas, dapat disimpulkan bahwa berat volume gembur dari agregat kasar adalah 30,20 gram/cm³, sementara berat volume padatnya adalah 30,15 gram/cm³.

5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perhitungan campuran beton dilakukan untuk menentukan proporsi perbandingan dalam setiap campuran beton dengan tujuan untuk mencapai kuat tekan yang telah direncanakan. Perhitungan ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan beton rencana K-200. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f'_c) adalah sebesar 16,6 MPa dengan benda uji kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm.
2. Semen yang digunakan adalah semen PCC tipe I merk Dynamix.
3. Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar didapatkan berat jenis agregat halus adalah 2,42 gram dan berat jenis agregat kasar adalah 2,64 gram.
4. Berdasarkan pengujian analisis saringan agregat kasar didapatkan ukuran agregat maksimum adalah sebesar 20 mm.
5. Berdasarkan pengujian analisis saringan agregat halus didapatkan susunan butir agregat halus masuk dalam gradasi daerah II.

6. Sampel silinder yang digunakan adalah 12 buah, maka berdasarkan tabel 5.13 digunakan nilai margin (M) sebesar 12 MPa.

Tabel 5.12 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Tersedia Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	*)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(Sumber: Tabel 1 SNI 03-2834-2000)

*) bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari ($f'_c + 12$ MPa).

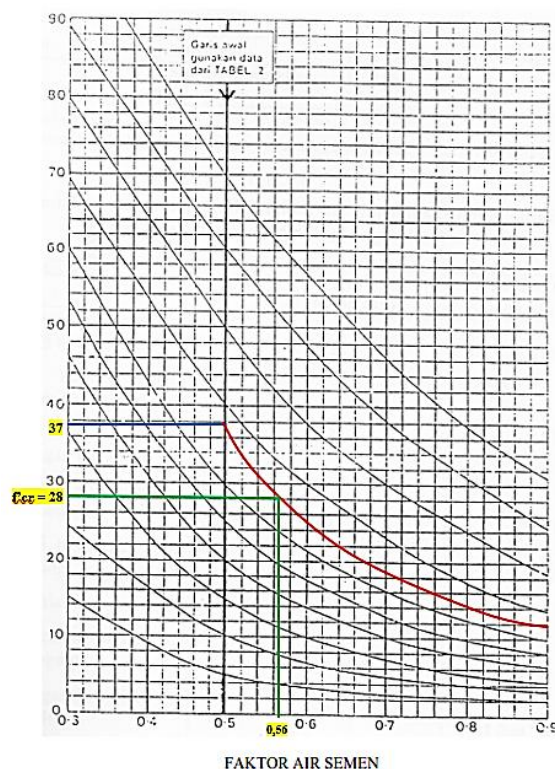
7. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan.
8. Menentukan nilai faktor air semen (fas) berdasarkan Tabel 5.13 dan Gambar 5.3 berikut.

Tabel 5.13 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang digunakan

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: Tabel 2 SNI 03-2834-2000)

- Semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe I, dengan jenis agregat kasar batu pecah, benda uji silinder dan kuat tekan pada umur 28 hari. Sehingga, berdasarkan Tabel 5.14 di atas diperoleh perkiraan kuat tekan beton dengan FAS sebesar 0,5 adalah 37 MPa.
- Dengan mengacu pada Gambar 5.3 di bawah ini, tarik garis vertikal ke atas FAS sebesar 0,5 dan tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata sebesar 37 MPa yang didapat dari Tabel 5.14, sehingga didapatkan titik perpotongan antara kedua garis tersebut.
- Buat kurva baru terhadap titik perpotongan antara kuat tekan rata-rata sebesar 37 MPa dan nilai FAS 0,5 dari poin b.
- Tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) sebesar 28 MPa sampai memotong kurva pada poin c.
- Tarik garis vertikal ke bawah dari titik perpotongan pada poin d. Sehingga didapat nilai FAS sebesar 0,56.



Gambar 5.3 Hubungan antara Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen untuk Benda Uji Kubus 150 x 150 x 150 mm

(Sumber: Grafik 2 SNI 03-2834-2000)

9. Menentukan kadar air yang dibutuhkan.

Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.15 sebagai berikut.

- Hasil pengujian analisis saringan agregat menunjukkan bahwa ukuran butir maksimum dari agregat kasar yang diperoleh adalah 20 mm.
- Jenis batuan terdiri dari agregat halus (batu tak dipecahkan) dan agregat kasar (batu pecah).
- Perencanaan nilai *slump* sebesar 10 ± 2 cm, sehingga termasuk dalam rentang *slump* antara 60 mm hingga 180 mm.

Tabel 5.14 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat				
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: Tabel 3 SNI 03-2834-2000)

- d. Kadar air yang dibutuhkan didapatkan dari perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} \cdot 195 + \frac{1}{3} \cdot 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

10. Menentukan jumlah semen minimum dan FAS maksimum.

Jumlah semen minimum dan FAS maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam 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 : Tabel 4 SNI 03-2834-2000)

Penelitian ini menggunakan jenis pembetonan yang berada di dalam ruang bangunan dengan kondisi keliling non korosif. Maka berdasarkan Tabel 5.16

di atas didapatkan nilai semen tidak boleh kurang dari 275 kg/m^3 dengan faktor air semen tidak boleh melebihi 0,60.

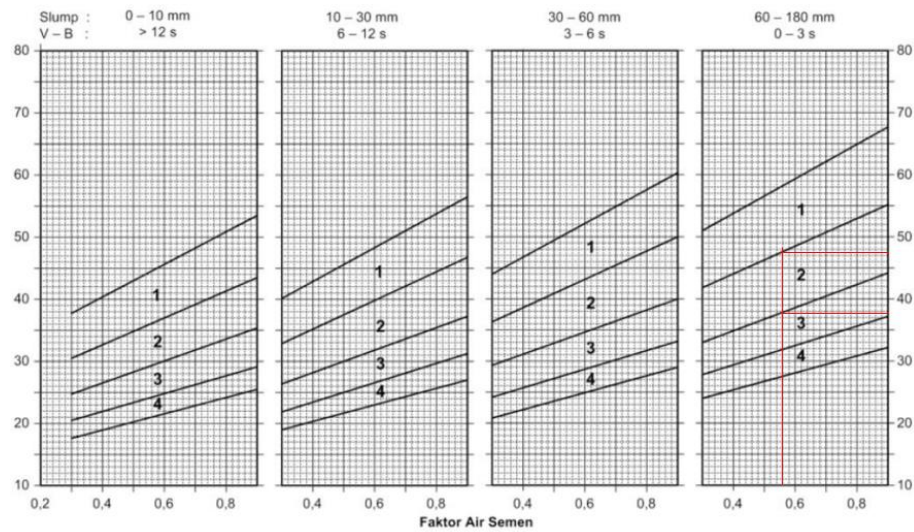
11. Menentukan kadar semen yang digunakan.
 - a. Hasil pembacaan grafik pada Gambar 5.3 menunjukkan bahwa nilai FAS yang diperoleh dari f'_{cr} 28 MPa yaitu 0,56 dan FAS maksimum berdasarkan Tabel 5.16 yaitu bernilai 0,60. Nilai FAS yang digunakan adalah nilai terkecil yaitu dari hasil pembacaan grafik sebesar 0,56.
 - b. Nilai kebutuhan kadar semen berdasarkan nilai FAS dan kadar air didapatkan dari perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{w}{fas} \\
 &= \frac{205}{0,56} \\
 &= 366,07 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- c. Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa kadar semen yang diperoleh adalah $366,07 \text{ kg/m}^3$ dan persyaratan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan yang tertera pada Tabel 5.16 adalah 275 kg/m^3 sehingga kebutuhan kadar semen sebesar $366,07 \text{ kg/m}^3$.
12. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar.

Presentase agregat halus yang ditentukan berdasarkan Gambar 5.4 dijabarkan pada uraian berikut ini.

- a. Ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah 20 mm, nilai *slump* rencana masuk dalam rentang 60-180 mm, nilai FAS sebesar 0,56 dan gradasi agregat halus masuk dalam kategori gradasi II.
- b. Tarik garis vertikal ke atas dari nilai FAS 0,56 sampai memotong dua buah kurva yang membatasi daerah gradasi II.
- c. Dari dua titik perpotongan antara garis FAS dan batas daerah gradasi II, tarik garis horizontal ke kanan, sehingga diperoleh angka batas atas dan bawah agregat halus dalam bentuk persentase sebesar 47,8% dan 37,9%.



Gambar 5.4 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: Grafik 14 SNI 03-2834-2000)

- d. Nilai persentase agregat halus rata-rata dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \% \text{ Ag. Halus} &= \frac{47,8\% + 37,9\%}{2} \\ &= 42,85\% \end{aligned}$$

- e. Nilai persentase agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \% \text{ Ag. Kasar} &= 100\% - \% \text{ Ag. Halus} \\ &= 100\% - 42,85\% \\ &= 57,15\% \end{aligned}$$

13. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD)

Berat jenis relatif gabungan dihitung sebagai berikut.

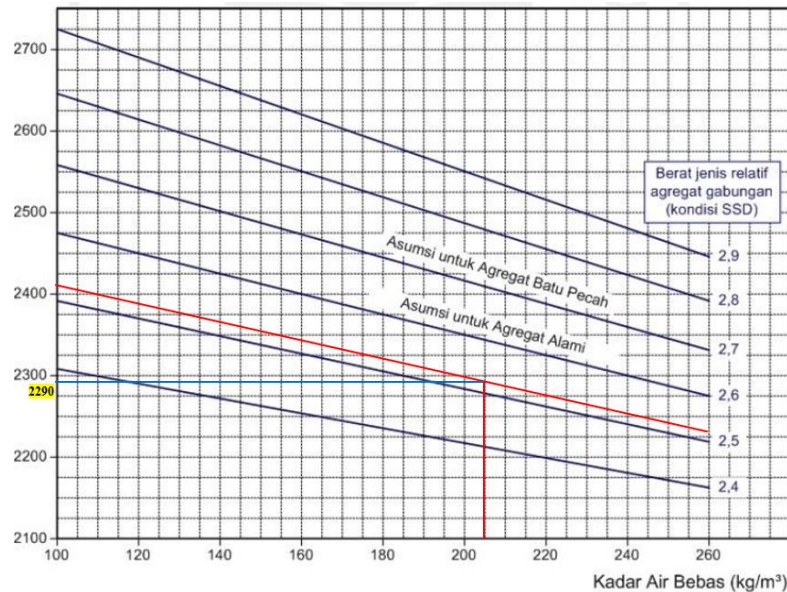
$$\begin{aligned} BJ_{\text{gabungan}} &= (\% \text{ Ag. Halus} \times BJ_{\text{Ag.halus}}) + (\% \text{ Ag. Kasar} \times BJ_{\text{Ag.Kasar}}) \\ &= (42,85\% \times 2,42) + (57,15\% \times 2,64) \\ &= 2,54 \end{aligned}$$

14. Menentukan berat isi beton

Berat isi beton ditentukan berdasarkan Gambar 5.5 sebagai berikut.

- a. Membuat kurva baru dengan nilai berat jenis relatif agregat gabungan sebesar 2,54.

- b. Tarik garis vertikal ke atas dari nilai kadar air sebesar 205 kg/m^3 sampai memotong kurva baru pada poin a.
- c. Dari titik perpotongan pada poin b, tarik garis horizontal ke kiri, sehingga diperoleh nilai perkiraan berat isi beton (W_{beton}) sebesar 2290 kg/m^3 .



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Gambar 5.5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Dipadatkan

(Sumber: Grafik 16 SNI 03-2834-2000)

15. Menentukan kadar agregat dalam campuran

Kadar agregat dalam campuran beton diuraikan pada perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat} &= \text{Berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air} \\ &= 2290 - 366,07 - 205 \\ &= 1718,93 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

16. Menentukan kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton.

Kadar agregat halus dan agregat kasar pada campuran beton diuraikan pada perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \text{Persen agregat halus} \times \text{kadar agregat} \\ &= 42,85\% \times 1718,93 \\ &= 736,56 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat kasar} &= \text{Persen agregat kasar} \times \text{kadar agregat} \\
 &= 57,15\% \times 1718,93 \\
 &= 982,37 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

17. Proporsi campuran per 1 m³ beton.

Dari hasil perencanaan campuran diperoleh proporsi tiap material untuk tiap 1 m³ beton mutu K-200 sebagai berikut.

- a. Semen = 366,07 kg
- b. Air = 205 liter
- c. Agregat halus = 736,56 kg
- d. Agregat kasar = 982,37 kg

18. Hasil perencanaan campuran beton.

Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

19. Proporsi campuran per 1 m³ beton dengan angka penyusutan.

Dalam penelitian ini diambil angka penyusutan sebesar 20%. Oleh karena itu, proporsi tiap material per 1 m³ beton dengan angka penyusutan adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 493,28 kg
- b. Air = 246 liter
- c. Agregat halus = 883,87 kg
- d. Agregat kasar = 1178,84 kg

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	16,6	MPa
2	Standar Deviasi	-	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	28	MPa
5	Jenis Semen	Tipe I	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
7	Faktor air semen bebas (FAS)	0,56	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,56	
9	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	366,07	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum		kg/m ³
14	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	366,07	kg/m ³
16	FAS disesuaikan	-	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,64	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,42	
19	Persen Agregat Halus	42,85%	%
20	Persen Agregat Kasar	57,15%	%
21	Berat jenis relative agregat gabungan (SSD)	2,54	
22	Berat isi beton	2290	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1718,93	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	736,56	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	982,37	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	493,28	kg/m ³
27	Kadar air dengan angka penyusutan	246	kg/m ³
28	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	883,87	kg/m ³
29	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1178,84	kg/m ³

20. Volume benda uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini untuk mutu beton K-200 terdiri dari 12 beton kubus dengan ukuran 150 mm × 150 mm × 150 mm. Adapun volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji dalam satu kali *mixing*. Dalam penelitian ini, pembuatan benda uji tiap variasi dilakukan

dalam satu kali *mixing*. Proses *mixing* terdiri dari 12 bton kubus, sehingga diperoleh benda uji untuk *mixing* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Volume } mixing &= 12 \times s \times s \times s \\ &= 12 \times 0,15 \times 0,15 \times 0,15 \\ &= 0,0405\end{aligned}$$

21. Proporsi campuran untuk tiap kali *mixing*

Berdasarkan volume yang telah dihitung pada butir 20, maka perhitungan proporsi campuran pada proses *mixing* untuk pembuatan beton mutu K-200 dapat dilihat pada uraian di bawah ini.

- a. Semen $= 0,0405 \times 493,28 = 19,9778 \text{ kg}$
- b. Air $= 0,0405 \times 246 = 9,84 \text{ kg}$
- c. Agregat halus $= 0,0405 \times 883,87 = 35,7967 \text{ kg}$
- d. Agregat kasar $= 0,0405 \times 1178,84 = 47,7430 \text{ kg}$

5.4 Perencanaan Campuran Beton Menggunakan SNI 7394:2008

Penelitian ini menggunakan SNI 7394:2008 untuk menentukan komposisi campuran beton mutu K-100, K-125, K-150, dan K-175. Pemilihan standar ini disebabkan oleh adanya faktor air semen yang melebihi nilai yang telah ditetapkan dalam SNI 03-2834-2000, yaitu sebesar 0,6. Untuk informasi lebih rinci mengenai komposisi campuran beton mutu K-100, K-125, K-150, dan K-175 mengikuti SNI 7394:2008 dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Komposisi Campuran Material Beton Per – m³

Material	Variasi Mutu Beton Per – m ³			
	K-100	K-125	K-150	K-175
Air (liter)	215	215	215	215
Semen (kg)	247	276	299	326
Agregat Halus (kg)	869	828	799	760
Agregat Kasar (kg)	999	1012	1017	1029
Total (kg)	2330	2331	2330	2330

Tabel 5.18 Rekapitulasi Komposisi Campuran Material Beton Per 12 Benda Uji Kubus

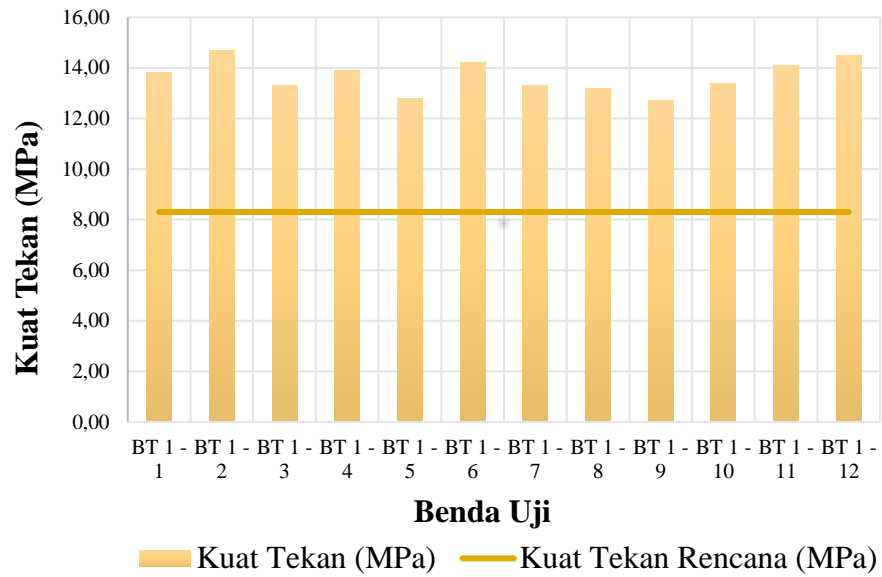
Material	Variasi Mutu Beton Per 12 Benda Uji Kubus			
	K-100	K-125	K-150	K-175
Air (liter)	8,7075	8,7075	8,7075	8,7075
Semen (kg)	10,0035	11,178	12,1095	13,203
Agregat Halus (kg)	35,1945	33,534	32,3595	30,78
Agregat Kasar (kg)	40,4595	40,986	41,1885	41,6745
Total (kg)	94,365	94,4055	94,365	94,365

5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan benda uji beton mutu rendah dilakukan setelah benda uji mencapai umur 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm. Total benda uji yang diuji dalam pengujian kuat tekan ini sejumlah 60 benda uji, dengan masing-masing variasi beton mutu rendah memiliki 12 sampel benda uji.

Tabel 5.19 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-100 ($f'_c = 8,3$ MPa)

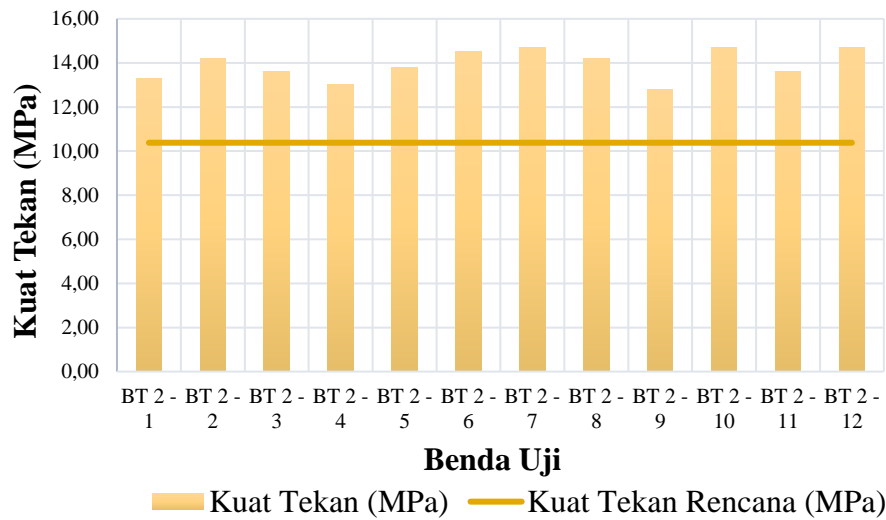
No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 1 - 1	13,80
2	BT 1 - 2	14,70
3	BT 1 - 3	13,30
4	BT 1 - 4	13,90
5	BT 1 - 5	12,80
6	BT 1 - 6	14,20
7	BT 1 - 7	13,30
8	BT 1 - 8	13,20
9	BT 1 - 9	12,70
10	BT 1 - 10	13,40
11	BT 1 - 11	14,10
12	BT 1 - 12	14,50
Rata-rata		13,66



Gambar 5.6 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-100 ($f'_c = 8,3$ MPa)

Tabel 5.20 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-125 ($f'_c = 10,38$ MPa)

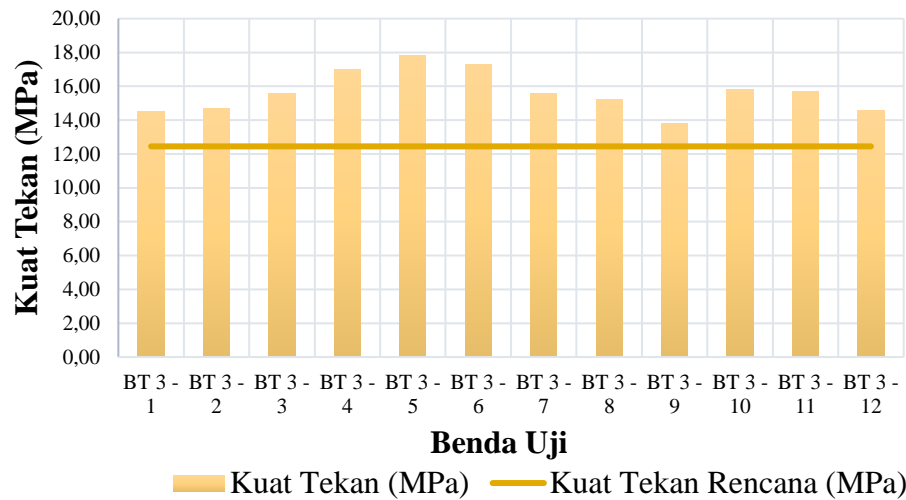
No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 2 - 1	13,30
2	BT 2 - 2	14,20
3	BT 2 - 3	13,60
4	BT 2 - 4	13,00
5	BT 2 - 5	13,80
6	BT 2 - 6	14,50
7	BT 2 - 7	14,70
8	BT 2 - 8	14,20
9	BT 2 - 9	12,80
10	BT 2 - 10	14,70
11	BT 2 - 11	13,60
12	BT 2 - 12	14,70
Rata-rata		13,93



Gambar 5.7 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-125 ($f'_c = 10,38$ MPa)

Tabel 5.21 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-150 ($f'_c = 12,45$ MPa)

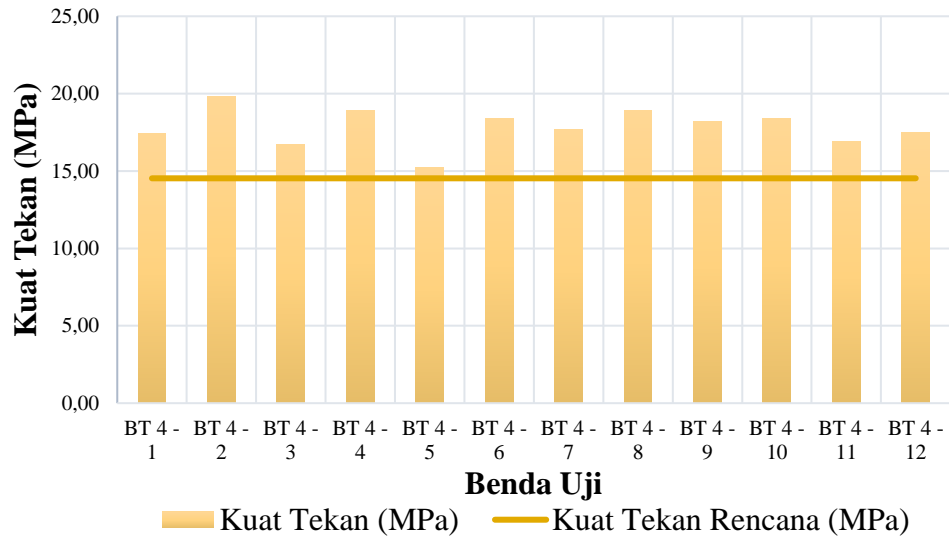
No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 3 - 1	14,50
2	BT 3 - 2	14,70
3	BT 3 - 3	15,60
4	BT 3 - 4	17,00
5	BT 3 - 5	17,80
6	BT 3 - 6	17,30
7	BT 3 - 7	15,60
8	BT 3 - 8	15,20
9	BT 3 - 9	13,80
10	BT 3 - 10	15,80
11	BT 3 - 11	15,70
12	BT 3 - 12	14,60
Rata-rata		15,63



Gambar 5.8 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-150 ($f'_c = 12,45$ MPa)

Tabel 5.22 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-175 ($f'_c = 14,53$ MPa)

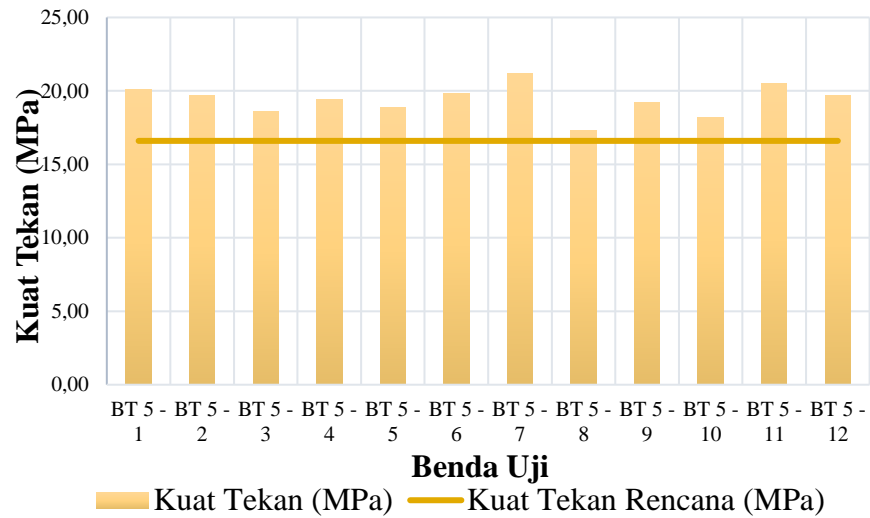
No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 4 - 1	17,40
2	BT 4 - 2	19,80
3	BT 4 - 3	16,70
4	BT 4 - 4	18,90
5	BT 4 - 5	15,20
6	BT 4 - 6	18,40
7	BT 4 - 7	17,70
8	BT 4 - 8	18,90
9	BT 4 - 9	18,20
10	BT 4 - 10	18,40
11	BT 4 - 11	16,90
12	BT 4 - 12	17,50
Rata-rata		17,83



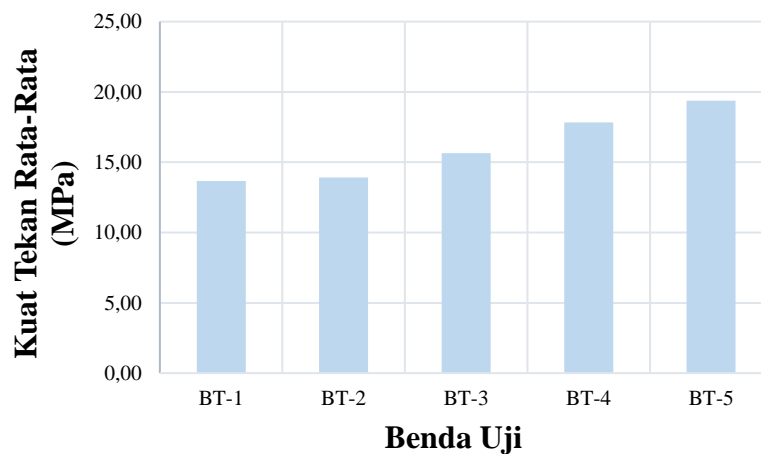
Gambar 5.9 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-175 ($f'_c = 14,53$ MPa)

Tabel 5.23 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-200 ($f'_c = 16,60$ MPa)

No	Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (MPa)
1	BT 5 - 1	20,10
2	BT 5 - 2	19,70
3	BT 5 - 3	18,60
4	BT 5 - 4	19,40
5	BT 5 - 5	18,90
6	BT 5 - 6	19,80
7	BT 5 - 7	21,20
8	BT 5 - 8	17,30
9	BT 5 - 9	19,20
10	BT 5 - 10	18,20
11	BT 5 - 11	20,50
12	BT 5 - 12	19,70
Rata-rata		19,38



Gambar 5.10 Hasil Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Kubus Mutu K-200 ($f'_c = 16,60$ MPa)



Gambar 5.11 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Rata-Rata pada Setiap Variasi Benda Uji

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata pada masing-masing mutu variasi sudah memenuhi kuat tekan yang direncanakan.

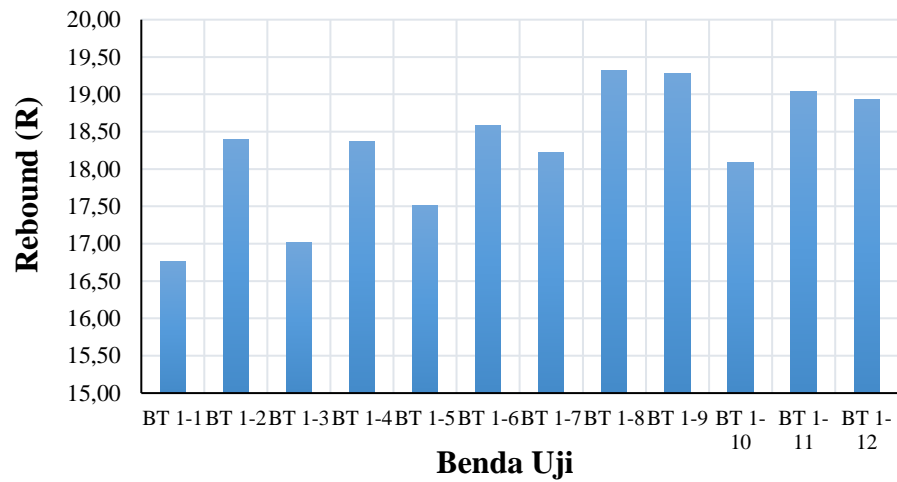
5.6 Hasil Pengujian *Hammer Test Digital*

Pengujian dengan metode *hammer test* dilakukan dengan menggunakan alat *Silver Schmidt Hammer* buatan *PROCEQ*. Pengujian ini bertujuan untuk

memperoleh nilai kuat tekan beton. Hasil dari pengujian ini disajikan dalam bentuk nilai *rebound*, nilai *rebound* dipengaruhi oleh karakteristik beton yang ada di sekitar ujung *hammer*. Bila ujung *hammer* diletakkan di atas permukaan beton yang keras, nilai *rebound* yang didapatkan akan cenderung tinggi. Namun, bila ujung *hammer* diletakkan di atas permukaan beton yang lebih lunak dan memiliki rongga udara yang besar, nilai *rebound* yang didapatkan 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 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-100

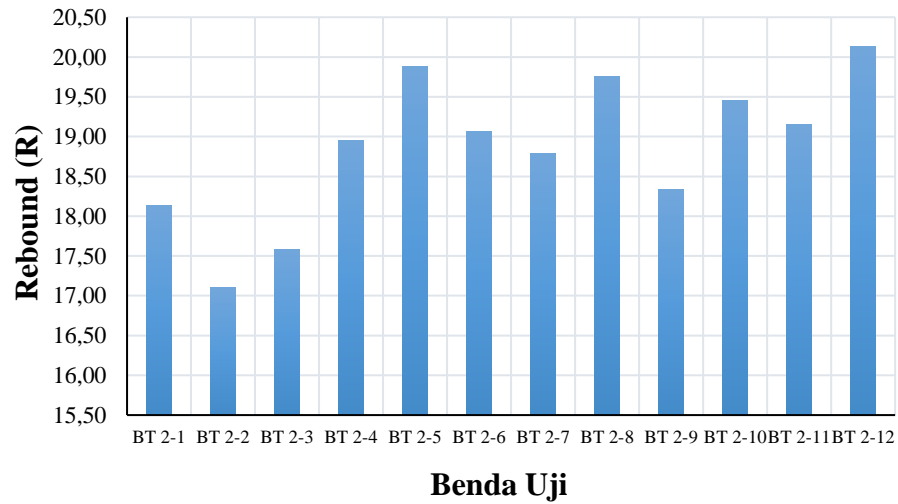
Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 1 - 1	17,72	17,30	15,28	16,77
BT 1 - 2	18,73	16,63	19,81	18,39
BT 1 - 3	17,42	17,08	16,55	17,01
BT 1 - 4	16,96	17,52	20,61	18,36
BT 1 - 5	17,76	17,18	17,59	17,51
BT 1 - 6	18,13	16,97	20,64	18,58
BT 1 - 7	18,10	18,39	18,18	18,22
BT 1 - 8	19,65	18,66	19,63	19,31
BT 1 - 9	19,90	19,10	18,82	19,27
BT 1 - 10	18,13	17,54	18,60	18,09
BT 1 - 11	19,10	18,73	19,29	19,04
BT 1 - 12	18,45	18,97	19,36	18,92



Gambar 5.12 Grafik Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-100

Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-125

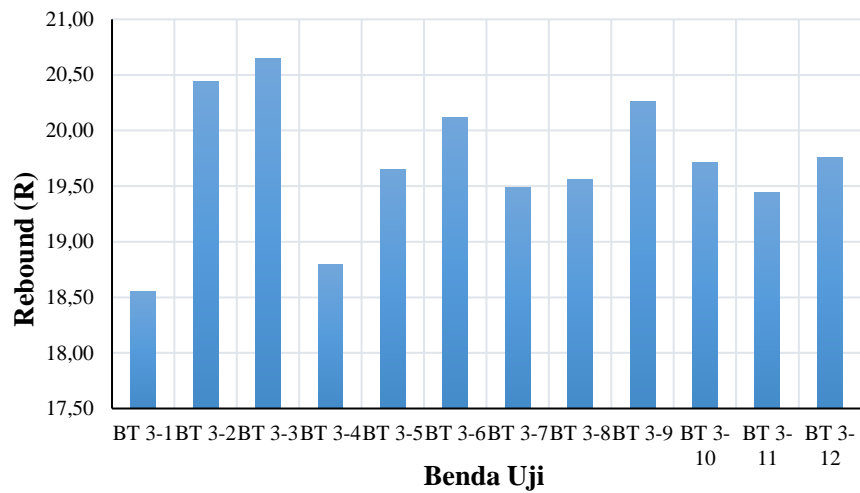
Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 2 - 1	17,46	19,18	20,26	18,97
BT 2 - 2	21,15	18,49	18,71	19,45
BT 2 - 3	16,78	16,89	18,90	17,52
BT 2 - 4	15,91	16,1	16,14	16,05
BT 2 - 5	19,36	16,15	19,06	18,19
BT 2 - 6	15,34	16,53	19,47	17,11
BT 2 - 7	19,42	19,59	19,28	19,43
BT 2 - 8	18,19	18,55	18,32	18,35
BT 2 - 9	18,12	19,13	19,28	18,84
BT 2 - 10	19,19	19,25	17,01	18,48
BT 2 - 11	19,04	19,57	19,10	19,23
BT 2 - 12	19,81	19,34	19,33	19,49



Gambar 5.13 Grafik Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-125

Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-150

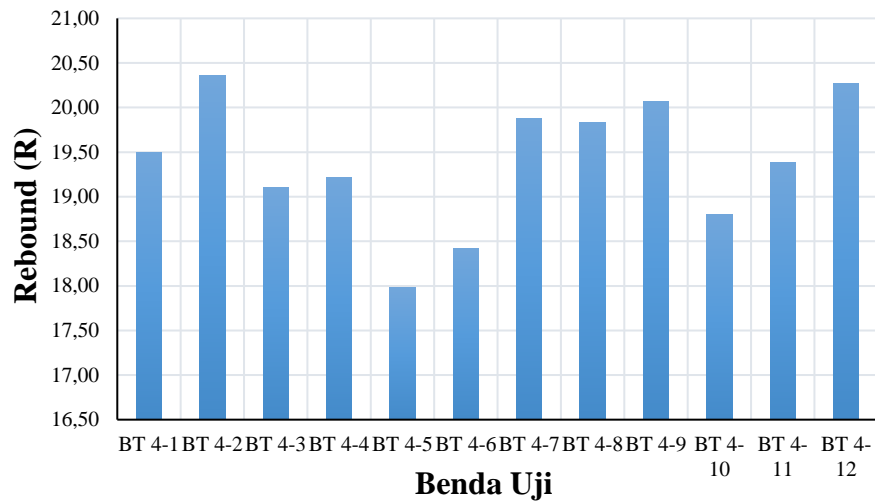
Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 3 - 1	18,11	18,78	17,53	18,14
BT 3 - 2	15,85	16,04	19,41	17,10
BT 3 - 3	15,80	18,06	18,89	17,58
BT 3 - 4	18,08	19,07	19,72	18,95
BT 3 - 5	20,46	18,19	21,01	19,88
BT 3 - 6	20,45	17,79	18,95	19,06
BT 3 - 7	19,55	18,03	18,79	18,79
BT 3 - 8	19,50	19,80	19,97	19,75
BT 3 - 9	18,18	17,77	19,07	18,34
BT 3 - 10	19,26	18,73	20,36	19,45
BT 3 - 11	18,81	19,25	19,39	19,15
BT 3 - 12	18,93	20,03	21,43	20,13



Gambar 5.14 Grafik Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-150

Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-175

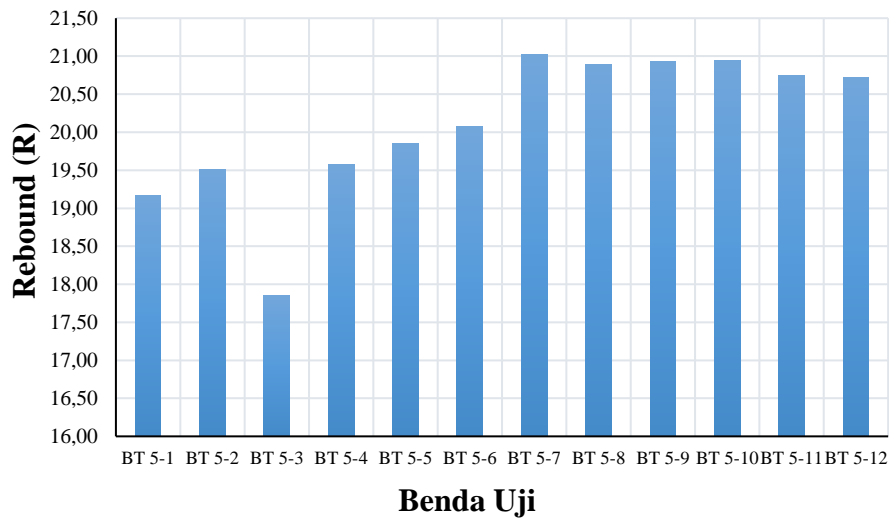
Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 4 - 1	19,96	17,91	20,61	19,49
BT 4 - 2	20,99	20,69	19,39	20,35
BT 4 - 3	17,21	20,07	20,02	19,10
BT 4 - 4	16,72	19,00	21,94	19,22
BT 4 - 5	17,49	18,57	17,89	17,98
BT 4 - 6	17,81	19,74	17,72	18,42
BT 4 - 7	19,35	20,58	19,70	19,87
BT 4 - 8	20,02	19,62	19,86	19,83
BT 4 - 9	20,13	19,89	20,17	20,06
BT 4 - 10	18,63	18,86	18,91	18,80
BT 4 - 11	19,11	19,79	19,262	19,39
BT 4 - 12	20,02	19,92	20,86	20,27



Gambar 5.15 Grafik Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-175

Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-200

Kode Benda Uji	Nilai <i>Rebound</i>			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata
BT 5 - 1	19,57	18,10	19,83	19,16
BT 5 - 2	19,31	19,63	19,60	19,51
BT 5 - 3	17,18	18,40	17,96	17,85
BT 5 - 4	19,60	19,70	19,42	19,57
BT 5 - 5	21,42	18,82	19,33	19,86
BT 5 - 6	20,41	20,6	19,2	20,07
BT 5 - 7	21,19	21,44	20,42	21,01
BT 5 - 8	20,16	20,85	21,66	20,89
BT 5 - 9	21,57	20,66	20,58	20,94
BT 5 - 10	20,30	21,79	20,74	20,94
BT 5 - 11	20,06	20,76	21,42	20,74
BT 5 - 12	21,02	20,84	20,31	20,72



Gambar 5.16 Grafik Hasil Pengujian *Hammer* pada Benda Uji Kubus Mutu K-200

5.7 Hasil Pengujian *UPV*

Pengujian *UPV* dilakukan pada benda uji kubus, dengan 5 variasi mutu beton berjumlah 60 sampel. Pengukuran *UPV* dilakukan dengan meletakkan transducer *UPV* pada jarak tertentu sesuai dengan metode penelitian yang telah ditentukan. Data *UPV* diambil pada area sisi beton yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap benda uji dilakukan 6 kali pengujian *UPV* untuk mendukung akurasi data *UPV*.

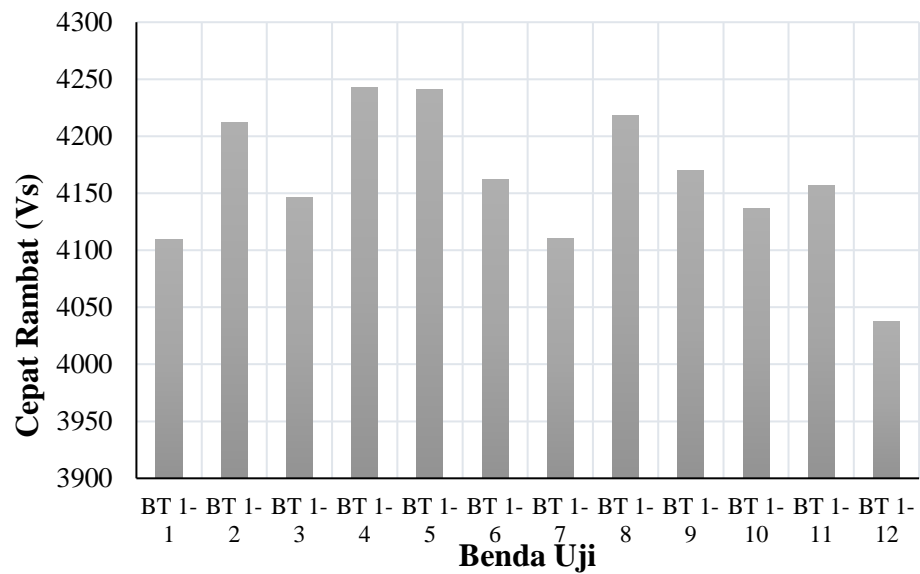
Hasil pengukuran *UPV* berupa kecepatan rambat gelombang. Data pengukuran *UPV* tersebut disajikan pada Tabel 5.29 s.d Tabel 5.33 berikut.

Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-100

No	Kode Benda Uji	Titik <i>UPV</i>	Panjang Sisi mm	<i>Direct Velocity</i> Rata-rata		Nilai rata - rata
				1 m/s	2 m/s	
1	BT 1 - 1	1	149	4209	4269	4109,83
		2	149	4039	4093	
		3	150	4060	3989	
2	BT 1 - 2	1	148	4241	4181	4212,33
		2	151	4148	4230	
		3	150	4237	4237	

**Lanjutan Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian UPV pada Benda Uji
Mutu K-100**

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	Direct Velocity Rata-Rata		Nilai Rata - Rata
				1	2	
			mm	m/s	m/s	
3	BT 1 - 3	1	149	4150	4060	4146,00
		2	148	4205	4066	
		3	149	4150	4245	
4	BT 1 - 4	1	150	4178	4121	4242,33
		2	150	4237	4386	
		3	151	4266	4266	
5	BT 1 - 5	1	151	4266	4059	4241,33
		2	147	4212	4212	
		3	150	4425	4274	
6	BT 1 - 6	1	150	4274	4121	4162,17
		2	149	4269	3984	
		3	149	4209	4116	
7	BT 1 - 7	1	148	4296	4179	4110,17
		2	150	4167	3968	
		3	150	3749	4302	
8	BT 1 - 8	1	149	4289	4217	4218,17
		2	148	4032	4312	
		3	148	4264	4195	
9	BT 1 - 9	1	151	4293	4275	4170,00
		2	150	4012	4092	
		3	151	4173	4175	
10	BT 1 - 10	1	150	4216	4092	4136,83
		2	147	4167	4167	
		3	150	3978	4201	
11	BT 1 - 11	1	149	4109	4197	4157,00
		2	150	4284	4043	
		3	150	4227	4082	
12	BT 1 - 12	1	150	3991	4139	4037,83
		2	150	4167	3924	
		3	151	4021	3985	



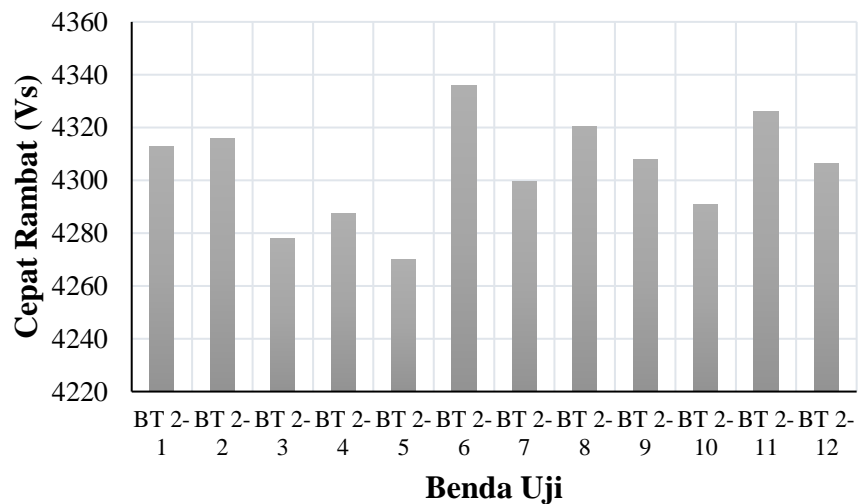
Gambar 5.17 Grafik Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-100

Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-125

No	Kode Benda Uji	Titik <i>UPV</i>	Panjang Sisi mm	<i>Direct Velocity</i> Rata-Rata		Nilai rata-rata
				1 (m/s)	2 (m/s)	
1	BT 2 - 1	1	150	4301	4360	4312,67
		2	151	4204	4327	
		3	149	4390	4294	
2	BT 2 - 2	1	150	4451	4237	4316,00
		2	150	4360	4274	
		3	148	4296	4278	
3	BT 2 - 3	1	151	4302	4327	4278,00
		2	150	4178	4261	
		3	149	4269	4331	
4	BT 2 - 4	1	150	4382	4298	4287,33
		2	151	4327	4206	
		3	150	4274	4237	
5	BT 2 - 5	1	151	4390	4231	4270,00
		2	149	4269	4336	
		3	149	4209	4185	
6	BT 2 - 6	1	149	4370	4375	4335,83
		2	150	4387	4367	
		3	151	4287	4229	
7	BT 2 - 7	1	150	4368	4380	4299,68
		2	151	4201	4345	
		3	148	4233	4272	

Lanjutan Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-125

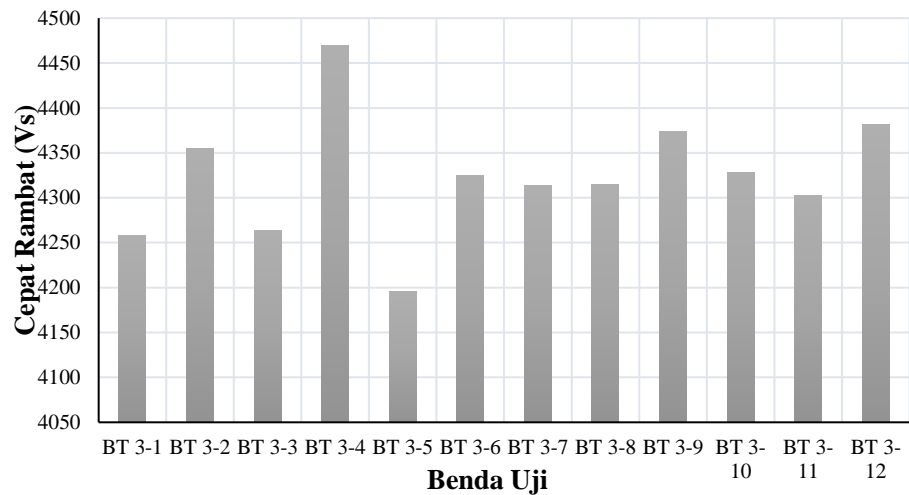
No	Kode Benda Uji	Titik <i>UPV</i>	Panjang Sisi mm	<i>Direct Velocity</i> Rata-Rata		Nilai Rata-Rata
				1 (m/s)	1 (m/s)	
8	BT 2 - 8	1	148	4329	4388	4320,48
		2	149	4254	4301	
		3	151	4371	4280	
9	BT 2 - 9	1	148	4370	4334	4307,77
		2	150	4220	4232	
		3	149	4343	4348	
10	BT 2 - 10	1	148	4327	4325	4290,67
		2	150	4321	4204	
		3	150	4280	4287	
11	BT 2 - 11	1	151	4354	4293	4326,00
		2	149	4307	4329	
		3	150	4359	4313	
12	BT 2 - 12	1	148	4223	4363	4306,53
		2	149	4275	4269	
		3	150	4347	4364	



Gambar 5.18 Grafik Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-125

Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-150

No	Kode Benda Uji	Titik <i>UPV</i>	Panjang Sisi	<i>Direct Velocity</i> Rata-Rata		Nilai Rata-Rata
				1	2	
			mm	m/s	m/s	
1	BT 3 - 1	1	151	4355	4419	4257,50
		2	149	4150	4116	
		3	150	4174	4331	
2	BT 3 - 2	1	150	4116	4521	4355,00
		2	150	4331	4331	
		3	149	4370	4461	
3	BT 3 - 3	1	149	4331	4395	4263,50
		2	151	4148	4148	
		3	150	4261	4298	
4	BT 3 - 4	1	151	4521	4454	4469,17
		2	151	4412	4390	
		3	150	4587	4451	
5	BT 3 - 5	1	151	4302	4327	4195,33
		2	149	4331	3495	
		3	151	4290	4427	
6	BT 3 - 6	1	151	4327	4327	4324,33
		2	149	4395	4276	
		3	151	4415	4206	
7	BT 3 - 7	1	150	4317	4352	4313,50
		2	149	4346	4289	
		3	151	4279	4298	
8	BT 3 - 8	1	150	4338	4268	4315,17
		2	150	4362	4389	
		3	150	4301	4233	
9	BT 3 - 9	1	150	4352	4532	4374,33
		2	149	4473	4213	
		3	150	4370	4306	
10	BT 3 - 10	1	149	4314	4464	4328,00
		2	150	4340	4300	
		3	148	4226	4324	
11	BT 3 - 11	1	150	4290	4312	4302,67
		2	150	4216	4428	
		3	151	4278	4292	
12	BT 3 - 12	1	149	4371	4336	4381,83
		2	150	4391	4398	
		3	150	4484	4311	



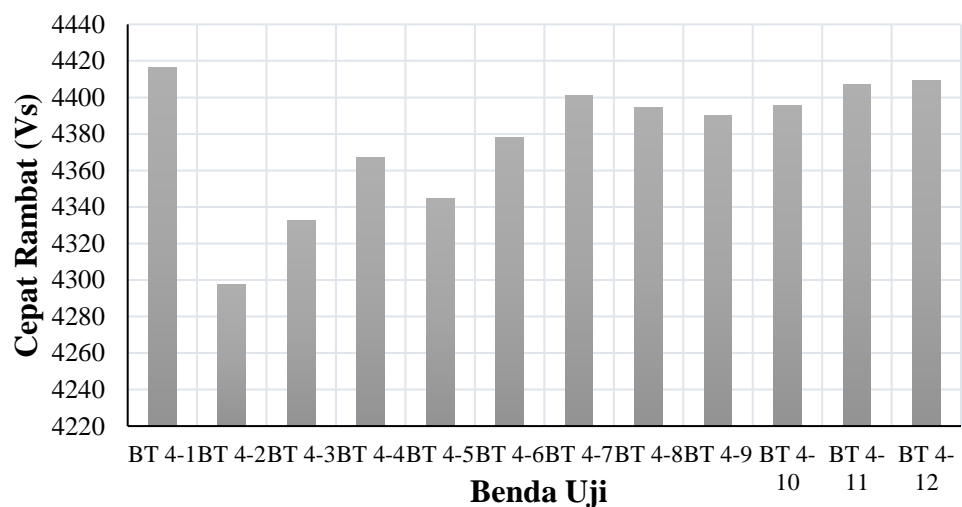
Gambar 5.19 Grafik Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-150

Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-175

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi mm	Direct Velocity Rata-Rata		Nilai Rata-Rata
				1	2	
				(m/s)	(m/s)	
1	BT 4 - 1	1	150	4425	4425	4416,17
		2	150	4437	4360	
		3	150	4425	4425	
2	BT 4 - 2	1	151	4070	4206	4297,67
		2	150	4237	4298	
		3	151	4454	4521	
3	BT 4 - 3	1	150	4298	4425	4332,50
		2	151	4327	4266	
		3	151	4352	4327	
4	BT 4 - 4	1	150	4425	4425	4367,17
		2	150	4335	4298	
		3	150	4360	4360	
5	BT 4 - 5	1	150	4323	4274	4344,83
		2	151	4327	4327	
		3	151	4454	4364	
6	BT 4 - 6	1	151	4092	4529	4378,00
		2	151	4476	4454	
		3	151	4390	4327	
7	BT 4 - 7	1	149	4374	4434	4401,17
		2	150	4448	4352	
		3	151	4384	4415	
8	BT 4 - 8	1	149	4429	4389	4394,50
		2	150	4366	4413	
		3	150	4352	4418	

Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-175

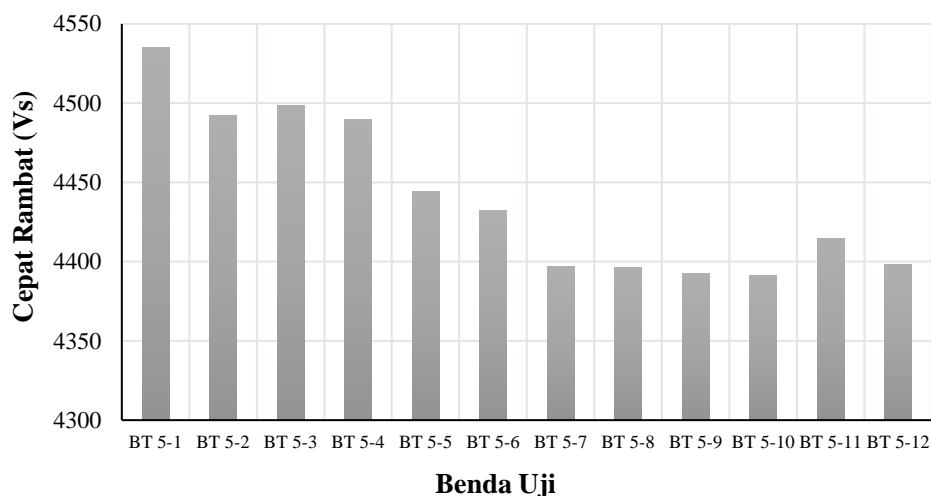
No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi mm	<i>Direct Velocity</i> Rata-Rata		Nilai Rata-Rata
				1	1	
				(m/s)	(m/s)	
9	BT 4 - 9	1	151	4416	4393	4389,83
		2	150	4372	4361	
		3	149	4367	4430	
10	BT 4 - 10	1	150	4407	4368	4395,33
		2	150	4398	4395	
		3	150	4441	4363	
11	BT 4 - 11	1	150	4417	4430	4407,17
		2	150	4382	4436	
		3	148	4362	4416	
12	BT 4 - 12	1	149	4439	4431	4409,33
		2	148	4397	4361	
		3	149	4422	4406	



Gambar 5.20 Grafik Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-175

Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Pengujian *UPV* pada Benda Uji Mutu K-200

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi	<i>Direct Velocity</i> Rata-Rata		Nilai Rata-Rata
				1	2	
			mm	(m/s)	(m/s)	
1	BT 5 - 1	1	150	4521	4521	4535,00
		2	151	4491	4559	
		3	149	4559	4559	
2	BT 5 - 2	1	149	4491	4491	4492,00
		2	149	4360	4360	
		3	150	4660	4590	
3	BT 5 - 3	1	149	4454	4521	4498,67
		2	151	4521	4521	
		3	150	4454	4521	
4	BT 5 - 4	1	151	4559	4518	4490,00
		2	149	4521	4521	
		3	151	4327	4494	
5	BT 5 - 5	1	152	4425	4360	4444,17
		2	146	4360	4399	
		3	150	4630	4491	
6	BT 5 - 6	1	148	4425	4425	4432,00
		2	151	4327	4454	
		3	151	4448	4513	
7	BT 5 - 7	1	150	4430	4426	4396,83
		2	149	4370	4404	
		3	150	4396	4355	
8	BT 5 - 8	1	151	4422	4415	4396,50
		2	148	4376	4359	
		3	150	4409	4398	
9	BT 5 - 9	1	149	4420	4368	4392,33
		2	150	4377	4357	
		3	148	4438	4394	
10	BT 5 - 10	1	151	4432	4356	4391,33
		2	150	4419	4371	
		3	150	4359	4411	
11	BT 5 - 11	1	150	4424	4430	4414,33
		2	149	4445	4365	
		3	150	4438	4384	
12	BT 5 - 12	1	148	4407	4428	4398,33
		2	149	4427	4402	
		3	150	4358	4368	



Gambar 5. 21 Grafik Hasil Pengujian UPV pada Benda Uji Mutu K-200

Berdasarkan Tabel 5.24 s.d Tabel 5.32, dapat disimpulkan bahwa nilai cepat rambat gelombang yang dihasilkan dari pengujian *UPV* secara keseluruhan memenuhi standar yang baik. Kualifikasi kualitas beton pada pengujian *UPV* dapat diketahui berdasarkan nilai cepat rambat gelombang, jika nilai cepat rambat gelombang berada diantara 3500 – 4500 m/s, maka dapat disimpulkan bahwa kualitas beton termasuk 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). Klasifikasi kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombang dapat dilihat pada Tabel 5.34 berikut ini.

Tabel 5.34 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang

Kecepatan Gelombang Longitudinal			Kualitas Beton
Km/(detik.10 ³)	Ft/detik	m/s	
>4,5	> 15	>4500	Sangat bagus
3,50 – 4,50	12 – 15	3500 – 4500	Bagus
3,00 – 3,50	10 – 12	3000 – 3500	Diragukan
2,00 – 3,00	7 – 10	2000 - 3000	Jelek
< 2,00	<7	< 2000	Sangat jelek

Sumber : *International Atomic Energy Agency*, Vienna (2002)

5.8 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 tabel 5.35 berikut ini.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Compressive*, *Hammer*, dan *UPV*

Variasi	Sampel	<i>Compressive Test</i>	<i>Hammer Test</i>	<i>UPV Test</i>
		MPa		m/s
K – 100 ($f'_c = 8,3$ MPa)	BT 1-1	13,80	16,77	4109,83
	BT 1-2	14,70	18,39	4212,33
	BT 1-3	13,30	17,02	4146,00
	BT 1-4	13,90	18,36	4242,33
	BT 1-5	12,80	17,51	4241,33
	BT 1-6	14,20	18,58	4162,17
	BT 1-7	13,30	18,22	4110,17
	BT 1-8	13,20	19,31	4218,17
	BT 1-9	12,70	19,27	4170,00
	BT 1-10	13,40	18,09	4136,83
	BT 1-11	14,10	19,04	4157,00
	BT 1-12	14,50	18,93	4037,83
K – 125 ($f'_c = 10,38$ MPa)	BT 2-1	13,30	18,14	4312,67
	BT 2-2	14,20	17,10	4316,00
	BT 2-3	13,60	17,58	4278,00
	BT 2-4	13,00	18,96	4423,00
	BT 2-5	13,80	19,89	4270,00
	BT 2-6	14,50	19,06	4335,83
	BT 2-7	14,70	18,79	4299,68
	BT 2-8	14,20	19,76	4320,48
	BT 2-9	12,80	18,34	4307,77
	BT 2-10	14,70	19,45	4290,67
	BT 2-11	13,60	19,15	4326,00
	BT 2-12	14,70	20,13	4306,53
K – 150 ($f'_c = 12,45$ MPa)	BT 3-1	14,50	24,30	4257,50
	BT 3-2	14,70	20,60	4355,00
	BT 3-3	15,60	20,64	4263,56
	BT 3-4	17,00	21,60	4469,17
	BT 3-5	17,80	19,65	4195,33
	BT 3-6	17,30	20,11	4324,33
	BT 3-7	15,60	22,30	4313,50
	BT 3-8	15,20	20,40	4315,17

Lanjutan Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Compressive*, *Hammer*, dan *UPV*

Variasi	Sampel	<i>Compressive Test</i>	<i>Hammer Test</i>	<i>UPV Test</i>
		MPa		m/s
K – 150 ($f'c = 12,45$ MPa)	BT 3-9	13,80	20,26	4374,33
	BT 3-10	15,80	19,72	4328,00
	BT 3-11	15,70	20,30	4302,67
	BT 3-12	14,60	19,76	4381,83
K – 175 ($f'c = 14,53$ MPa)	BT 4-1	17,40	19,49	4416,17
	BT 4-2	19,80	20,36	4297,67
	BT 4-3	16,70	19,10	4332,50
	BT 4-4	18,90	19,22	4367,17
	BT 4-5	15,20	17,98	4344,83
	BT 4-6	18,40	18,42	4378,00
	BT 4-7	17,70	19,88	4401,17
K – 175 ($f'c = 14,53$ MPa)	BT 4-8	18,90	19,83	4394,50
	BT 4-9	18,20	20,06	4389,83
	BT 4-10	18,40	18,80	4395,33
	BT 4-11	16,90	19,39	4407,17
	BT 4-12	17,50	20,27	4409,33
K – 200 ($f'c = 16,6$ MPa)	BT 4-1	20,10	19,17	4535,00
	BT 4-2	19,70	19,51	4492,00
	BT 4-3	18,60	17,85	4498,67
	BT 4-4	19,40	19,57	4490,00
	BT 4-5	18,90	22,60	4444,17
	BT 4-6	19,80	20,07	4432,00
	BT 4-7	21,20	21,02	4396,83
	BT 4-8	17,30	20,89	4396,50
	BT 4-9	19,20	23,60	4392,33
	BT 4-10	18,20	20,94	4391,33
	BT 4-11	20,50	23,40	4414,33
	BT 4-12	19,70	20,72	4398,33

Tabel 5.30 di atas menggambarkan bahwa beton yang menggunakan bahan campuran yang sama dapat menghasilkan beberapa variasi dalam kekuatan tekan yang berbeda, walaupun sebagian besar dari nilai-nilai tersebut sudah mencapai nilai kuat tekan yang diharapkan. Perbedaan variasi nilai kuat tekan ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dalam kualitas atau mutu benda uji. Perbedaan kualitas beton dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk proporsi

dan kualitas campuran beton, faktor air semen, gradasi agregat, proses pembuatan beton hingga pemeliharaan.

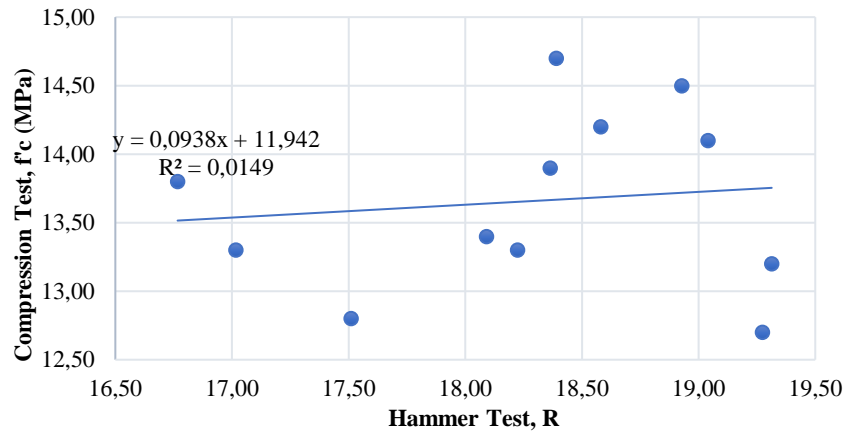
Pengujian kuat desak beton menghasilkan nilai kuat tekan yang diukur dalam satuan pengukuran tekanan yaitu megapascal atau MPa. Satu megapascal setara dengan satuan N/mm^2 . Hasil dari pengujian *hammer test* berupa nilai *rebound*. Hasil dari pengujian *UPV* berupa nilai kecepatan rambat dengan satuan meter per detik (m/s), dimana nilai kecepatan akan berbanding lurus dengan nilai kualitas beton yang dihasilkan, di mana semakin tinggi nilai kecepatan maka nilai kualitas beton pada suatu benda uji juga akan semakin meningkat. Penelitian ini menghasilkan beberapa perbedaan nilai kualitas benda uji, hal tersebut disebabkan oleh perbedaan kerapatan dari masing-masing benda uji. Perbedaan kerapatan masing-masing benda uji ini dapat dipengaruhi oleh proporsi campuran bahan-bahan penyusun beton. (Orio, dkk. 2012)

5.9 Analisis Regresi dan Korelasi

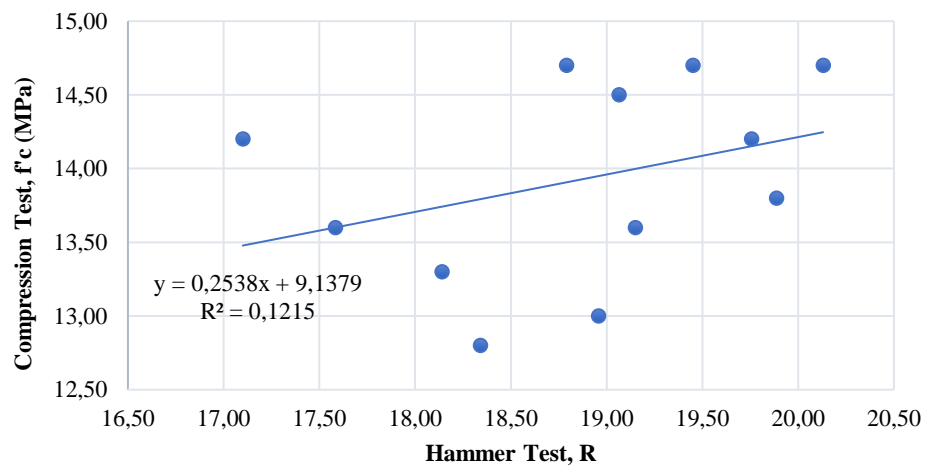
Penelitian ini fokus kepada analisis regresi untuk menggambarkan pola hubungan antara *hammer test* dengan *compression test* dan *ultrasonic pulse velocity test* dengan *compression test*. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menemukan persamaan yang memodelkan korelasi antara hasil dari tiga metode pengujian. Proses analisis dilakukan dengan menggunakan *software Microsoft Excel* yang melibatkan penerapan lima trendline regresi. Dalam setiap regresi, variabel X digunakan untuk mewakili hasil tes *non-destructive*, sementara variabel Y digunakan untuk mencerminkan hasil uji kekuatan tekan beton. Hasil dari analisis regresi dapat dijabarkan pada penjelasan berikut.

5. 9. 1 Analisis Regresi Linier

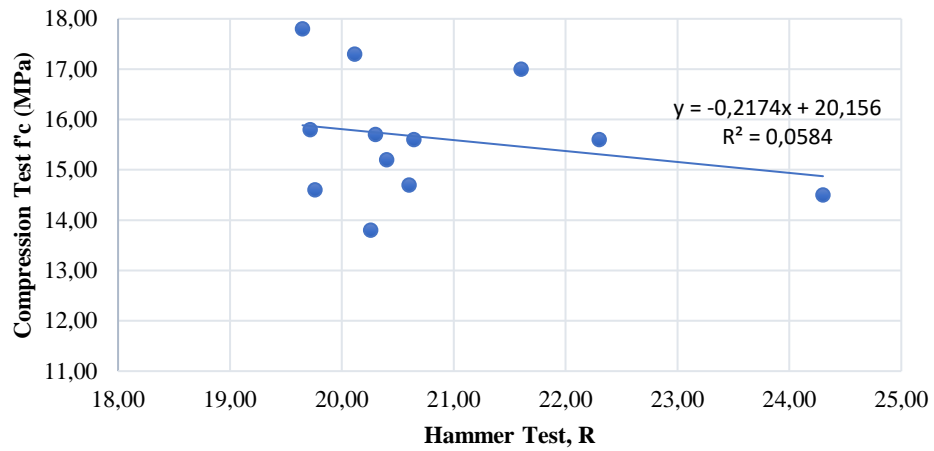
1. Analisis Regresi Linier Sederhana antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



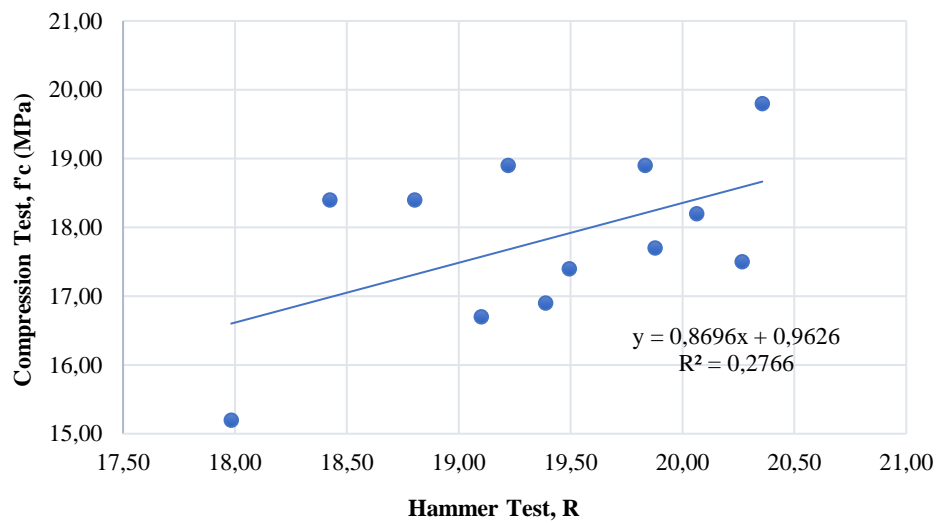
Gambar 5.22 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-100 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



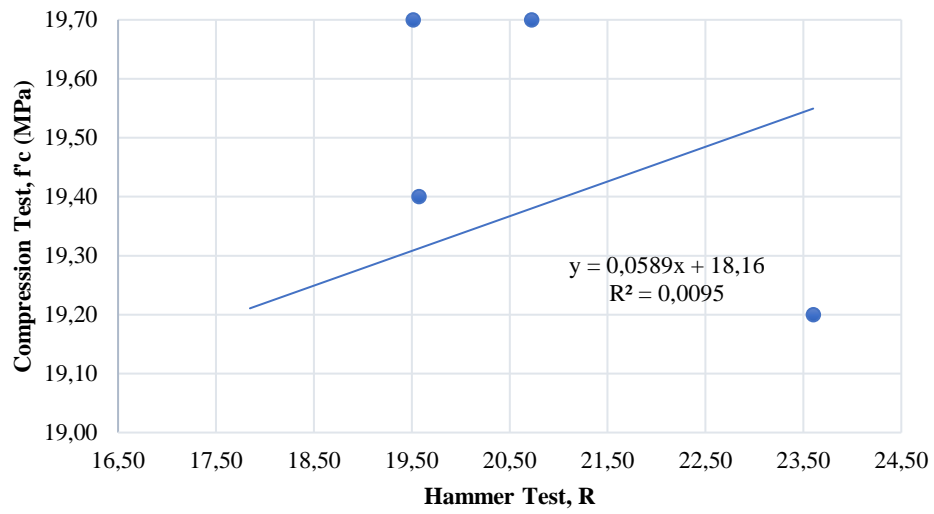
Gambar 5.23 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-125 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



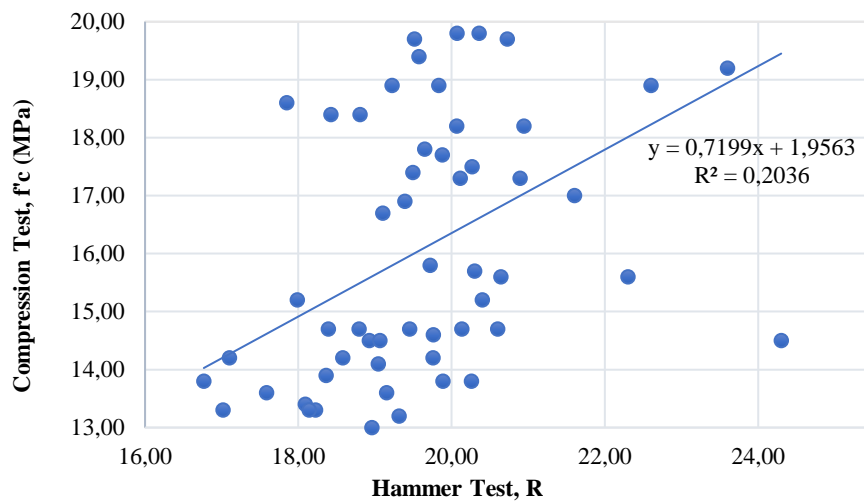
Gambar 5.24 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-150 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.25 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-175 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.26 Regresi Linier Benda Uji Kubus K-200 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



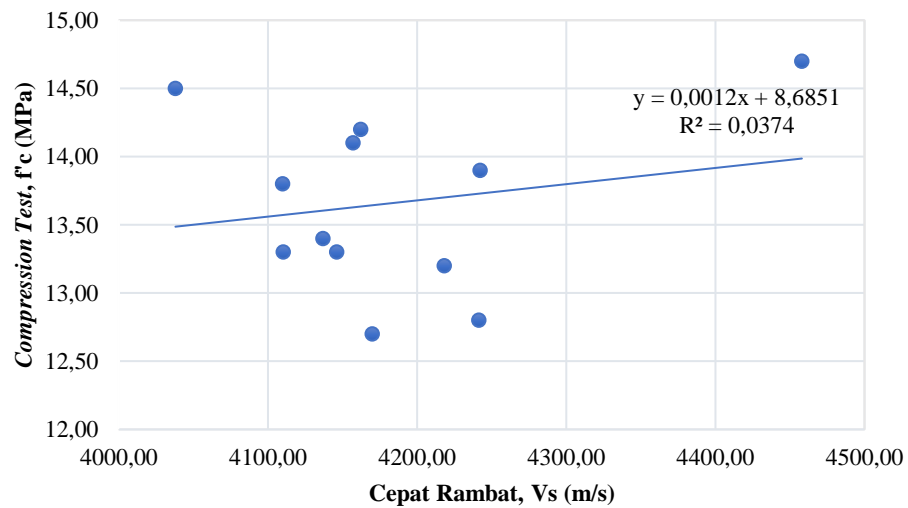
Gambar 5.27 Gabungan Regresi Linier antara pengujian *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

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

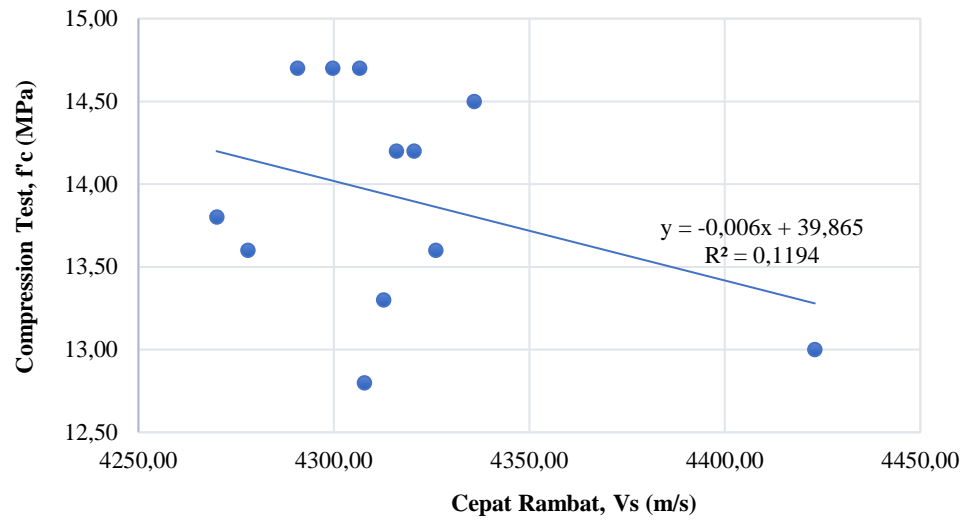
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R^2)
K-100	$Y = 0,0938X + 11,9420$	0,1771
K-125	$Y = 0,2538X + 9,1379$	0,0536
K-150	$Y = -0,2174X + 20,1560$	0,1377
K-175	$Y = 0,8696X + 0,9626$	0,4083
K-200	$Y = 0,0589X + 18,1600$	0,2356
Gabungan	$Y = 0,7199X + 1,9563$	0,5314

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

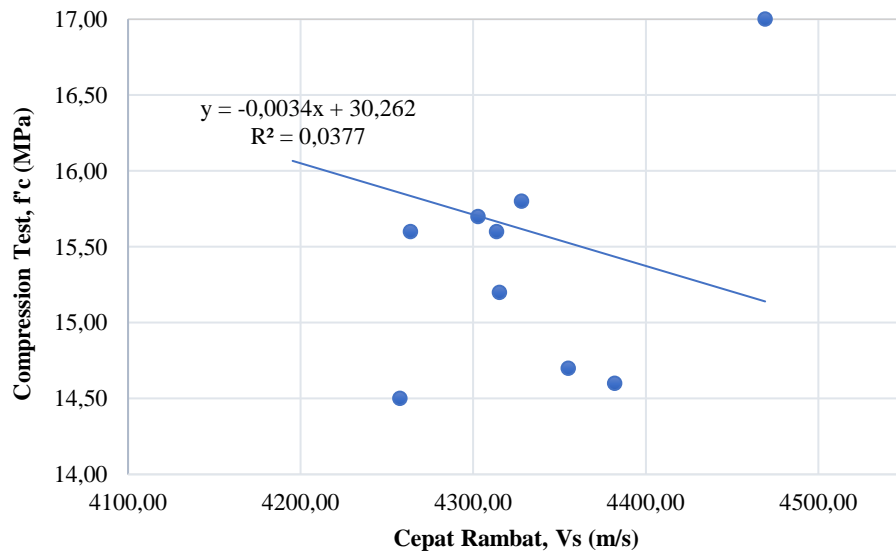
2. Analisis Regresi Linier Sederhana antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



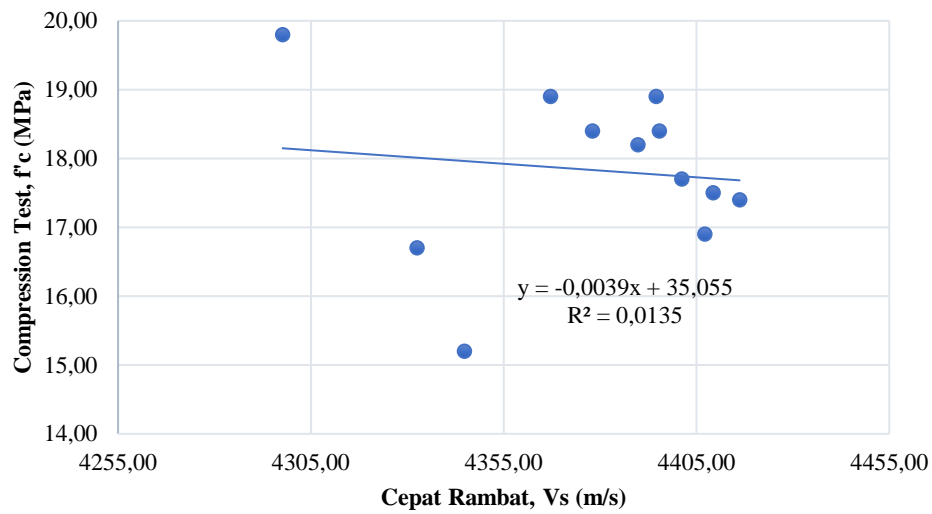
Gambar 5.28 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



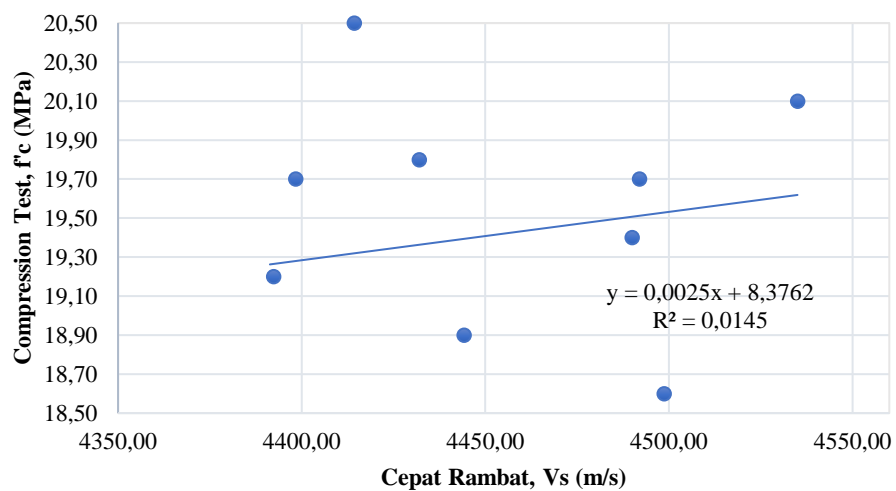
Gambar 5.29 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



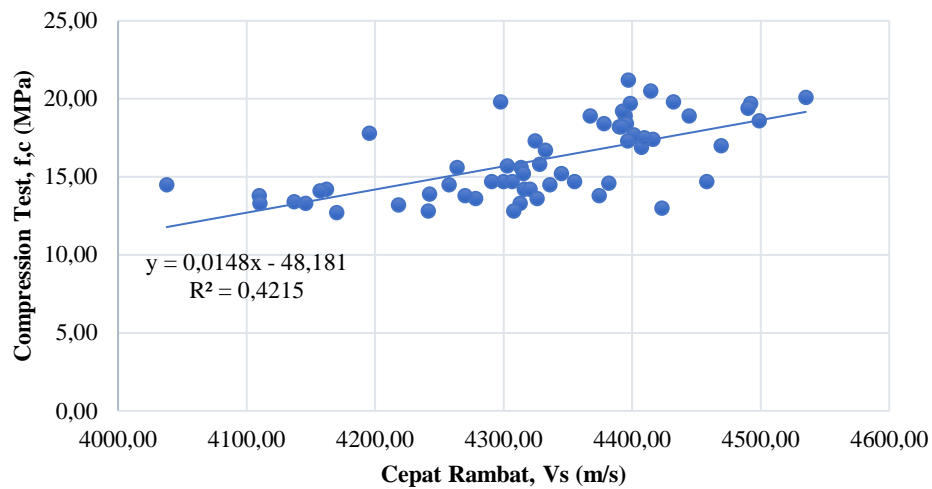
Gambar 5.30 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.31 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.32 Regresi Linier Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.33 Gabungan Regresi Linier antara *UPV Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

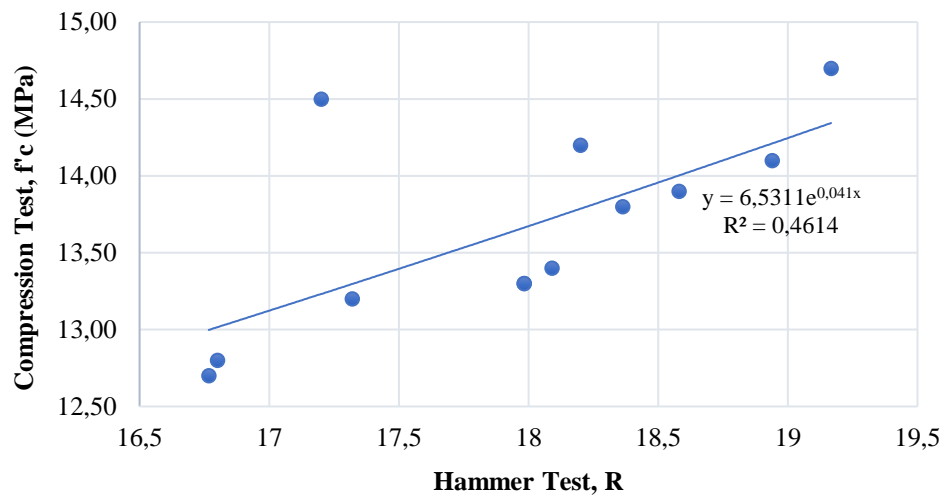
Tabel 5.37 Rekapitulasi Regresi Linier Antara *UPV Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R ²)
K-100	$Y = -0,003X + 31,5$	0,0016
K-125	$Y = 0,0068X - 5,9391$	0,4024
K-150	$Y = -0,0003X + 24,102$	0,2282
K-175	$Y = 0,0111X - 23,641$	0,0358
K-200	$Y = -0,0072X + 59,449$	0,0583
Gabungan	$Y = 0,0131X - 33,014$	0,0708

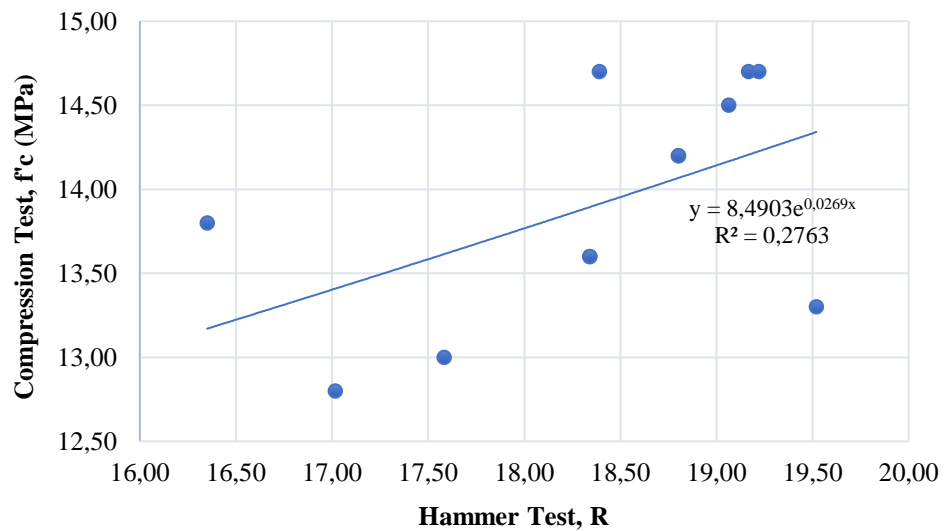
Keterangan : Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = *UPV test* (m/s).

5. 9. 2 Analisis Regresi Eksponensial

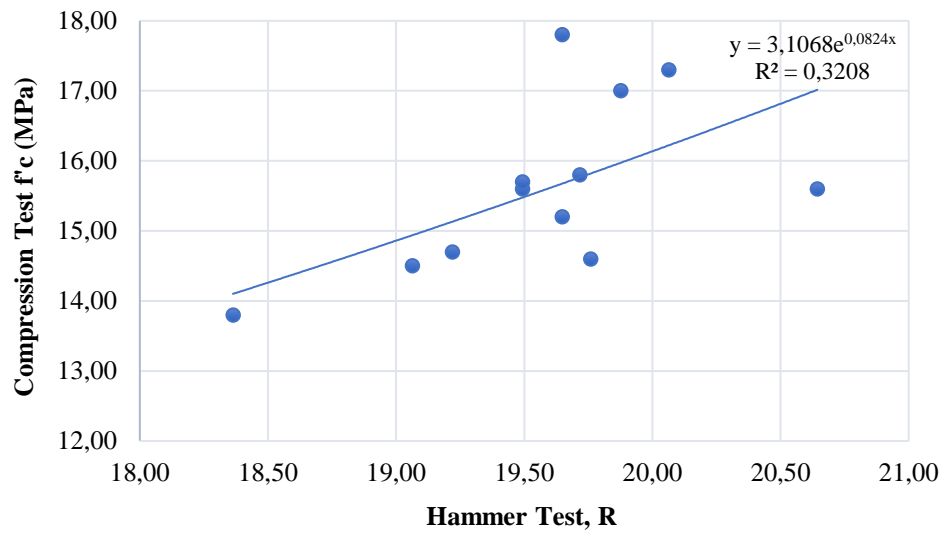
1. Analisis Regresi Eksponensial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



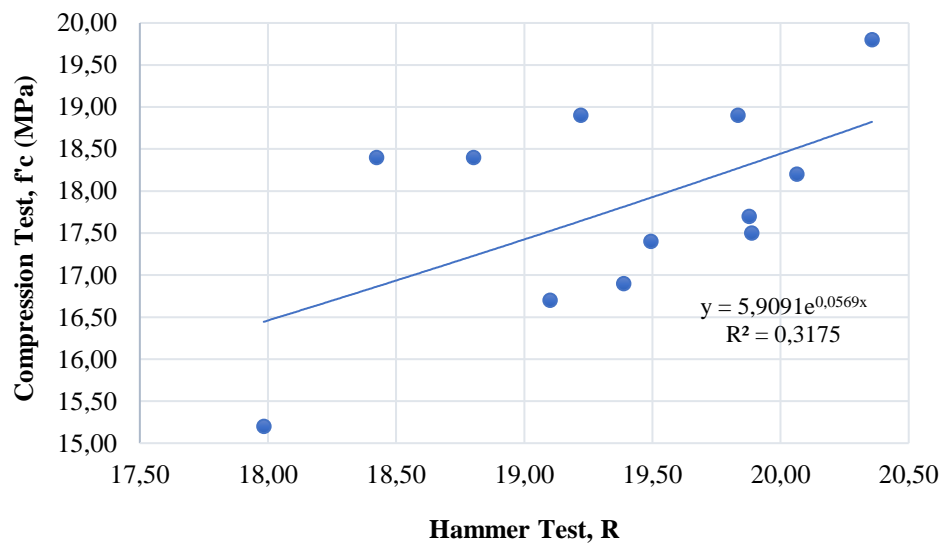
Gambar 5.34 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



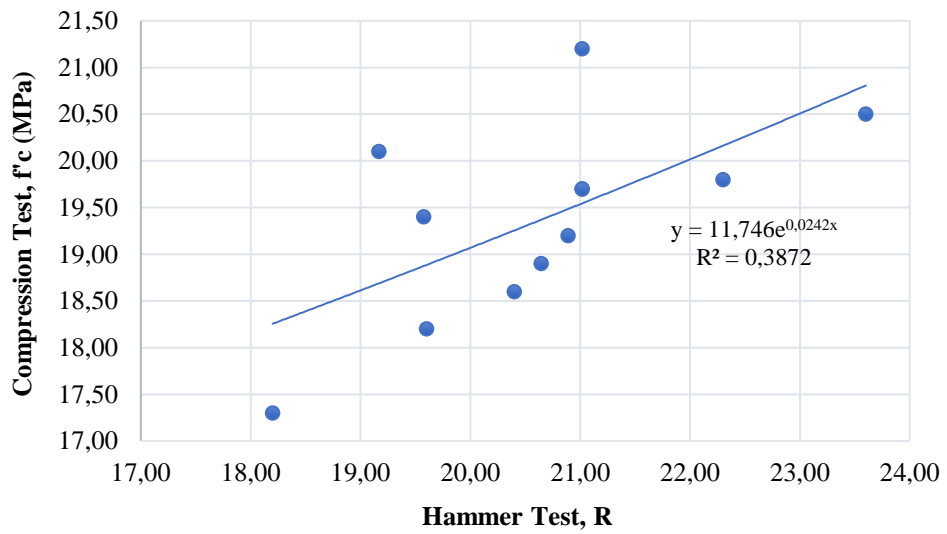
Gambar 5.35 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



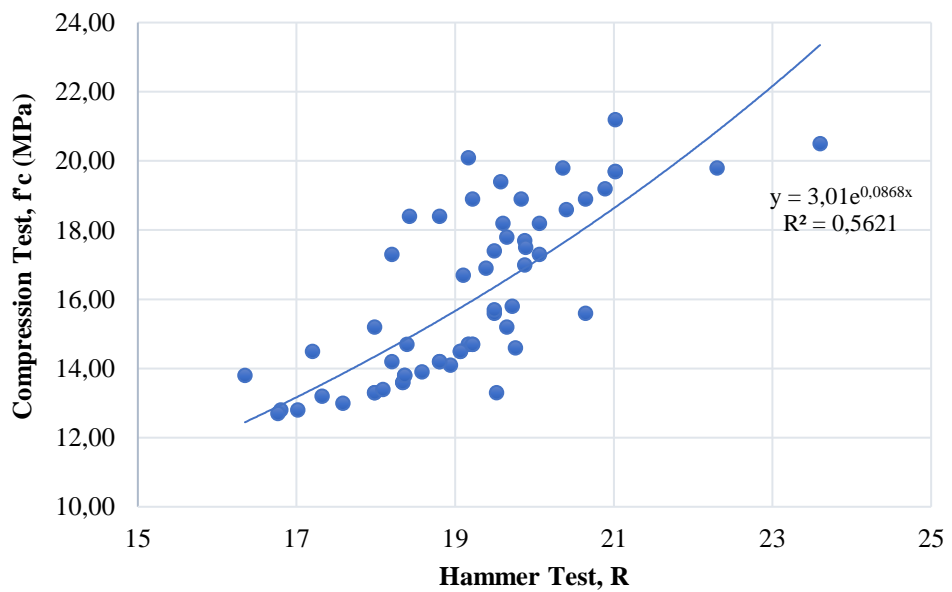
Gambar 5.36 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.37 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.38 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



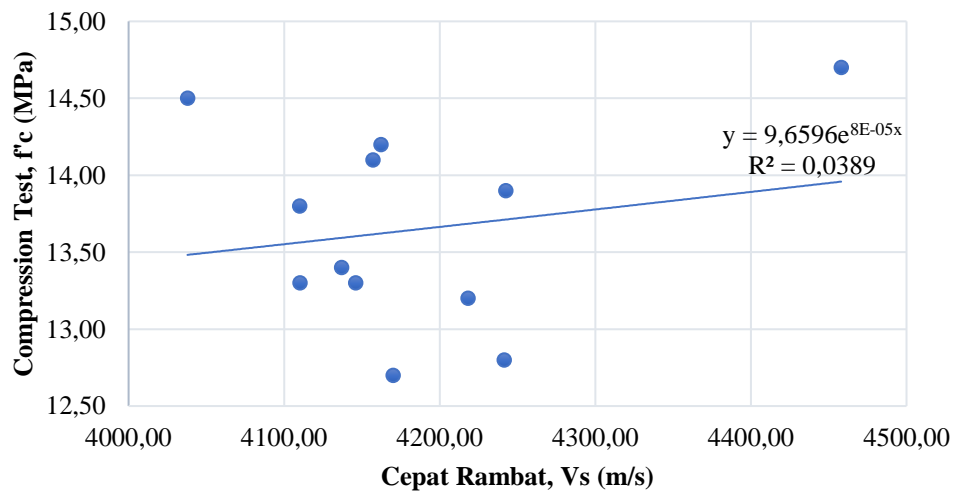
Tabel 5.38 Gabungan Regresi Eksponensial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.39 Rekapitulasi Regresi Eksponensial Antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

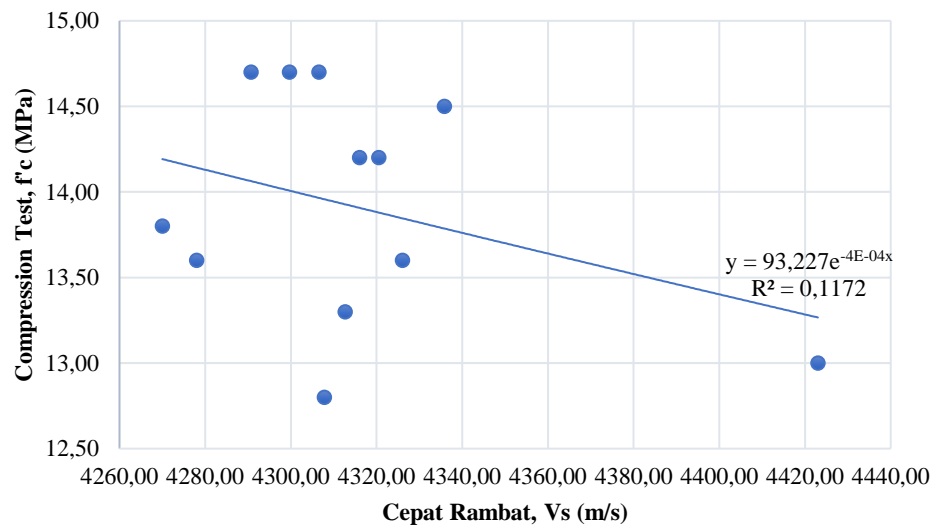
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R^2)
K-100	$Y = 6,5311e^{0,041X}$	0,4614
K-125	$Y = 8,4903e^{0,0269X}$	0,2763
K-150	$Y = 3,1068e^{0,0824X}$	0,3208
K-175	$Y = 5,9091e^{0,0569X}$	0,3175
K-200	$Y = 11,746e^{0,0242X}$	0,3872
Gabungan	$Y = 3,01e^{0,0868X}$	0,5621

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

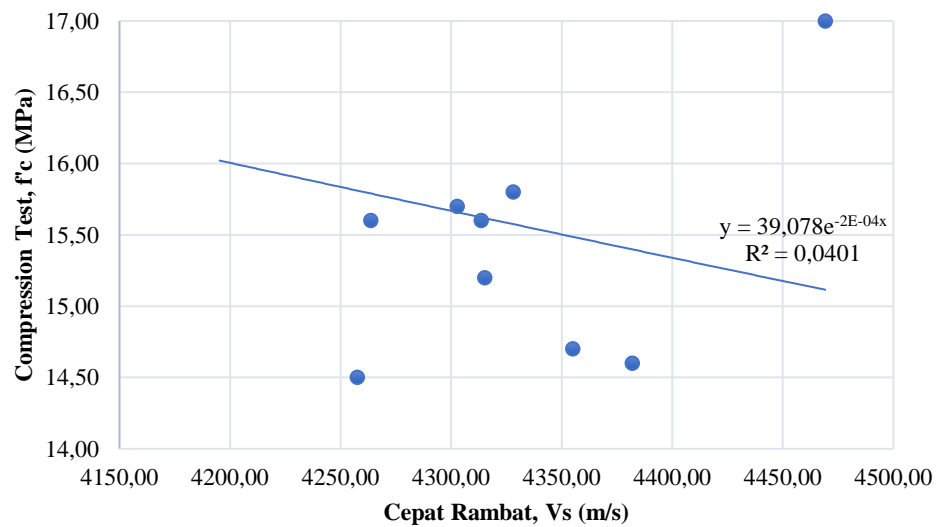
2. Analisis Regresi Eksponensial antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



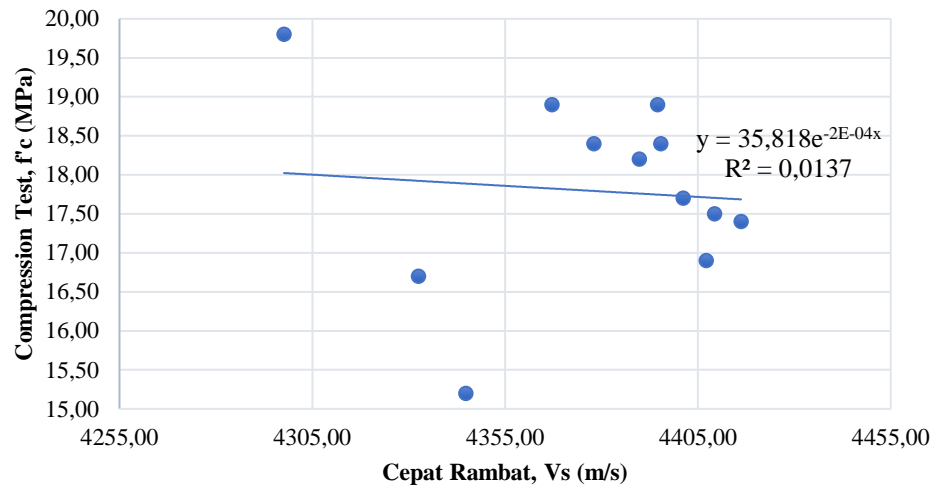
Gambar 5.39 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



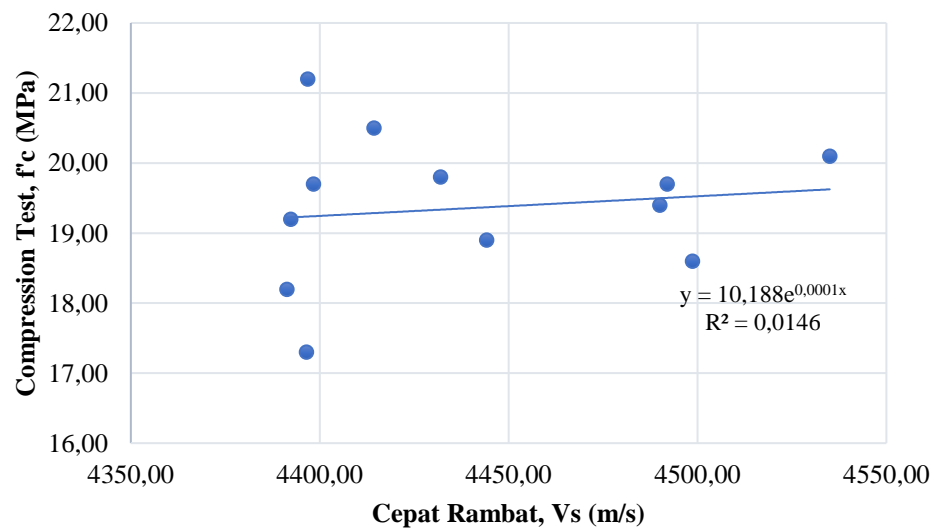
Gambar 5.40 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



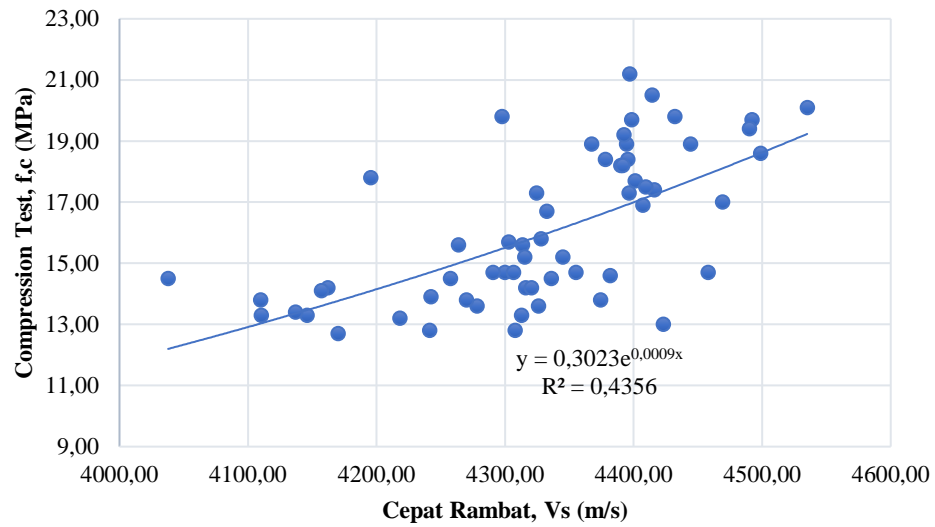
Gambar 5.41 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.42 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.43 Regresi Eksponensial Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.44 Gabungan Regresi Eksponensial antara *UPV Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

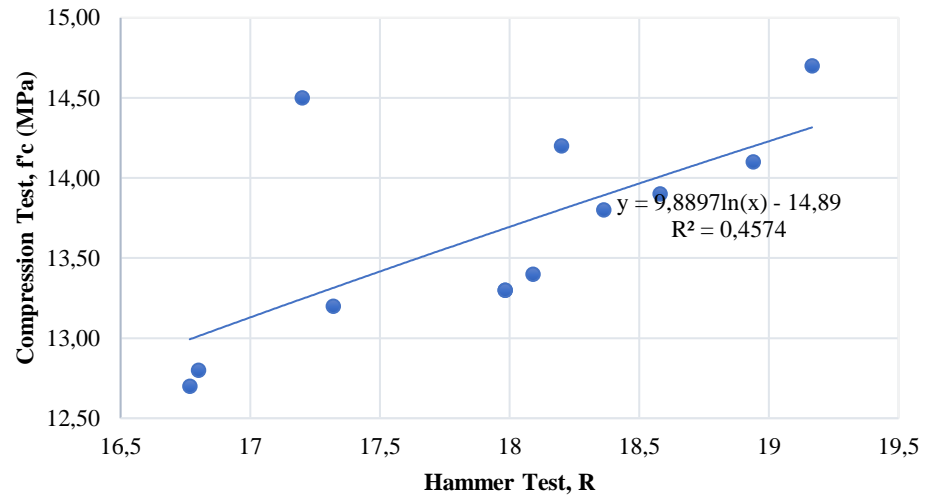
Tabel 5.40 Rekapitulasi Regresi Eksponensial Antara *UPV Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R^2)
K-100	$Y = 9,6596e^{8E-05X}$	0,0389
K-125	$Y = 93,227e^{-4E-04X}$	0,1172
K-150	$Y = 39,078e^{-2E-04X}$	0,0401
K-175	$Y = 35,818e^{-2E-04X}$	0,0137
K-200	$Y = 10,188e^{0,0001X}$	0,0146
Gabungan	$Y = 0,3023e^{0,0009X}$	0,4356

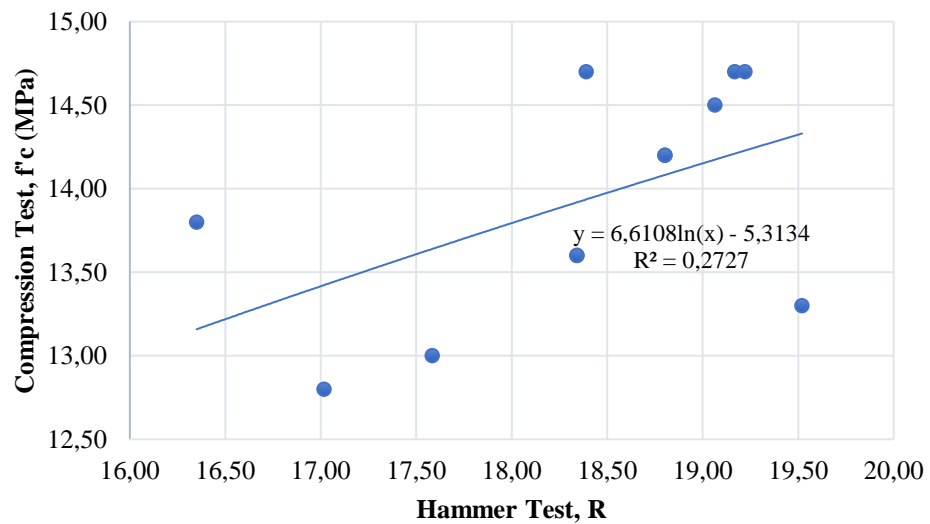
Keterangan : Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = *UPV test* (m/s).

5. 9. 3 Analisis Regresi Logaritmik

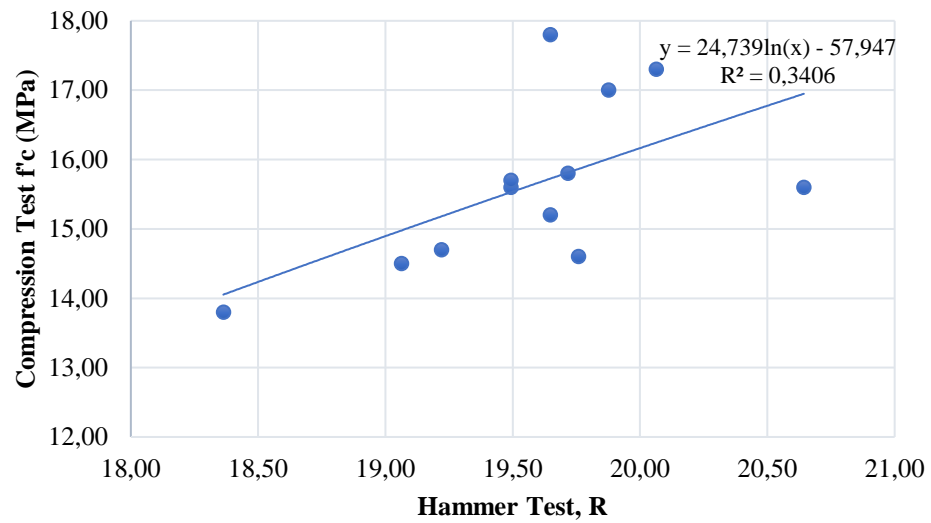
1. Analisis Regresi Logaritmik antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



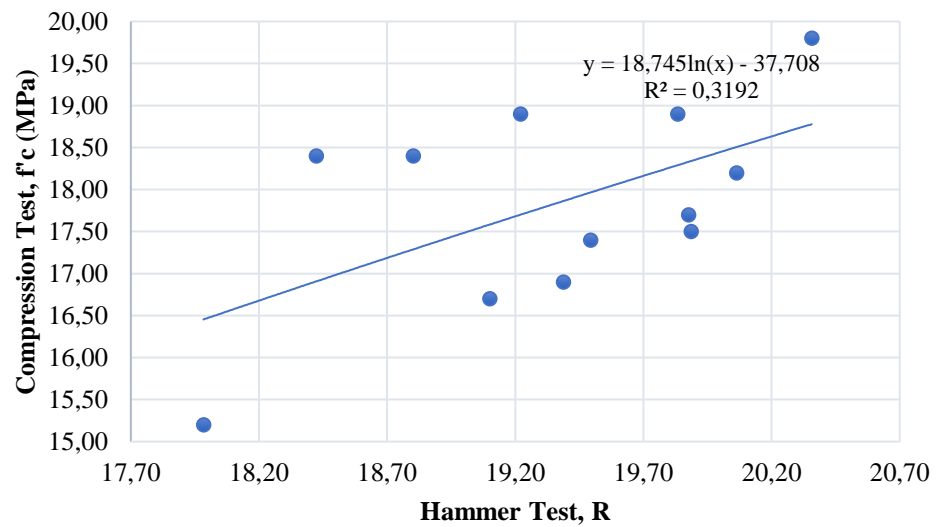
Gambar 5.45 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



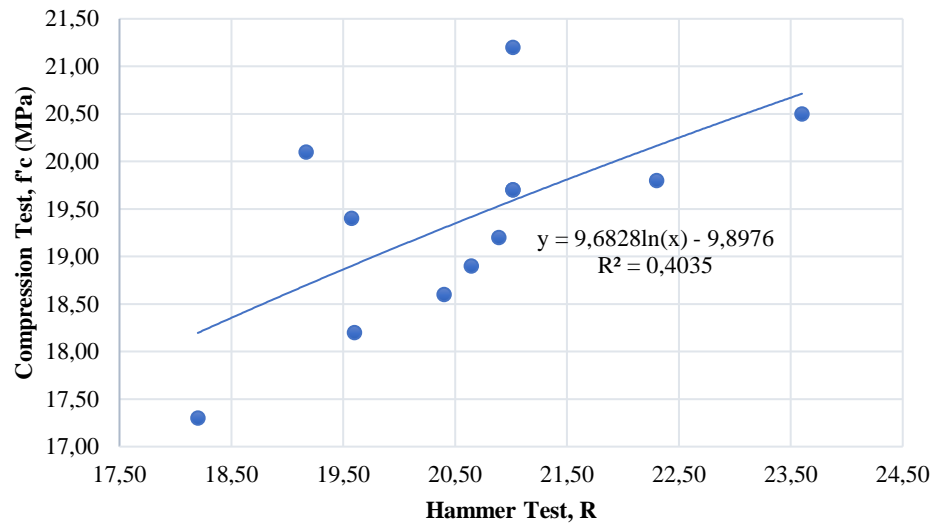
Gambar 5.46 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



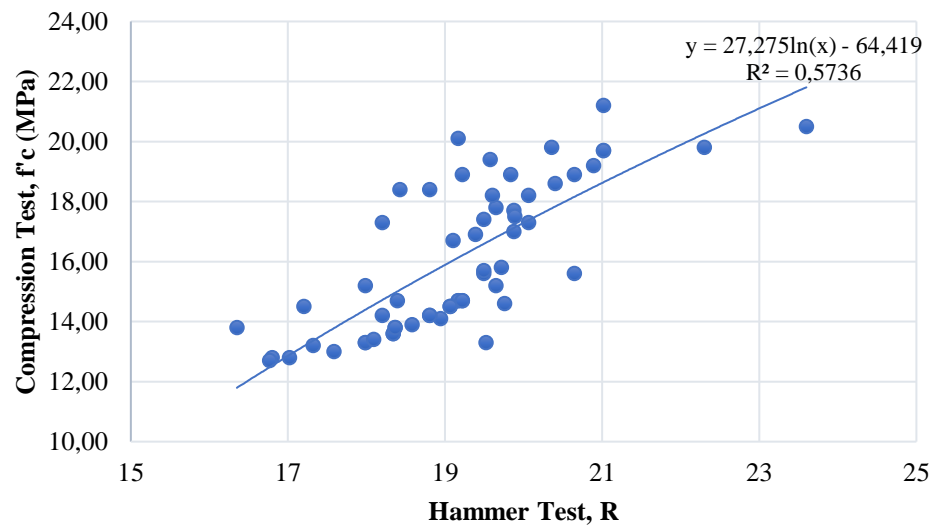
Gambar 5.47 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.48 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.49 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



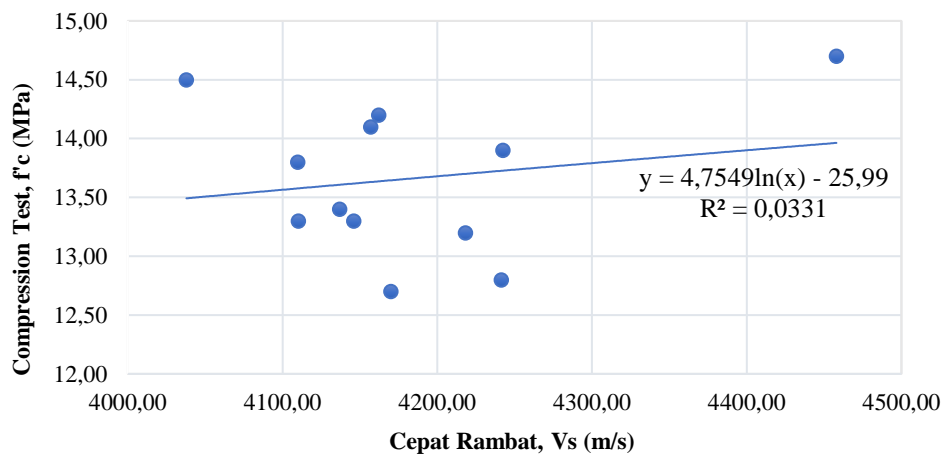
Gambar 5.50 Gabungan Regresi Logaritmik antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.41 Rekapitulasi Regresi Logaritmik antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

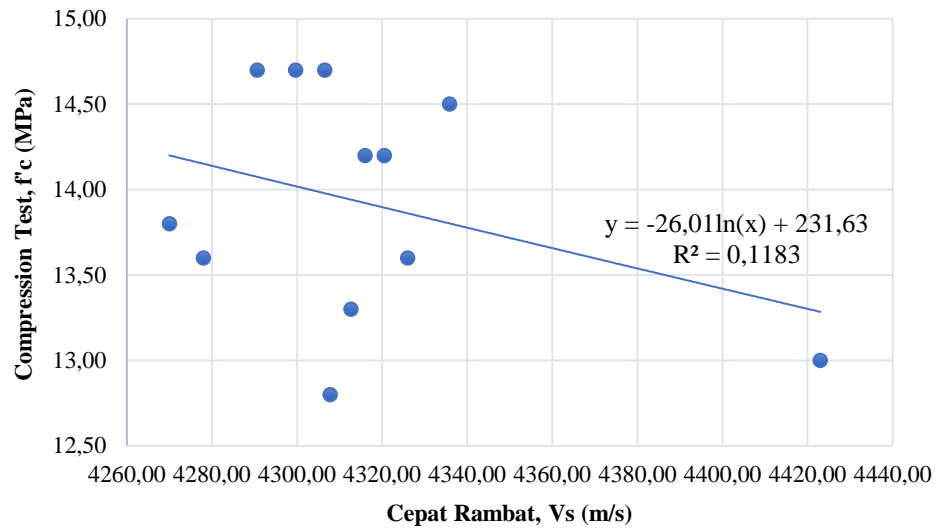
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R ²)
K-100	$Y = 9,8897\ln(X) - 14,89$	0,4574
K-125	$Y = 6,6108\ln(X) - 5,3134$	0,2727
K-150	$Y = 24,739\ln(X) - 57,947$	0,3406
K-175	$Y = 18,745\ln(X) - 37,708$	0,3192
K-200	$Y = 9,6828\ln(X) - 9,8976$	0,4035
Gabungan	$Y = 27,275\ln(X) - 64,419$	0,5736

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

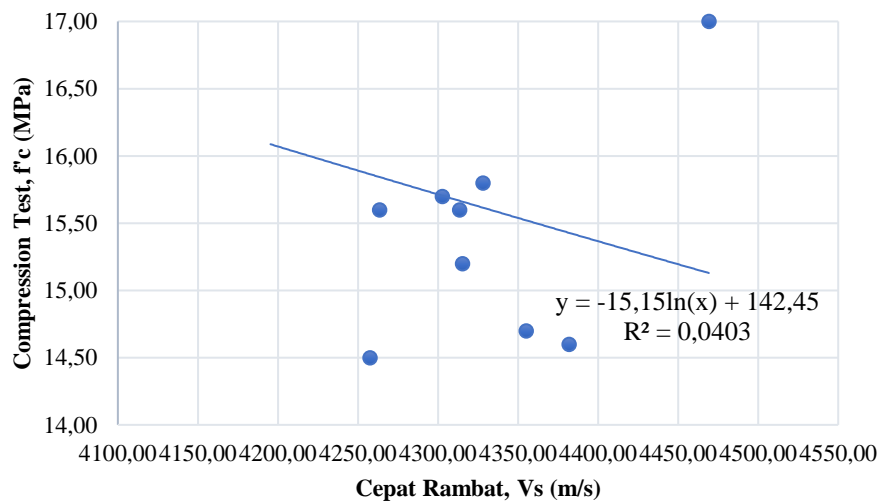
2. Analisis Regresi Logaritmik antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



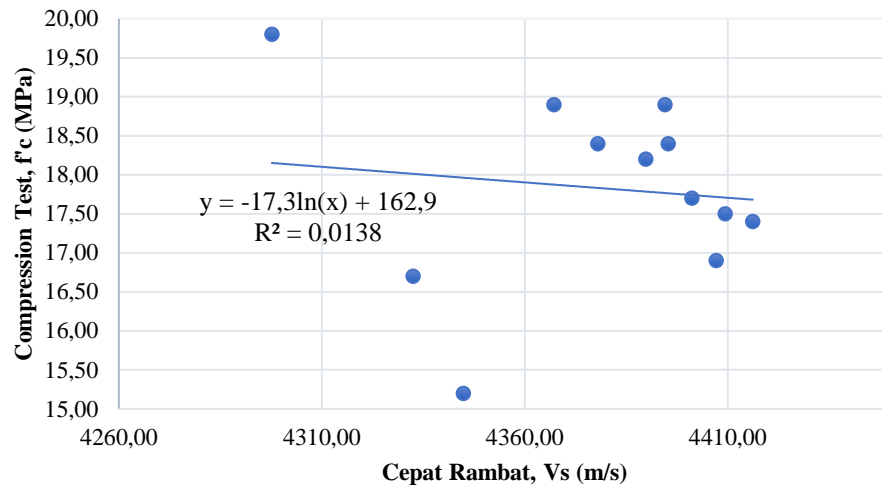
Gambar 5.51 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



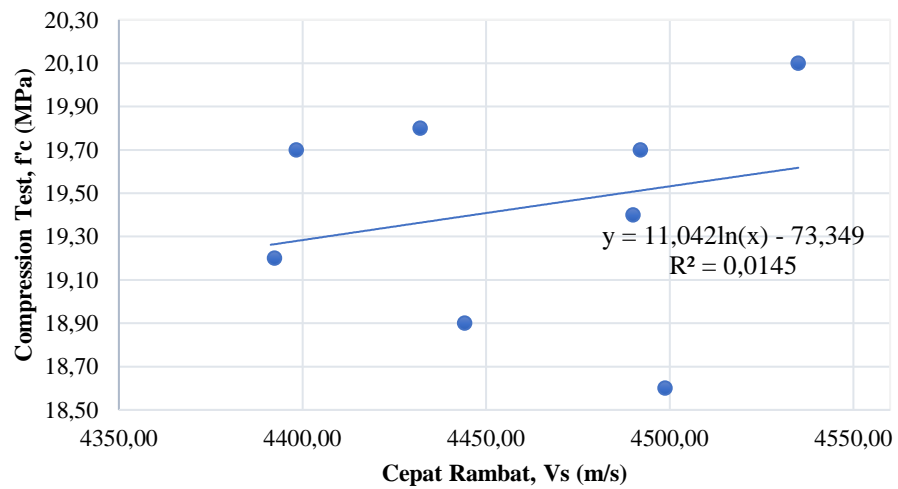
Gambar 5.52 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara *UPV* Test dengan *Compression Test*



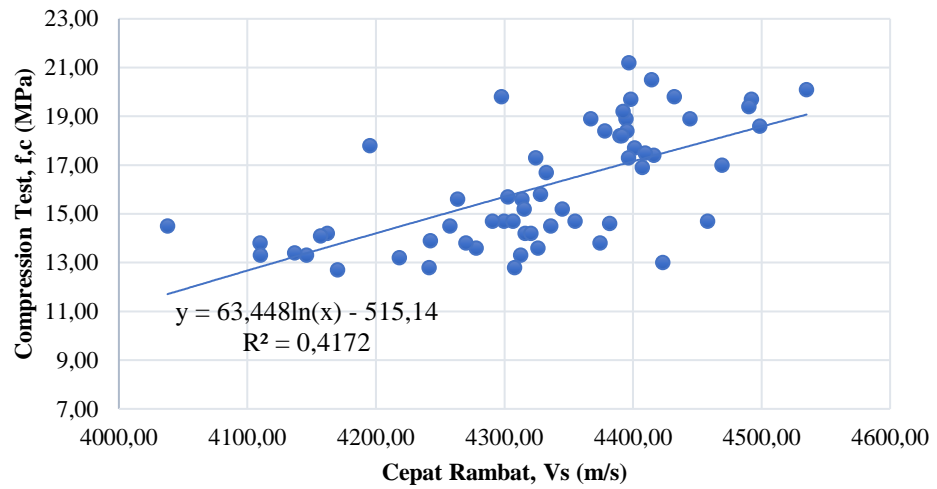
Gambar 5.53 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara *UPV* Test dengan *Compression Test*



Gambar 5.54 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.55 Regresi Logaritmik Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.56 Gabungan Regresi Logaritmik antara *UPV Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

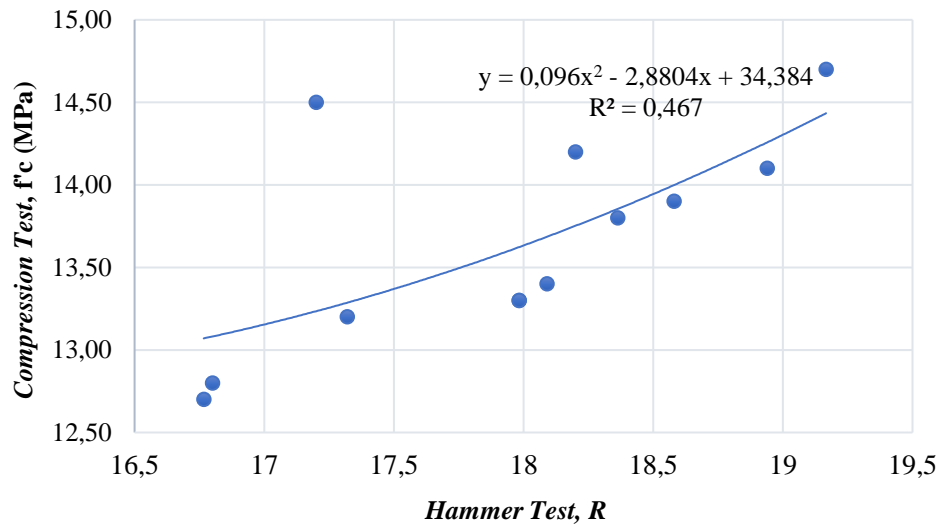
Tabel 5.42 Rekapitulasi Regresi Logaritmik antara *UPV Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R^2)
K-100	$Y=4,7549 \ln(x) - 25,99$	0,0331
K-125	$Y=-26,01\ln(x) + 231,63$	0,1183
K-150	$Y=-15,15 \ln(x) + 142,45$	0,0403
K-175	$Y= -17,3 \ln(x) + 162,9$	0,0138
K-200	$Y=11,042 \ln(x) - 73,349$	0,0145
Gabungan	$Y= 63,448\ln(x) - 515,14$	0,4172

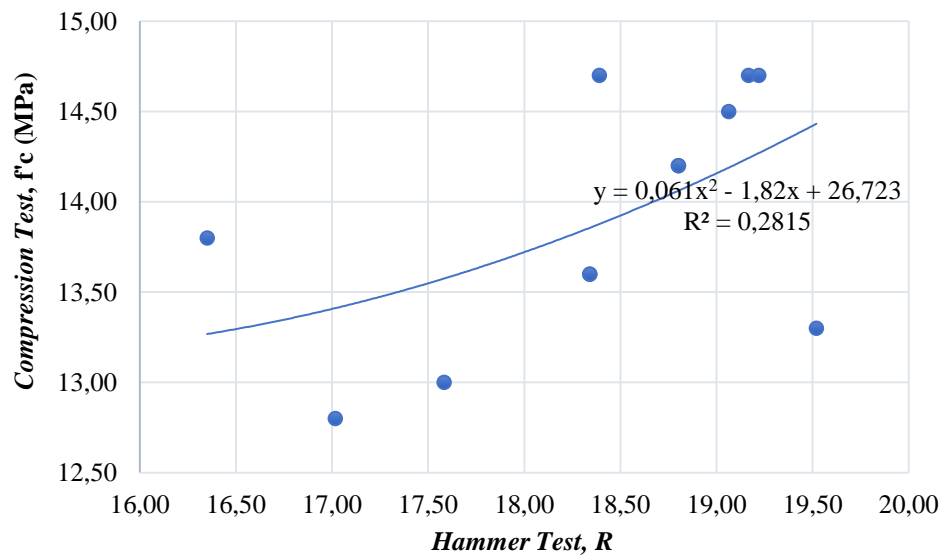
Keterangan : \hat{Y} = nilai kuat tekan beton (MPa), X = *UPV test* (m/s).

5. 9. 4 Analisis Regresi Polinomial

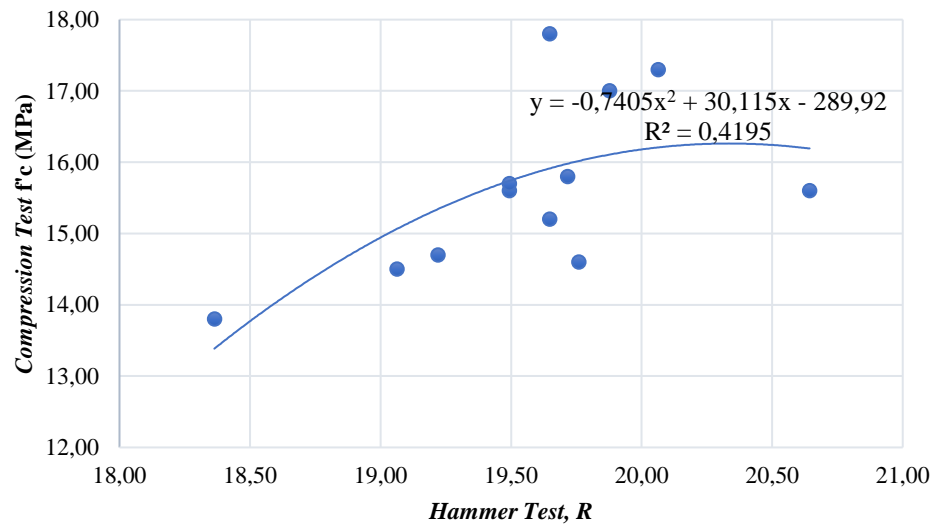
1. Analisis Regresi Polinomial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



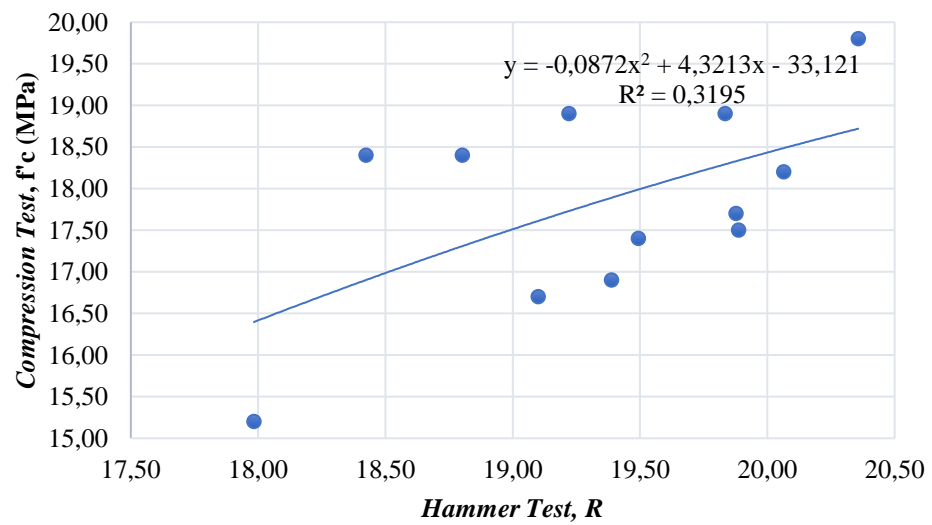
Gambar 5.57 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



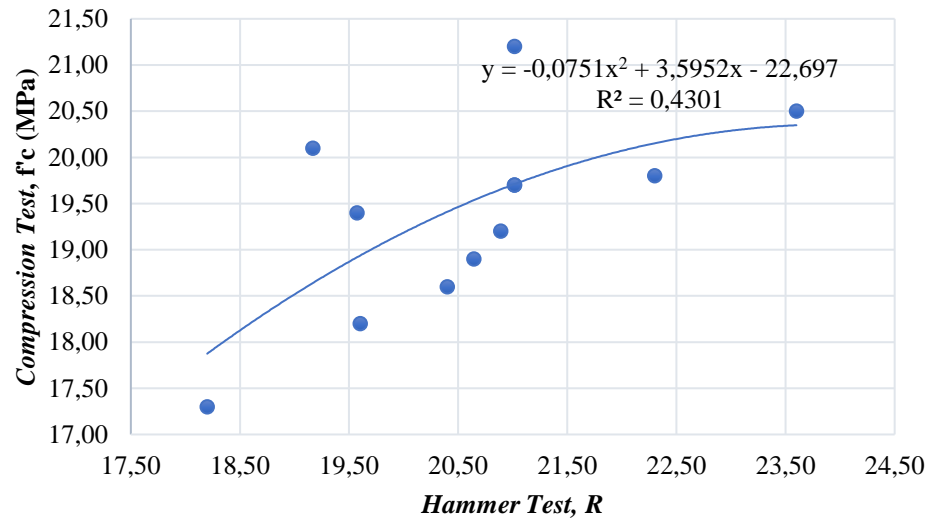
Gambar 5.58 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



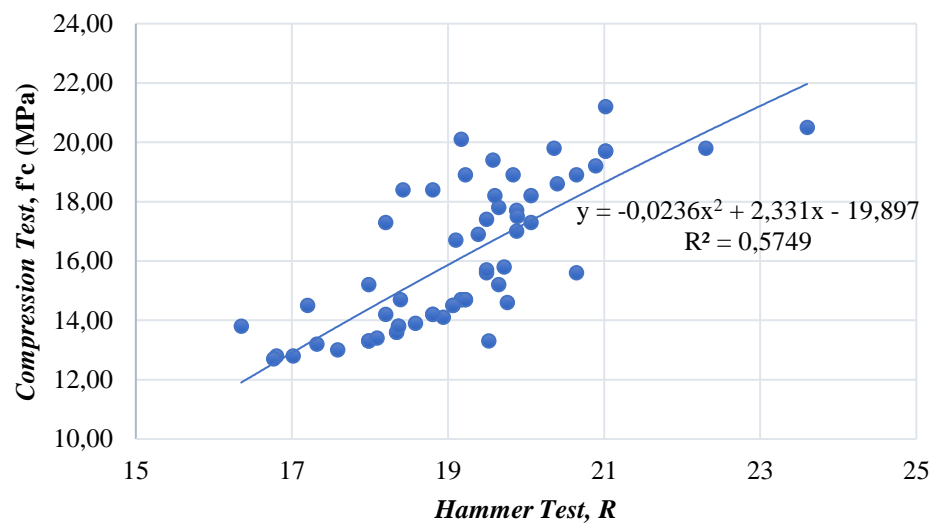
Gambar 5.59 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.60 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.61 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



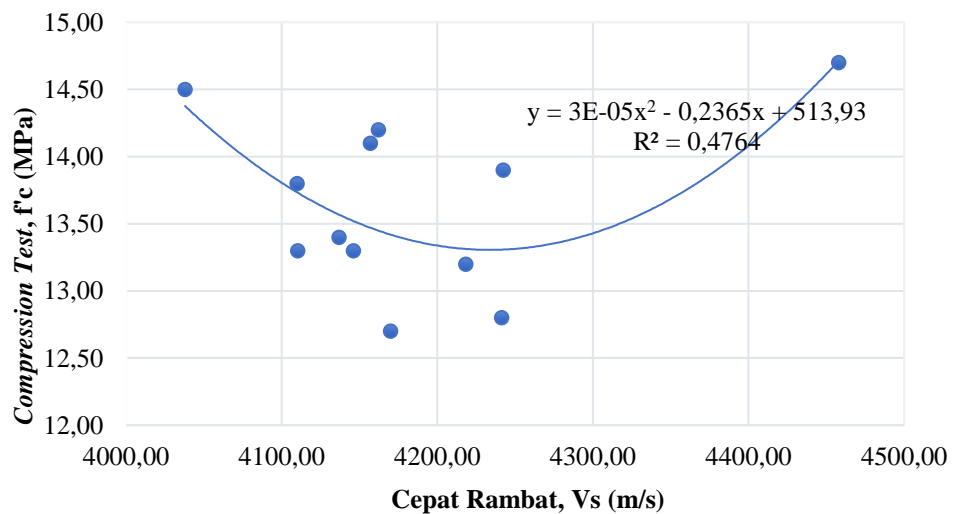
Gambar 5.62 Gabungan Regresi Polinomial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.43 Rekapitulasi Regresi Polinomial antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

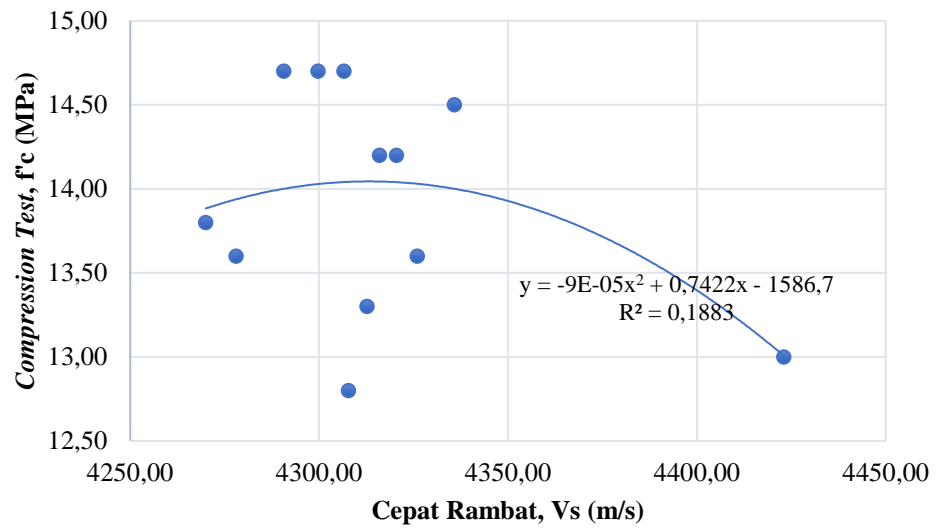
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R ²)
K-100	$Y = 0,096X^2 - 2,8804X + 34,384$	0,467
K-125	$Y = 0,061X^2 - 1,82X + 26,723$	0,2815
K-150	$Y = -0,7405X^2 + 30,115X - 289,92$	0,4195
K-175	$Y = -0,0872X^2 + 4,3213X - 33,121$	0,3195
K-200	$Y = -0,0751X^2 + 3,5952X - 22,697$	0,4301
Gabungan	$Y = -0,0236X^2 + 2,331X - 19,897$	0,5749

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

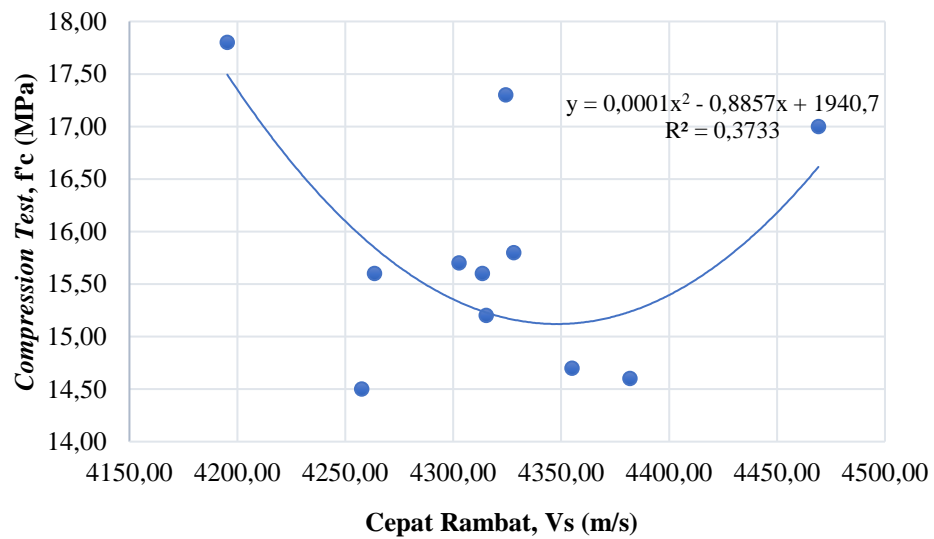
2. Analisis Regresi Polinomial antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



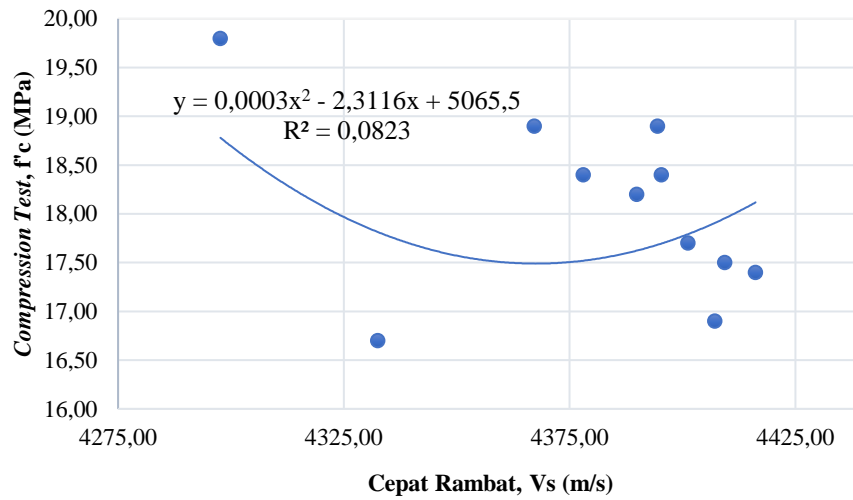
Gambar 5.63 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



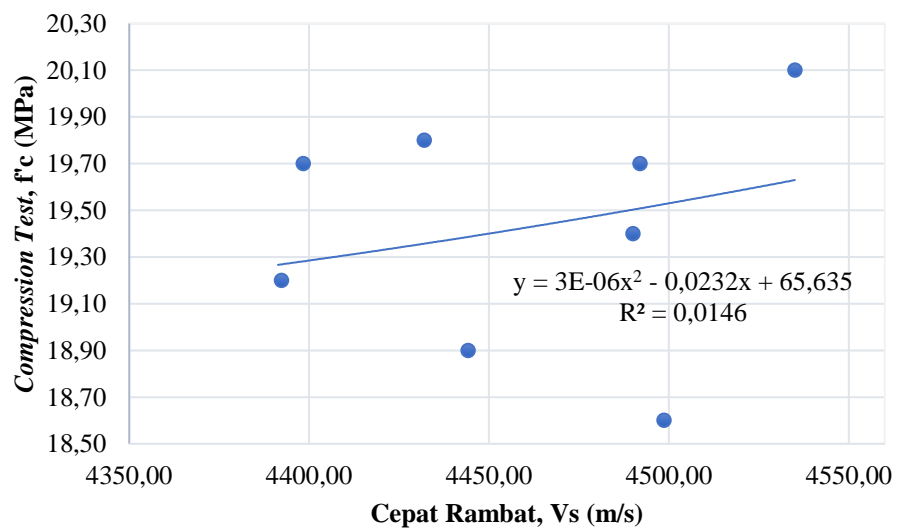
**Gambar 5.64 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara UPV
Test dengan Compression Test**



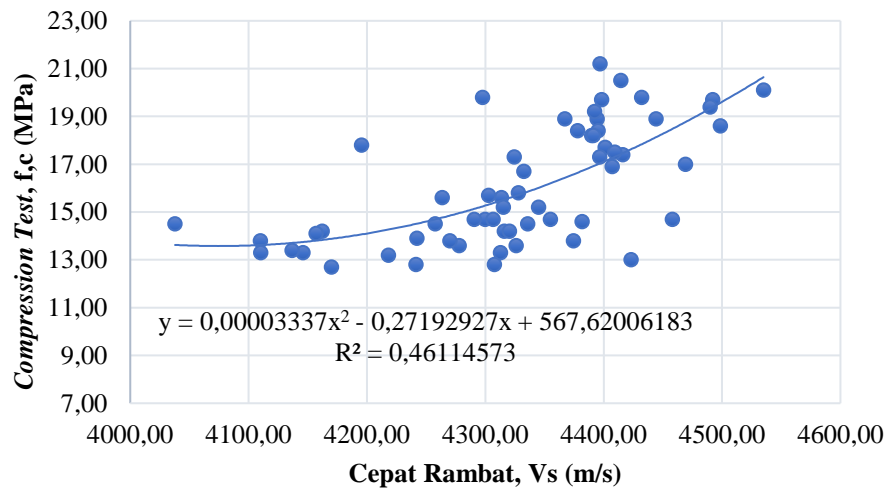
**Gambar 5.65 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara UPV
Test dengan Compression Test**



**Gambar 5.66 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara UPV
Test dengan Compression Test**



**Gambar 5.67 Regresi Polinomial Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara UPV
Test dengan Compression Test**



Gambar 5.68 Gabungan Regresi Polinomial antara *UPV Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

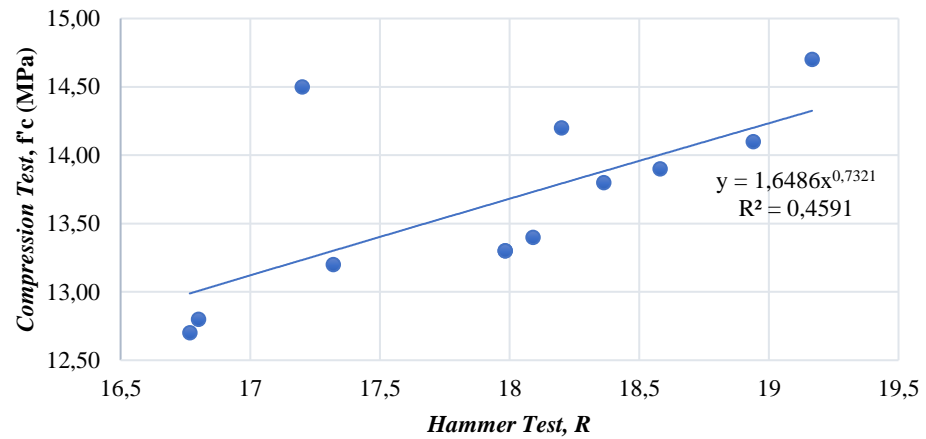
Tabel 5.44 Rekapitulasi Regresi Polinomial antara *UPV Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R^2)
K-100	$Y = 3E-05x^2 - 0,2365x + 513,93$	0,4764
K-125	$Y = -9E-05x^2 + 0,7422x - 1586,7$	0,1183
K-150	$Y = 0,0001x^2 - 0,8857x + 1940,7$	0,3733
K-175	$Y = 0,0003x^2 - 2,3116x + 5065,5$	0,0823
K-200	$Y = 0,000006x^2 - 0,0232x + 65,635$	0,0146
Gabungan	$Y = 3E-05x^2 - 0,2719x + 567,62$	0,4611

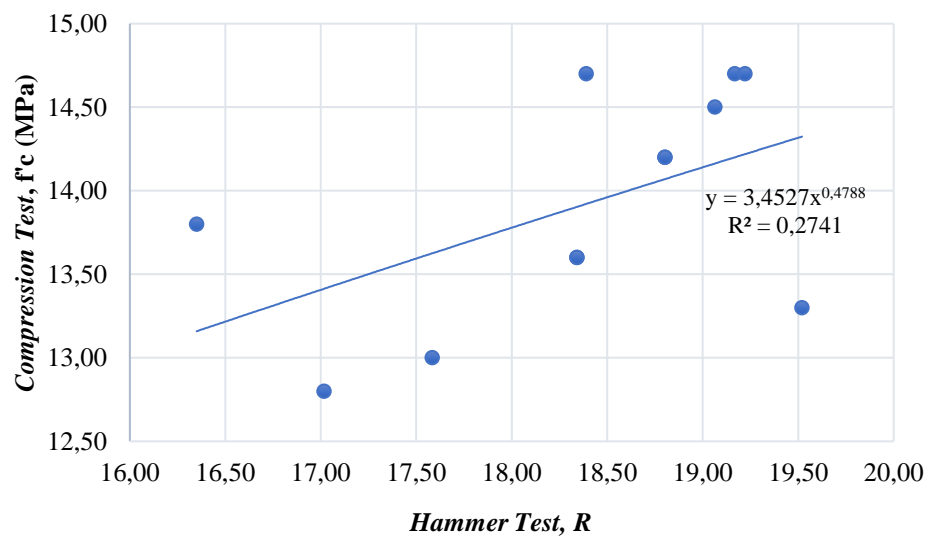
Keterangan : Y = nilai kuat tekan beton (MPa), X = *hammer test*.

5.9.5 Analisis Regresi Power

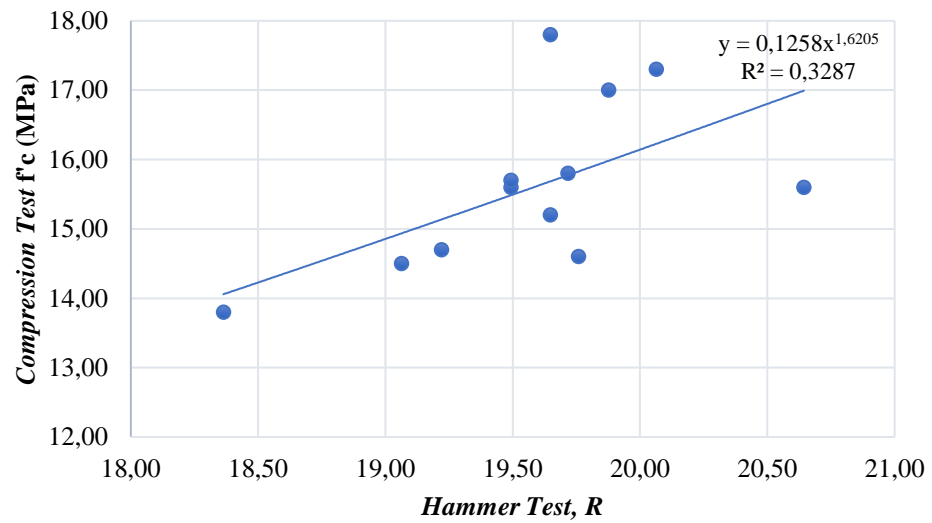
1. Analisis Regresi *Power* antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



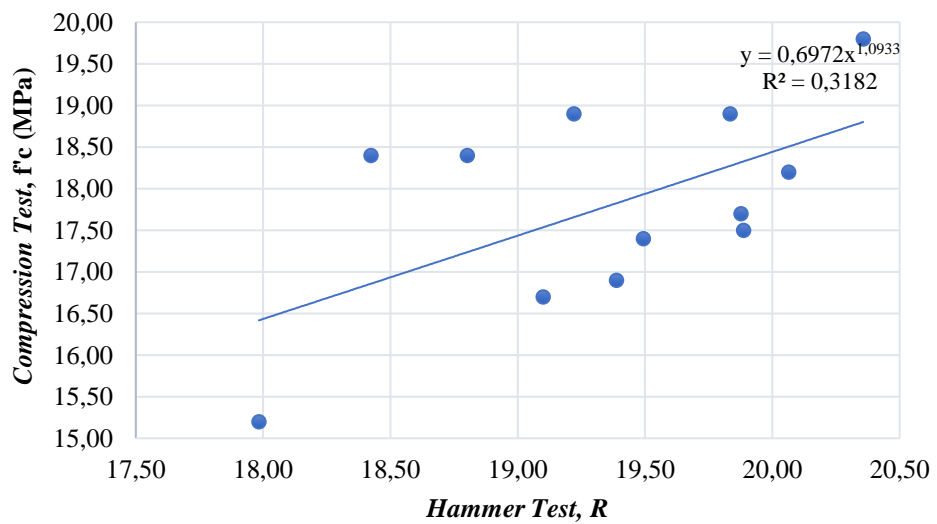
Gambar 5.69 Regresi *Power* Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



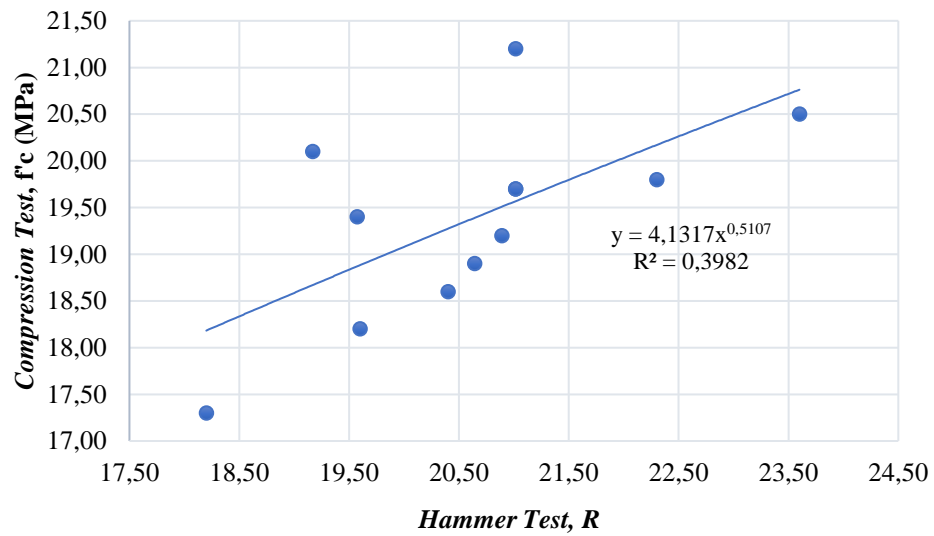
Gambar 5.70 Regresi *Power* Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.71 Regresi Power Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.72 Regresi Power Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.73 Regresi Power Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*



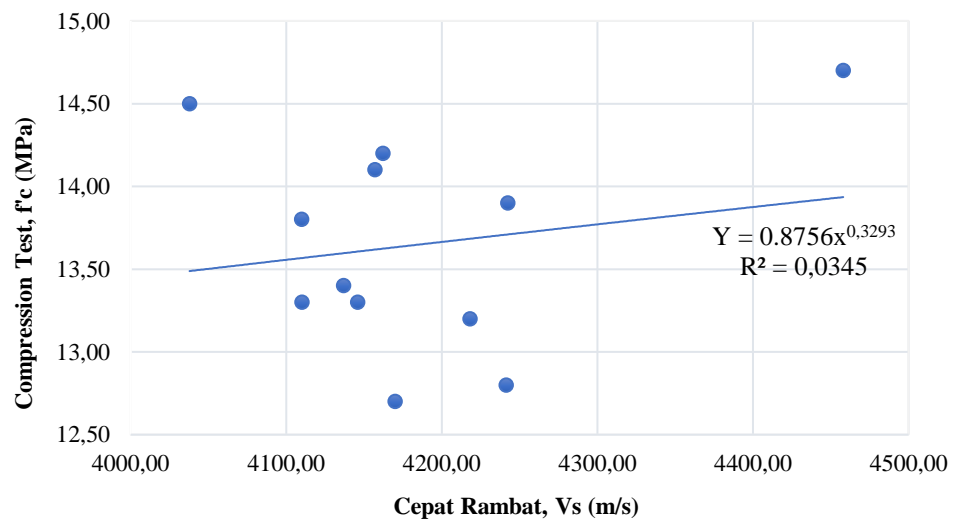
Gambar 5.74 Gabungan Regresi Power antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.45 Rekapitulasi Regresi *Power* antara *Hammer Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

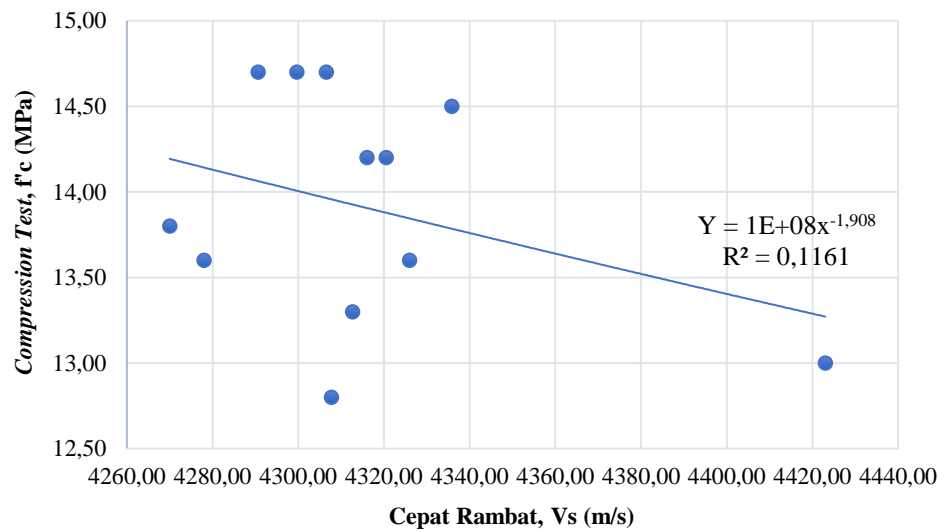
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R ²)
K-100	$Y = 1,6486x^{0,7321}$	0,4591
K-125	$Y = 3,4527x^{0,478}$	0,2741
K-150	$Y = 0,1258x^{1,6205}$	0,3287
K-175	$Y = 0,6972x^{1,0933}$	0,3182
K-200	$Y = 4,1317x^{0,5107}$	0,3982
Gabungan	$Y = 0,1108x^{1,6828}$	0,5715

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

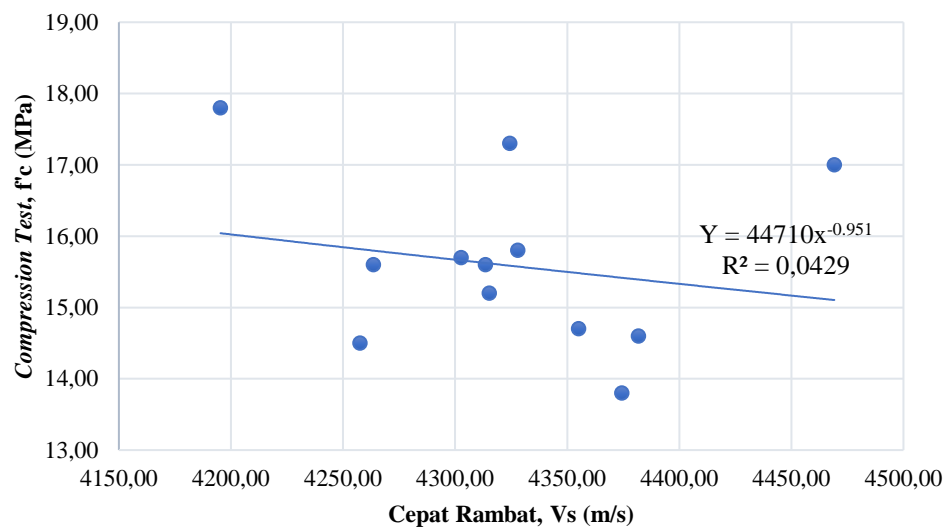
2. Analisis Regresi *Power* antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



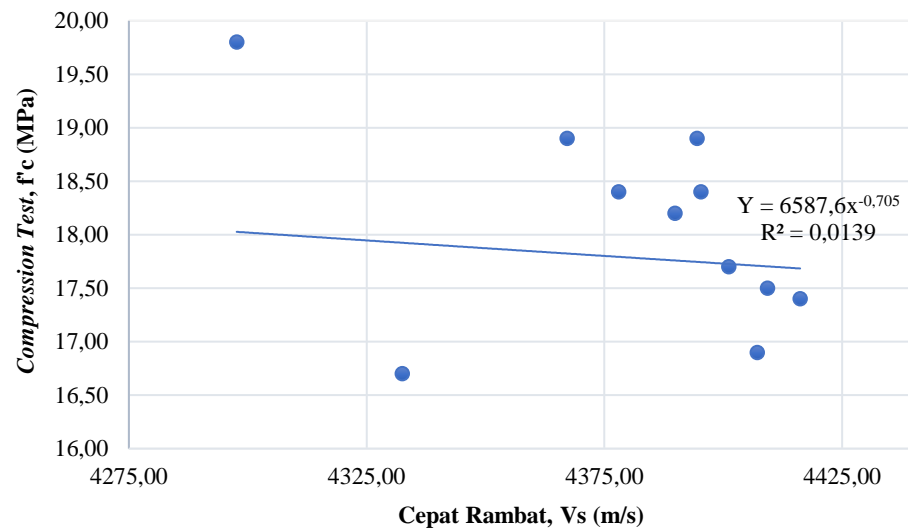
Gambar 5.75 Regresi *Power* Benda Uji Kubus Mutu K-100 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



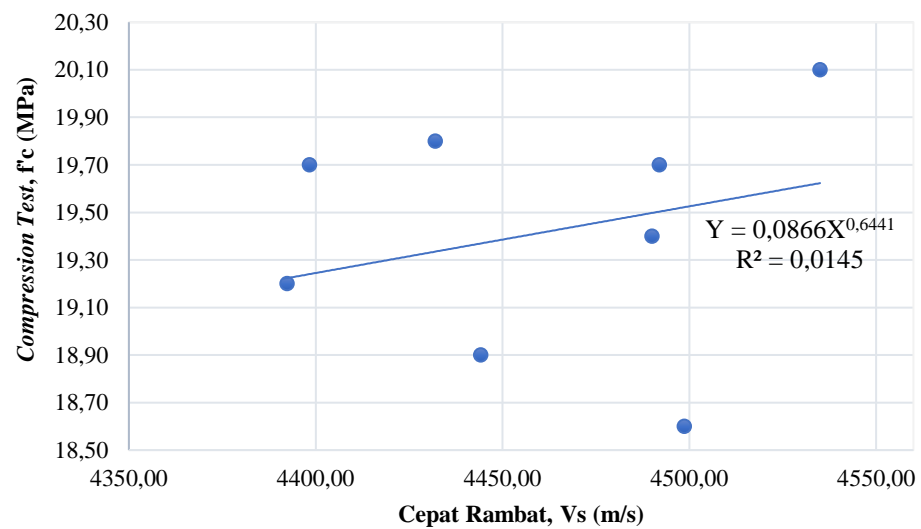
Gambar 5.76 Regresi *Power* Benda Uji Kubus Mutu K-125 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



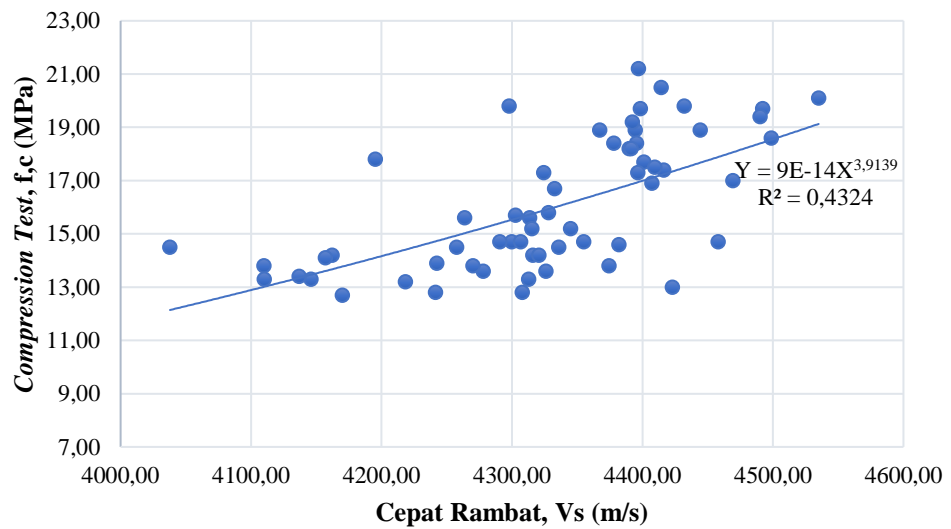
Gambar 5.77 Regresi *Power* Benda Uji Kubus Mutu K-150 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.78 Regresi *Power* Benda Uji Kubus Mutu K-175 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.79 Regresi *Power* Benda Uji Kubus Mutu K-200 antara *UPV Test* dengan *Compression Test*



Gambar 5.80 Gabungan *Power* Logaritmik antara *UPV Test* dengan *Compression Test* Setiap Variasi Mutu Beton

Tabel 5.46 Rekapitulasi Regresi *Power* antara *UPV Test* dengan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R ²)
K-100	$Y = 0,8756X^{0,3293}$	0,0345
K-125	$Y = 1E+08X^{-1,908}$	0,1161
K-150	$Y = 44710X^{-0,951}$	0,0429
K-175	$Y = 6587,6X^{-0,705}$	0,0139
K-200	$Y = 0,0866X^{0,6441}$	0,0145
Gabungan	$Y = 9E-14X^{3,9139}$	0,4324

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

5. 9. 6 Pembahasan Analisis Regresi Satu Variabel

Menurut Supratno (2010), “Koefisien korelasi (R²) bertujuan untuk melihat besar kecil pengaruhnya variabel bebas (X) terhadap variabel tidak bebas (Y)”. Semakin tinggi nilai R², semakin besar pengaruh variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y). Nilai R² yang rendah mengindikasikan pengaruh yang relatif kecil dari variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y).

Nilai-nilai koefisien korelasi menunjukkan bahwa nilai korelasi tertinggi diperoleh dari persamaan regresi linier. Nilai-nilai koefisien korelasi dapat diklasifikasikan berdasarkan intervalnya, untuk menarik kesimpulan tentang besar atau kecilnya nilai koefisien korelasi yang didapatkan, maka dapat berpedoman pada ketentuan yang disajikan dalam Tabel 5.48 berikut ini.

Tabel 5.47 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 5.48 Rekapitulasi Hasil Trendline Regresi antara *Hammer Test* dengan *Compression Test*

<i>Tredline Regresi</i>	Persamaan Regresi (Gabungan K-100, K-125, K-150, K-175, K-200)	Koefisien Korelasi (R ²)
Linier	$Y = 0,7199x + 1,9563$	0,5741
Ekspensial	$Y = 3,01e^{0,0868x}$	0,5621
Logaritmik	$Y = 27,275\ln(x) - 64,419$	0,5736
Polinomial	$Y = -0,0236x^2 + 2,331x - 19,897$	0,5749
<i>Power</i>	$Y = 0,1108x^{1,6828}$	0,5715

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

Tabel 5.48 menunjukkan bahwa koefisien korelasi (R²) antara *hammer test* dengan *compression test* memiliki nilai tertinggi pada regresi polinomial sebesar 0,5749, dimana angka tersebut masuk ke dalam interval koefisien dengan klasifikasi sedang. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sekitar 57,49% variasi dalam nilai variabel terikat (Y) dapat dijelaskan oleh nilai variabel bebas (X) melalui hubungan polinomial. Persentase sisa sebesar 42,51% didistribusikan kepada

faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam analisis ini. Grafik hubungan regresi antara *hammer test* dengan *compression test* dapat menunjukkan suatu kesimpulan bahwa terdapat hubungan positif antara nilai *compression test* dan *hammer test* karena 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*. Persamaan 5.1 berikut adalah persamaan yang diperoleh dari regresi polinomial antara *hammer test* dan *compression test* dengan nilai R^2 terbesar untuk mutu beton gabungan.

$$Y = -0,0236x^2 + 2,331x - 19,897 \quad (5.1)$$

dimana :

X = nilai *rebound hammer*, dan

Y = nilai kuat tekan beton (MPa).

Tabel 5.49 Rekapitulasi Hasil Trendline Regresi antara UPV Test dengan Compression Test

Tredline Regresi	Persamaan Regresi (Gabungan K-100, K-125, K-150, K-175, K-200)	Koefisien Korelasi (R^2)
Linier	$Y = 0,0148x - 48,181$	0,4215
Eksponensial	$Y = 0,3023e^{0,0009x}$	0,4356
Logaritmik	$Y = 63,448 \ln(x) - 515,14$	0,4172
Polinomial	$Y = 3E - 05x^2 - 0,2719x + 567,62$	0,4611
Power	$Y = 9E - 14x^{3,9139}$	0,4324

Keterangan : Y = *compression strength* (MPa), X = *UPV test* (m/s).

Tabel 5.49 menunjukkan bahwa korelasi (R^2) antara *UPV test* dengan *compression test* memiliki nilai tertinggi pada regresi polinomial sebesar 0,4611. Nilai tersebut menunjukkan bahwa 46,11% variasi dalam nilai variabel terikat (Y) dapat dijelaskan oleh nilai variabel bebas (X) melalui hubungan polinomial. Persentase sisa sebesar 53,89% didistribusikan kepada faktor-faktor lain yang tidak

dimasukkan dalam analisis ini. Grafik hubungan regresi antara *UPV test* dengan *compression test* ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa terdapat pengaruh positif antara nilai *UPV test* dan *hammer test* karena gradien X bernilai positif. Artinya, semakin besar nilai kuat tekan beton yang diperoleh dari pengujian *UPV test*, semakin besar pula nilai aktual yang diperoleh dari pengujian *compression test*. Persamaan 5.2 berikut adalah persamaan yang diperoleh dari regresi polinomial antara *UPV test* dan *compression test* dengan nilai R^2 terbesar untuk mutu beton gabungan.

$$Y = 3E - 05x^2 - 0,2719x + 567,62 \quad (5.2)$$

dimana :

X = nilai cepat rambat (m/s), dan

Y = nilai kuat tekan beton (MPa).

5. 9. 7 Analisis Regresi Linier Berganda dan Korelasi Linier Berganda

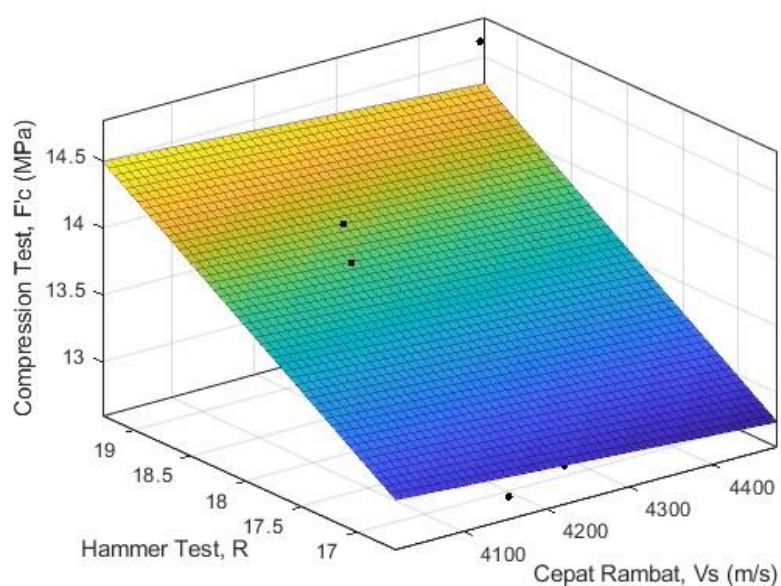
Analisis regresi linier berganda digunakan untuk memperkirakan perubahan nilai suatu variabel tertentu jika terdapat perubahan pada variabel lainnya. Dalam analisis ini, kita menggunakan lebih dari satu variabel bebas (variabel independen) sebagai prediktor. Tingkat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat didefinisikan oleh suatu nilai koefisien korelasi (R^2). Analisis korelasi regresi linier berganda digunakan untuk mengevaluasi derajat atau kekuatan hubungan antara variabel X (*Hammer Test* dan *UPV Test*) dan variabel Y (*Compression Test*). Analisis ini membantu pembaca memahami besarnya nilai hubungan antara variabel-variabel tersebut dan apakah hubungan tersebut signifikan.

Penelitian ini memanfaatkan dua jenis perangkat lunak, yaitu *IBM SPSS* (*Statistical Product and Service Solutions*) dan *MATLAB* (*Matrix Laboratory*). *IBM SPSS* digunakan untuk menganalisis regresi, khususnya dalam mencari persamaan korelasi antara hasil dari *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Sementara, *MATLAB* adalah sebuah program yang digunakan untuk menganalisis dan menghitung data numerik. Hasil pengujian dari penelitian ini dimasukkan ke dalam

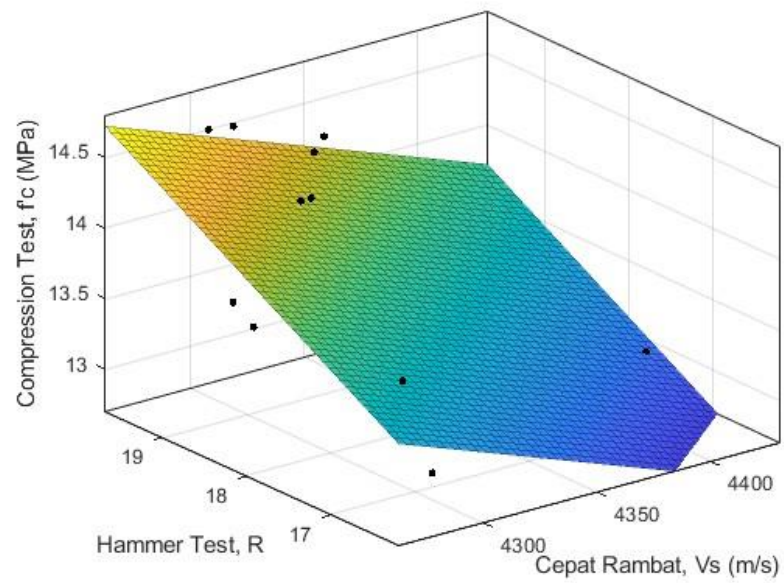
aplikasi *MATLAB*, yang akan menghasilkan diagram korelasi antara ketiga metode pengujian yang telah disebutkan.

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

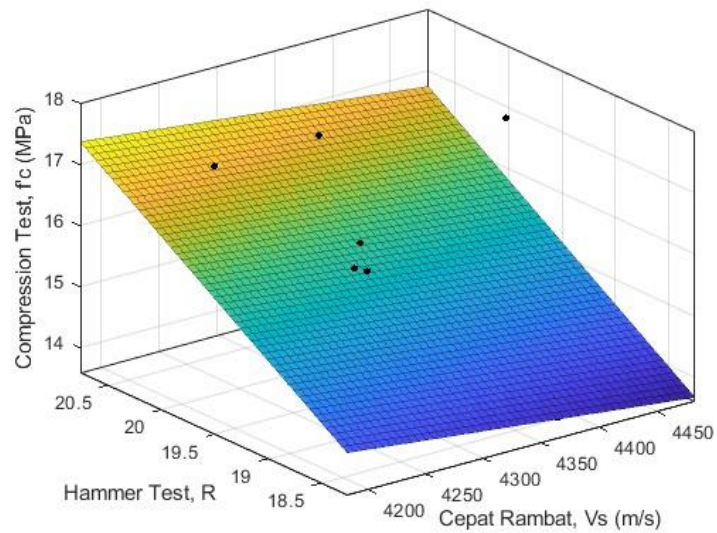
Pada penelitian ini, penggunaan perangkat lunak *MATLAB* (*Matrix Laboratory*) digunakan dengan tujuan melakukan analisis dan komputasi data numerik. Data hasil penelitian di-*input* ke dalam aplikasi *MATLAB* dan *output* dari aplikasi tersebut ialah diagram yang menggambarkan korelasi antara ketiga metode pengujian, yaitu *non-destructive test* dan *destructive test*. Aplikasi *MATLAB* membantu dalam merancang diagram-diagram ini sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara *non-destructive test* dan *destructive test*. Diagram dari hubungan korelasi antara ketiga pengujian menggunakan software *MATLAB* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



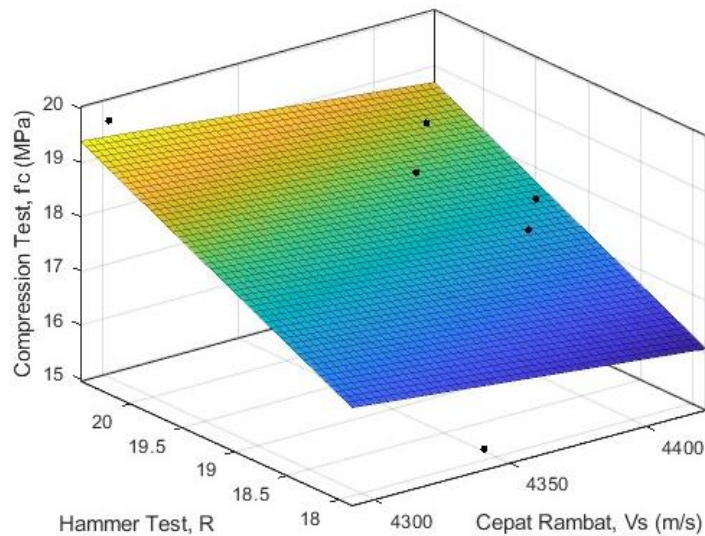
Gambar 5.81 Grafik Korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *Compression Test* pada Benda Uji Variasi K-100



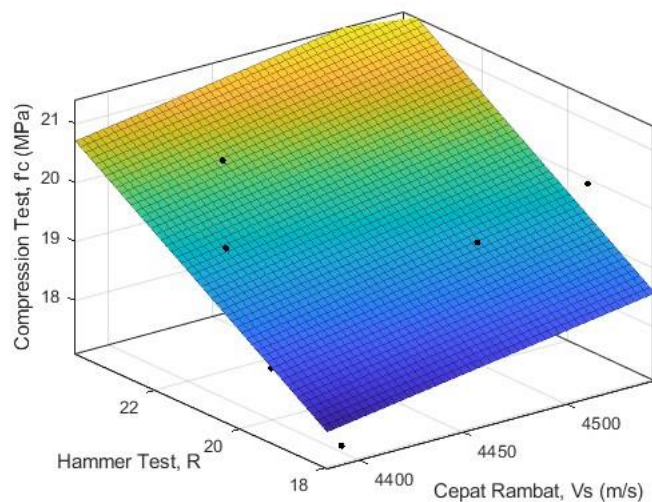
Gambar 5.82 Grafik Korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *Compression Test* pada Benda Uji Variasi K-125



Gambar 5.83 Grafik Korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *Compression Test* pada Benda Uji Variasi K-150



Gambar 5.84 Grafik Korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *Compression Test* pada Benda Uji Variasi K-175



Gambar 5.85 Grafik Korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *Compression Test* pada Benda Uji Variasi K-200

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

Dalam analisis ini, variabel yang menjadi fokus penelitian adalah nilai *compression test* sebagai variabel terikat (*dependent variable*), sementara nilai *hammer test* dan *UPV test* berperan sebagai variabel bebas (*independent variable*).

Setelah itu, kita melakukan analisis statistik yang lebih rinci untuk memahami secara lebih mendalam bagaimana korelasi variabel bebas terhadap variabel terikat dalam berbagai variasi mutu beton yang berbeda.

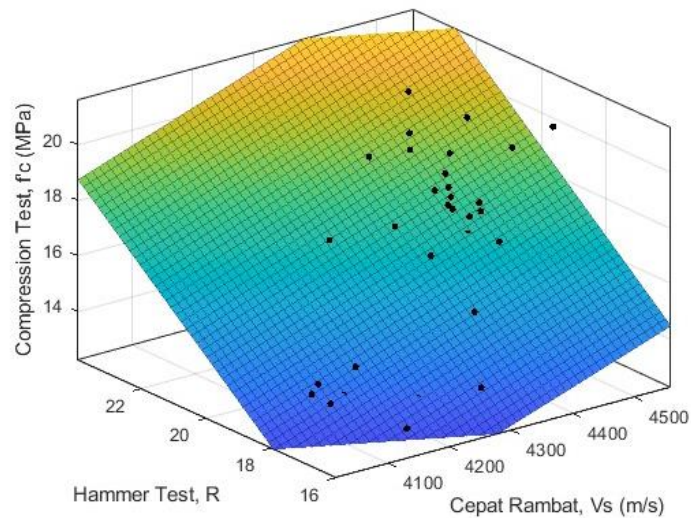
Tabel 5.50 Persamaan Regresi Antara *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *Compression Test*

Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R ²)
K-100	$Y = 0,57533X_1 - 0,00042X_2 + 5,0728$	0,464
K-125	$Y = 0,36951X_1 - 0,00596X_2 + 532,87321$	0,393
K-150	$Y = 1,22343X_1 - 0,00212X_2 + 0,85785$	0,348
K-175	$Y = 0,99617X_1 - 0,009X_2 + 21,80243$	0,343
K-200	$Y = 0,49901X_1 + 0,00535X_2 - 14,65256$	0,458
Gabungan	$Y = 1,06996X_1 + 0,00778X_2 - 38,08524$	0,656

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

Dari persamaan yang diperoleh pada tabel 5.50 di atas, didapatkan nilai R² terbesar yaitu pada variasi benda uji K-100 dengan nilai 0,464 yang dapat diklasifikasikan memiliki koefisien korelasi pada tingkat sedang. Artinya, nilai tersebut menjelaskan bahwa 46,4% dari variabel terikat (*compressive test*) dapat dijelaskan oleh dua variabel bebas (*hammer test* dan *UPV test*) yang dimasukkan dalam model regresi. Sisanya, sebesar 53,6% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak termasuk dalam model regresi.

Tabel 5.50 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (R²) yang diperoleh dari analisis regresi menggunakan software *IBM SPSS* sebagian besar berkisar antara 30% sampai 47%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa variasi variabel *dependent Y (compression test)* dengan dua variabel *independent X₁ (hammer test)* dan *X₂ (UPV test)* memiliki hubungan yang rendah pada benda uji K-125, K-150, dan K-175, dan memiliki hubungan yang dikategorikan sedang pada benda uji K-100 dan K-200.



Gambar 5.86 Grafik Korelasi *Hammer Test*, *UPV Test*, dan *Compression Test* Seluruh Variasi Benda Uji

Nilai koefisien korelasi (R^2) antara *hammer test* dan *UPV test* dengan *compression test* untuk seluruh variasi benda uji bernilai 65,60%. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai korelasi antara *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test* dapat dikategorikan tinggi. Berikut merupakan nilai koefisien korelasi (R^2) dan persamaan regresi dari hubungan antara *non-destructive test* dengan *compression test* untuk seluruh variasi benda uji.

$$Y = 1,06996X_1 + 0,00778X_2 - 38,08524 \quad (5.3)$$

Keterangan :

- Y = nilai kuat tekan beton,
- X₁ = nilai *rebound* (r), dan
- X₂ = nilai cepat rambat (m/s).

5.10 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 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 5.51 Persamaan Regresi antara *Non-Destructive Test* dengan *Compression Test*

Pengujian yang dilakukan	Persamaan Regresi	Koefisien Korelasi (R ²)
<i>UPV test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = 3E-05X^2 - 0,2719X + 567,62$	46,11%
<i>Hammer test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = -0,0236X^2 + 2,331X - 19,897$	57,49%
<i>Hammer test, UPV test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = 1,06996X_1 + 0,00778X_2 - 38,08524$	65,60%

Dari ketiga persamaan regresi pada Tabel 5.51 di atas, selanjutnya dilakukan analisis 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 di bawah ini.

$$KR = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\% \quad (5.4)$$

dengan: X_1 = nilai kuat tekan beton rencana

X_2 = hasil Kuat tekan beton dari persamaan regresi

Rumus di atas dapat dijabarkan dengan contoh perhitungan yang dapat dilihat pada uraian berikut ini.

Diketahui nilai kuat tekan beton K-100 = 8,3 MPa

Nilai kuat tekan beton hasil *hammer test* = 16,77 MPa

$$KR = \left| \frac{8,3 - 16,77}{16,77} \right| \times 100\% = 50,5068575 \%$$

Tabel 5.52 Kesalahan Relatif antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Nilai Kuat Tekan Beton Hasil *Non-Destructive Test*

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Nilai Kuat Tekan Beton Menggunakan <i>NDT</i> (MPa)					
	<i>Hammer test</i>	Kesalahan Relatif	<i>UPV test</i>	Kesalahan Relatif	<i>Hammer test dan UPV test</i>	Kesalahan Relatif
8,30	14,95	80,12%	13,80	66,26%	13,54	63%
	16,11	94,11%	14,40	73,44%	15,19	83%
	14,39	73,37%	13,93	67,83%	13,41	62%
	15,27	83,93%	14,70	77,14%	14,80	78%
	12,60	51,84%	14,69	77,00%	12,89	55%
	14,71	77,23%	14,02	68,87%	13,77	66%
	14,39	73,37%	13,80	66,27%	13,13	58%
	13,40	61,40%	14,45	74,10%	13,26	60%
	12,55	51,22%	14,06	69,45%	12,30	48%
	14,55	75,27%	13,89	67,34%	13,45	62%
	15,79	90,20%	13,99	68,52%	14,52	75%
10,38	13,21	59,21%	13,80	66,28%	11,73	41%
	16,61	60,04%	15,66	50,84%	16,35	58%
	15,59	50,17%	15,71	51,36%	15,61	50%
	14,92	43,70%	15,15	45,91%	14,82	43%
	13,79	32,88%	15,28	47,16%	14,08	36%
	11,91	14,70%	15,04	44,88%	12,63	22%
	15,96	53,79%	16,04	54,57%	16,04	55%
	16,11	55,21%	15,46	48,91%	15,87	53%
	15,59	50,17%	15,78	52,06%	15,65	51%
	12,94	24,62%	15,58	50,10%	13,64	31%
	16,19	55,94%	15,32	47,62%	15,86	53%
12,45	14,92	43,70%	15,88	52,95%	15,19	46%
	14,99	44,40%	15,56	49,92%	15,10	46%
	15,96	28,22%	14,88	19,52%	15,44	24%
	16,19	30,01%	16,39	31,66%	16,36	31%
	18,17	45,91%	14,96	20,12%	17,17	38%
	17,11	37,44%	18,97	52,35%	17,95	44%
	16,79	34,87%	14,25	14,44%	15,58	25%

Tabel 5.52 Kesalahan Relatif antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Nilai Kuat Tekan Beton Hasil *Non-Destructive Test*

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Nilai Kuat Tekan Beton Menggunakan <i>NDT</i> (MPa)					
	<i>Hammer test</i>	Kesalahan Relatif	<i>UPV test</i>	Kesalahan Relatif	<i>Hammer test dan UPV test</i>	Kesalahan Relatif
12,45	17,37	39,52%	15,85	27,29%	17,03	37%
	16,57	33,13%	15,67	25,87%	16,33	31%
	16,79	34,87%	15,70	26,09%	16,51	33%
	14,95	20,08%	16,77	34,67%	15,60	25%
	16,89	35,65%	15,91	27,79%	16,68	34%
	16,57	33,13%	15,50	24,51%	16,25	30%
	16,95	16,63%	16,92	16,44%	17,15	38%
14,53	16,57	14,07%	17,66	21,57%	17,13	18%
	17,77	22,33%	15,43	6,17%	17,13	18%
	16,02	10,22%	15,99	10,03%	16,06	11%
	16,19	11,40%	16,62	14,42%	16,46	13%
	14,39	0,96%	16,20	11,52%	14,96	3%
	15,04	3,49%	16,84	15,90%	15,69	8%
	17,11	17,77%	17,33	19,26%	17,42	20%
	17,05	17,35%	17,18	18,27%	17,32	19%
	17,37	19,55%	17,09	17,59%	17,53	21%
	15,59	7,28%	17,20	18,39%	16,23	12%
	16,42	13,04%	17,46	20,17%	16,95	17%
	17,13	17,86%	17,51	20,50%	17,50	20%
16,60	16,11	2,95%	20,85	25,59%	17,70	7%
	18,67	12,46%	19,59	18,00%	19,35	17%
	17,83	7,43%	19,77	19,12%	18,74	13%
	16,69	0,52%	19,53	17,66%	17,79	7%
	18,17	9,43%	18,33	10,42%	18,58	12%
	20,35	22,58%	18,03	8,64%	20,26	22%
	18,67	12,46%	17,23	3,82%	18,61	12%
	14,71	11,39%	17,23	3,78%	15,59	6%
	18,50	11,44%	17,14	3,24%	18,44	11%
	16,72	0,75%	17,12	3,12%	17,05	3%
	21,97	32,35%	17,62	6,16%	21,51	30%
	18,67	12,46%	17,27	4,02%	18,62	12%
Rata-rata kesalahan relatif	34,69%		34,62%		33,60%	

5.11 Kesalahan Relatif antara Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan

Setelah mendapatkan persamaan regresi terhadap *hammer test*, *UPV test*, dan *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 diambil 2 persamaan regresi dari penelitian yang dilakukan. Persamaan regresi terdahulu diambil dari penelitian Wirotama (2018) dan penelitian Manopo (2019). Persamaan tersebut disajikan dalam Tabel 5. 53 berikut.

Tabel 5. 53 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)	$Y = -44,42541145 + 0,3643X_1 + 0,0161 X_2$
Fildza Nur Rizqiyah (2023)	$Y = -38,08524 + 1,06996X_1 + 0,00778X_2$

Keterangan: $Y = \text{compression test}$, $X_1 = \text{hammer test}$, $X_2 = \text{UPV test}$.

Dari ketiga persamaan regresi yang tersaji pada Tabel 5.53, persamaan tersebut akan menghasilkan perbedaan nilai kuat tekan beton hasil analisis dengan nilai kuat tekan rencana. Untuk memperoleh nilai kuat tekan beton hasil persamaan regresi, digunakan hasil *hammer test* dan *UPV test* dari pengujian yang telah dilakukan. Perbedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh dari persamaan regresi dengan kuat tekan beton rencana akan ditunjukkan dengan nilai persentase kesalahan relatif. Persentase kesalahan relatif dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$KR = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\% \quad (5.5)$$

dengan: $X_1 =$ nilai kuat tekan beton rencana, dan
 $X_2 =$ nilai kuat tekan beton hasil dari persamaan regresi.

Contoh perhitungan:

Nilai kuat tekan beton K-100 = 8,30 MPa

Nilai kuat tekan beton hasil persamaan regresi penelitian Manopo = 12,40 Mpa

$$KR = \left| \frac{8,30 - 12,40}{8,30} \right| \times 100\% = 49\%$$

Tabel 5. 54 Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan

Kuat Tekan Beton Rencana (MPa)	Kuat Tekan Beton Hasil Persamaan Regresi					
	Fildza Nur Rizqiyah		Wirotama (2018)		Manopo (2019)	
	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)
8,30	13,54	63%	12,4080	49%	22,4113	170%
	15,19	83%	14,8337	79%	24,0908	190%
	13,41	62%	13,0383	57%	22,9798	177%
	14,80	78%	15,2642	84%	24,5525	196%
	12,89	55%	14,6380	76%	24,4716	195%
	13,77	66%	13,4515	62%	23,2480	180%
	13,13	58%	12,2858	48%	22,4029	170%
	13,26	60%	14,3283	73%	24,1175	191%
	12,30	48%	13,1287	58%	23,3219	181%
	13,45	62%	12,8821	55%	22,8361	175%
	14,52	75%	13,5946	64%	23,1917	179%
10,38	11,73	41%	10,5005	27%	21,2098	156%
	16,35	58%	17,0608	64%	25,7191	148%
	15,61	50%	16,8868	63%	25,7466	148%
	14,82	43%	15,9316	53%	25,1180	142%
	14,08	36%	15,8703	53%	25,2407	143%
	12,63	22%	15,0870	45%	24,9167	140%
	16,04	55%	17,3920	68%	26,0754	151%
	15,87	53%	16,6680	61%	25,4972	146%
	15,65	51%	16,9809	64%	25,8188	149%
	13,64	31%	16,1068	55%	25,5490	146%
	15,86	53%	16,4968	59%	25,3539	144%
15,19	46%	16,9396	63%	25,8908	149%	
15,10	46%	16,5478	59%	25,5792	146%	

**Lanjutan Tabel 5.54 Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu dengan
Penelitian yang dilakukan**

Kuat Tekan Beton Rencana (MPa)	Kuat Tekan Beton Hasil Persamaan Regresi					
	Fildza Nur Rizqiyah		Wirotama (2018)		Manopo (2019)	
	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)
12,45	15,44	24%	15,7470	26%	24,8142	99%
	16,36	31%	17,8478	43%	26,3897	112%
	17,17	38%	16,4102	32%	24,9684	101%
	17,95	44%	20,4686	64%	28,2517	127%
	15,58	25%	14,6403	18%	23,8346	91%
	17,03	37%	17,4905	40%	25,9267	108%
	16,33	31%	17,0692	37%	25,7315	107%
	16,51	33%	17,1568	38%	25,7640	107%
	15,60	25%	17,9625	44%	26,6698	114%
	16,68	34%	17,4497	40%	25,9731	109%
	16,25	30%	16,8417	35%	25,5571	105%
14,53	17,15	38%	18,5944	49%	26,8413	116%
	17,13	18%	19,2252	32%	27,3844	88%
	17,13	18%	17,0303	17%	25,5080	76%
	16,06	11%	17,3345	19%	26,0231	79%
	16,46	13%	18,1033	25%	26,5856	83%
	14,96	3%	17,2138	18%	26,1810	80%
	15,69	8%	18,0599	24%	26,7310	84%
	17,42	20%	19,0406	31%	27,1569	87%
	17,32	19%	18,8858	30%	27,0480	86%
	17,53	21%	18,8660	30%	26,9812	86%
	16,23	12%	18,5528	28%	27,0239	86%
16,60	16,95	17%	19,0002	31%	27,2357	87%
	17,50	20%	19,2155	32%	27,2887	88%
	17,70	7%	21,6097	30%	29,2858	76%
	19,35	17%	21,3357	29%	28,6608	73%
	18,74	13%	21,2660	28%	28,7457	73%
	17,79	7%	20,8029	25%	28,5761	72%
16,60	18,58	12%	20,2042	22%	27,8771	68%
	20,26	22%	20,5120	24%	27,7415	67%

**Lanjutan Tabel 5.54 Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu dengan
Penelitian yang dilakukan**

Kuat Tekan Beton Rencana (MPa)	Kuat Tekan Beton Hasil Persamaan Regresi					
	Fildza Nur Rizqiyah		Wirotama (2018)		Manopo (2019)	
	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)
16,60	18,61	12%	19,3372	16%	27,1286	63%
	15,59	6%	18,3725	11%	27,0207	63%
	18,44	11%	19,1996	16%	27,0516	63%
	17,05	3%	18,7400	13%	26,9885	63%
	21,51	30%	20,5830	24%	27,5044	66%
	18,62	12%	19,3687	17%	27,1528	64%
Rata-rata KR	33,60%		41,31%		117%	

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, beberapa simpulan dapat ditarik sebagai berikut:

1. Persamaan untuk menggambarkan nilai korelasi antara nilai yang dihasilkan oleh *compression test*, dengan setiap hasil pengujian *hammer test*, dan *UPV test* pada mutu beton K-100, K-125, K-150, K-175, dan K-200 adalah sebagai berikut.
 - a. *UPV test* dan *compression test* menunjukkan persamaan regresi yang dapat dirumuskan sebagai $Y = 3E-05x^2 - 0,2719x + 567,62$.
 - b. *Hammer test* dan *compression test* menunjukkan persamaan regresi yang dapat dirumuskan sebagai $Y = -0,0236x^2 + 2,331x - 19,897$.
 - c. *Hammer test* dan *UPV test*, dengan *compression test* menunjukkan persamaan regresi yang dapat dirumuskan sebagai $Y = 1,06996X_1 + 0,00778X_2 - 38,08524$.
2. Dari hasil analisis regresi yang telah didapatkan, ditemukan adanya hubungan atau korelasi antara pengujian *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test* yang diuraikan sebagai berikut.
 - a. Adanya hubungan positif antara pengujian *UPV test* dengan *compression test* dimana semakin tinggi nilai cepat rambat yang didapatkan dari pengujian *UPV*, maka semakin tinggi juga nilai kuat tekan aktual yang didapatkan dari pengujian. Persamaan yang dihasilkan memiliki nilai koefisien korelasi dengan kategori tingkat hubungan korelasi tinggi yaitu $R^2 = 0,4611$.
 - b. Grafik menunjukkan hubungan positif antara pengujian *hammer test* dengan *compression test* dimana semakin tinggi kuat tekan beton, maka semakin tinggi nilai *rebound hammer* yang dihasilkan. Persamaan

regresi yang terbentuk menghasilkan nilai koefisien korelasi dengan kategori tingkat hubungan korelasi sedang yaitu $R^2 = 0,5749$.

- c. Persamaan regresi antara *hammer test* dan *UPV test* dengan *compression test* memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,6560. Artinya, nilai tersebut masuk ke dalam kategori tingkat hubungan korelasi tinggi.

6.2 Saran

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menentukan korelasi antara *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test* masih memiliki beberapa kekurangan, sehingga beberapa aspek perlu dikembangkan dan dilakukan penelitian lebih lanjut. Berdasarkan kesimpulan di atas, terdapat beberapa aspek 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 beton. Dengan lebih banyak data, hasil korelasi dapat menjadi lebih *representative* dan reliabel.
2. Perlu penelitian lebih lanjut terkait pembuatan benda uji dengan menggunakan variasi dimensi beton yang berbeda dan benda uji beton bertulang. Sehingga dengan adanya penelitian tersebut dapat ditemukan pengaruh variasi dimensi beton dan beton bertulang terhadap nilai korelasi *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test* sesuai dengan kondisi di lapangan.
3. Disarankan untuk menambahkan nilai kuat tekan hasil dari pengujian *hammer test* menggunakan grafik teoritis hubungan empiris dari nilai *hammer rebound* dengan kuat tekan. Sehingga nilai kuat tekan hasil dari hubungan empiris juga dapat dijadikan bahan acuan pembandingan dengan nilai kuat tekan hasil dari persamaan regresi yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. 2011. *Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. United States: ACI214R-11.
- Aribawa, B.B., Wijatmiko, I. and Simatupang, R.M., 2019. Studi Evaluasi Pengaruh Variasi Mutu Beton Terhadap Kekuatan Struktur Beton Normal Menggunakan Metode Non-Destructive Test dan Destructive Test. *Rekayasa Sipil*, 13(3), pp.184-192.
- Arnita. 2013. *Pengantar Statistika*. Bandung: Cita Pustaka Media Perintis
- ASTM C 150-07. 2019. *Standard Specification for Natural Cement*. Annual Books of ASTM Standards. USA.
- ASTM C 33-03. 2002. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Annual Books of ASTM Standards. USA.
- ASTM C 597-02. 2003. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. Annual Books of ASTM Standards. USA.
- Atmaja, Lukas Setia. 2009. *Statistik untuk Bisnis dan Ekonomi*. CV. Andi Offset: Yogyakarta
- Basuki, Agus Tri. 2015. *Analisis Regresi Dengan SPSS*. Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1982, PUBI-1982, *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*, Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Bandung
- Hamidian, M., Shariati, A., Khanouki, M.A., Sinaei, H., Toghroli, A. and Nouri, K., 2012. Application of Schmidt rebound hammer and ultrasonic pulse velocity techniques for structural health monitoring. *Scientific Research and Essays*, 7(21), pp.1997-2001.
- International Atomic Energy Agency. 2002. *Guidebook On Non-Destructive Testing of Concrete Structures*. Vienna
- Malhotra, V.M. and Carino, N.J., 2003. *Handbook on nondestructive testing of concrete*. CRC press.
- Neville, A.M. dan Brooks, J.J., 1987. *Concrete technology* (Vol. 438). England: Longman Scientific & Technical.

- PD T-07-2005-B. 2005. *Pengaruh pekerjaan beton untuk jalan dan jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Putri, E.H., Wijatmiko, I. and Budio, S.P., 2019. Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Terhadap Kerapatan Beton Dengan Menggunakan Pulse Velocity Pada Alat UPV (Ultrasonic Pulse Velocity). *Rekayasa Sipil*, 13(1), pp.54-63.
- Qixian, L. and Bungey, J.H., 1996. Using compression wave ultrasonic transducers to measure the velocity of surface waves and hence determine dynamic modulus of elasticity for concrete. *Construction and building materials*, 10(4), pp.237-242.
- RSNI 4803. 2002. *Metode Uji Angka Pantul Beton Keras*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Sembiring, R.K. 1995. Analisis Regresi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Simatupang, R.M., Nuralinah, D. and Remayanti, C., 2016. Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Antara Hammer Test, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Dan Compression Test. *Rekayasa Sipil*, 10(1), pp.26-32.
- SNI 03-1968. 1990. *Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2847. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4142. 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4430. 1997. *Pengujian Kuat Tekan Elemen Struktur Beton dengan Alat Palu Beton Tipe N dan NR*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4804. 1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-2049. 2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1969. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- SNI 2847. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 7974. 2013. *Spesifikasi Air Pencampur yang Digunakan dalam Produksi Beton Semen Hidraulis*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI ASTM C 597. 2012. *Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Sudjana, Prof. Dr. 2005. *Metode Statistika*. PT. Tarsito: Bandung
- Sugiyono. Metode Penelitian Bisnis (pendekatan Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D) / Dr. Sugiyono .2018
- Tjokrodinuljo, K. 2007, *Teknologi Beton*, Penerbit Nafiri, Yogyakarta
- Wicaksono, A., Suryanita, R. and Sitompul, I.R., Kuat Tekan Beton Kubus Pasca Bakar Menggunakan Ultrasonic Pulse Velocity (Upv) Dan Compression Testing Machine (Ctm). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 5, pp.1-7.
- Wirotama, I., 2018. *Korelasi Nilai Kuat Tekan Betondengan Menggunakan Non-Destructive Test dan Destructive Test* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Xu,T., and Lie, J., 2018. *Assessing the spatial variability of the concrete by the rebound hammer test and compression test of drilled cores*. *Construction and Building Materials* 188 (2018) 820–832. Elsevier

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kallurung km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftspuii.ac.id

Nomor : 25/Sek. Prodi PSTS/20/TAII/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 : FILDZA NUR RIZQIYAH
NIM : 19511209
PROGRAM STUDI : TEKNIK SIPIL
JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI KORELASI HASIL PENGUJIAN ULTRASONIC PULSE
VELOCITY (UPV), NILAI REBOUND HAMMER TEST DAN
PENGUJIAN TEKAN BETON NORMAL 25 MPA
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, 23 Februari 2023
Pemohon

FILDZA NUR RIZQIYAH
NIM. 19511209

0878-0314-8065.

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan Campuran K-200

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	16,6	MPa
2	Standar Deviasi	-	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	28	MPa
5	Jenis Semen Portland	Tipe I	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (FAS)	0,56	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS yang digunakan	0,56	
9	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	366,07	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	366,07	kg/m ³
16	FAS disesuaikan	0,56	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,64	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,42	
19	Persen Agregat Halus	42,85%	%
20	Persen Agregat Kasar	57,15%	%
21	Berat jenis relative agregat gabungan (SSD)	2,54	
22	Berat isi beton	2290	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1718,93	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	736,56	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	982,37	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	493,28	kg/m ³
27	Kadar air dengan angka penyusutan	246	kg/m ³
28	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	883,87	kg/m ³
29	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1178,84	kg/m ³

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m³

1	Air	493,28	kg
2	Semen	246	liter
3	Agregat halus (Pasir)	883,87	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	1178,84	kg
	Total	2802	kg

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian *Hammer Test*

Hammer Test K-100 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai <i>Rebound</i>		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 1 - 1	1	16,8	16,9	20,1
		2	16,9	18,7	23,9
		3	14,5	14,8	17,9
		4	16,6	19,7	22,2
		5	20,1	18,9	22
		6	15,9	17,9	20,1
		7	17,5	17,9	18,8
		8	18,0	18,2	20,4
		9	15,4	15,6	18,5
		10	17,9	16,6	22,2
R (Minimum)			14,5	14,8	17,9
R (Maksimum)			20,1	19,7	23,9
R (Rata-rata)			16,96	17,52	20,61

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai <i>Rebound</i>		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 1 - 2	1	16,8	16,3	21,4
		2	21,3	19,7	22,2
		3	18,9	20,4	19,3
		4	21,5	21,2	20,2
		5	20,0	15,2	21,4
		6	19,6	16,3	19,1
		7	20,6	16,3	17,9
		8	19,3	17,1	18,3
		9	16,3	18,3	20,4
		10	21,4	20,2	18,1
R (Minimum)			16,3	15,2	17,9
R (Maksimum)			21,5	21,2	22,2
R (Rata-rata)			19,57	18,1	19,83

Hammer Test K-100 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai <i>Rebound</i>		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 1 - 3	1	18,9	15,9	20,0
		2	16,1	17,9	14,7
		3	19,0	20,2	18,2
		4	16,1	17,8	18,9
		5	17,9	19,6	16,9
		6	14,7	18,8	17,1
		7	18,1	19,6	19,0
		8	16,3	20,3	19,0
		9	19,9	16,4	16,2
		10	17,9	19,2	18,9
R (Minimum)			14,7	15,9	14,7
R (Maksimum)			19,9	20,3	20
R (Rata-rata)			17,49	18,57	17,89

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai <i>Rebound</i>		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 1 - 4	1	16,3	16,1	21,0
		2	18,4	15,7	19,5
		3	15,7	16,0	22,0
		4	18,1	17,8	21,2
		5	19,4	19,0	23,1
		6	19,3	17,0	19,1
		7	18,9	19,5	20,1
		8	18,8	15,3	21,4
		9	14,9	17,8	22,5
		10	21,5	15,5	16,5
R (Minimum)			14,9	15,3	16,5
R (Maksimum)			21,5	19,5	23,1
R (Rata-rata)			18,13	16,97	20,64

Hammer Test K-100 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 1 - 5	1	17,2	16,0	18,8
		2	18,2	18,6	18,8
		3	17,3	14,4	17,9
		4	19,0	18,8	17,7
		5	16,3	18,9	19,2
		6	17,4	17,9	16,7
		7	17,4	15,2	16,8
		8	17,9	18,8	14,9
		9	17,1	18,6	18,9
		10	19,8	14,6	16,2
R (Minimum)			16,3	14,4	14,9
R (Maksimum)			19,8	18,9	19,2
R (Rata-rata)			17,76	17,18	17,59

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
6	BT 1 - 6	1	16,3	16,1	21,0
		2	18,4	15,7	19,5
		3	15,7	16,0	22,0
		4	18,1	17,8	21,2
		5	19,4	19,0	23,1
		6	19,3	17,0	19,1
		7	18,9	19,5	20,1
		8	18,8	15,3	21,4
		9	14,9	17,8	22,5
		10	21,5	15,5	16,5
R (Minimum)			14,9	15,3	16,5
R (Maksimum)			21,5	19,5	23,1
R (Rata-rata)			18,13	16,97	20,64

Hammer Test K-100 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 1 - 7	1	16,4	19,9	16,2
		2	19,2	17,9	18,9
		3	19,6	18,1	19
		4	20,3	16,3	19
		5	19,6	17,9	16,9
		6	18,8	14,7	17,1
		7	20,2	19	18,2
		8	17,8	16,1	18,9
		9	15,9	18,9	20
		10	17,9	16,1	14,7
R (Minimum)			15,9	14,7	14,7
R (Maksimum)			20,3	19,9	20
R (Rata-rata)			18,57	17,49	17,89

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 1 - 8	1	18,3	17	17,1
		2	17,6	15,4	17,2
		3	17,1	18,2	18,1
		4	17,2	16	16,4
		5	18	17,32	18,7
		6	18,5	15,6	19,2
		7	16,7	14,3	18,6
		8	17,3	17,7	16,2
		9	18,6	18,4	15,4
		10	18,7	18,4	16,4
R (Minimum)			16,7	14,3	15,4
R (Maksimum)			18,7	18,4	19,2
R (Rata-rata)			17,8	16,832	17,33

Hammer Test K-100 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound			No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi						Posisi		
			A	B	C				A	B	C
9	BT 1 - 9	1	15,2	18,2	17,0	10	BT 1 - 10	1	19,3	17,0	16,2
		2	17,0	18,1	16,5			2	17,3	18,8	17,4
		3	16,4	20,4	14,0			3	19,0	18,6	14,6
		4	18,7	16,4	15,7			4	18,6	17,8	16,2
		5	21,5	19,7	16,2			5	18,6	16,0	18,0
		6	17,7	18,7	14,1			6	18,0	19,7	21,5
		7	16,0	16,7	15,0			7	14,8	17,0	17,9
		8	17,6	16,1	14,1			8	20,1	18,5	17,9
		9	20,4	12,8	15,9			9	17,4	19,2	22,0
		10	16,7	15,9	14,3			10	17,9	21,3	20,1
R (Minimum)			15,2	12,8	14,0	R (Minimum)			14,8	16,0	14,6
R (Maksimum)			21,5	20,4	17,0	R (Maksimum)			20,1	21,3	22,0
R (Rata-rata)			17,72	17,3	15,28	R (Rata-rata)			18,10	18,39	18,18

Hammer Test K-100 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 1 - 11	1	22,6	21,5	20,5
		2	19,1	16,4	17,2
		3	15,9	18,2	21,1
		4	20,2	17,0	19,0
		5	16,8	17,2	17,8
		6	16,7	19,9	18,2
		7	19,5	18,7	22,4
		8	18,0	21,0	19,2
		9	20,3	18,2	19,5
		10	19,4	19,2	18
R (Minimum)			16,0	16,4	17,2
R (Maksimum)			22,6	21,5	22,4
R (Rata-rata)			18,85	18,73	19,24

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 1 - 12	1	17,9	16,7	19,1
		2	17,7	15,5	18,0
		3	18,7	18,0	17,8
		4	15,8	18,3	18,0
		5	15,7	15,2	17,8
		6	16,4	15,6	18,2
		7	16,0	19,0	17,2
		8	15,7	17,2	16,2
		9	17,6	15,7	18,7
		10	16,6	16,5	19,2
R (Minimum)			15,7	15,2	16,2
R (Maksimum)			18,7	19,0	19,2
R (Rata-rata)			16,81	16,77	18,02

Hammer Test K-125 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 2 - 1	1	17,2	17,4	22,7
		2	22,4	19,4	20,5
		3	21,5	18,5	18,9
		4	20,4	20,0	18,9
		5	18,9	19,8	14,7
		6	19,8	19,4	14,9
		7	19,9	18,0	20,6
		8	21,5	20,1	21,5
		9	18,9	17,4	18,3
		10	21,8	20,3	22,0
R (Minimum)			17,2	17,4	14,7
R (Maksimum)			22,4	20,3	22,7
R (Rata-rata)			20,23	19,03	19,30

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 2 - 2	1	15,2	19,8	17,5
		2	16,6	21,7	17,7
		3	20,2	19,8	20,8
		4	17,8	22..3	19,8
		5	19	18	16,4
		6	19,5	19,5	15,6
		7	20,6	20,1	20,5
		8	20,9	16,4	17,8
		9	18,2	17,5	22,1
		10	18,3	17	20,9
R (Minimum)			15,2	16,4	15,6
R (Maksimum)			20,9	21,7	22,1
R (Rata-rata)			18,63	18,86	18,91

Hammer Test K-125 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 2 - 3	1	19,4	17,2	17,5
		2	16,5	20,8	22,1
		3	16,7	19,9	20,1
		4	19,4	14,1	19,4
		5	17,4	15,3	19,8
		6	15,9	16,7	20,2
		7	18,3	20,8	16,4
		8	20,8	20,1	17,9
		9	20,1	17,5	20,1
		10	17,3	15,3	17,2
R (Minimum)			15,9	14,1	16,4
R (Maksimum)			20,80	20,80	22,10
R (Rata-rata)			18,18	17,77	19,07

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 2 - 4	1	20,4	15,6	20,0
		2	16,3	25,9	14,9
		3	19,2	16,8	19,0
		4	17,4	16,0	18,4
		5	15,5	17,4	17,8
		6	15,0	18,1	15,6
		7	16,6	18,4	18,8
		8	18,2	17,2	19,4
		9	16,3	18,4	15,4
		10	16,9	20,2	20,3
R (Minimum)			15,0	15,6	14,9
R (Maksimum)			20,4	25,9	20,3
R (Rata-rata)			17,18	18,40	17,96

Hammer Test K-125 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 2 - 5	1	17,3	16,3	16,1
		2	15,2	17,2	22,0
		3	18,7	16,0	15,5
		4	14,6	15,8	15,6
		5	16,8	15,7	14,9
		6	15,1	15,4	21,3
		7	15,3	15,2	20,2
		8	15,7	14,7	15,3
		9	16,6	15,0	15,3
		10	15,4	16,0	16,3
R (Minimum)			14,6	14,7	14,9
R (Maksimum)			18,7	17,2	22
R (Rata-rata)			16,07	15,73	17,25

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
6	BT 2 - 6	1	18,5	15,4	17,8
		2	21,8	18,3	19,5
		3	19,2	16,8	17,3
		4	21,2	19,9	18,7
		5	21,7	19,0	20,2
		6	20,2	16,4	19,0
		7	18,8	18,3	19,2
		8	19,9	17,9	21,1
		9	19,2	18,3	18,7
		10	24,0	17,6	18,0
R (Minimum)			18,5	15,4	17,3
R (Maksimum)			24,0	19,9	21,1
R (Rata-rata)			20,45	17,79	18,95

Hammer Test K-125 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 2 - 7	1	16,8	16,3	21,4
		2	21,3	19,7	22,2
		3	18,9	20,4	19,3
		4	21,5	21,2	20,2
		5	20,0	15,2	21,4
		6	19,6	16,3	19,1
		7	20,6	16,3	17,9
		8	19,3	17,1	18,3
		9	16,3	18,3	20,4
		10	21,4	20,2	18,1
R (Minimum)			16,3	15,2	17,9
R (Maksimum)			21,5	21,2	22,2
R (Rata-rata)			19,57	18,10	19,83

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 3 - 8	1	17,5	15,2	19,8
		2	17,7	16,6	21,7
		3	20,8	20,2	19,8
		4	19,8	17,8	22..3
		5	16,4	19,0	18,0
		6	15,6	19,5	19,5
		7	20,5	20,6	20,1
		8	17,8	20,9	16,4
		9	22,1	18,2	17,5
		10	20,9	18,3	17,0
R (Minimum)			15,6	15,2	16,4
R (Maksimum)			22,1	20,9	21,7
R (Rata-rata)			18,91	18,63	18,87

Hammer Test K-125 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 2 - 9	1	16,1	17,0	17,3
		2	16,2	19,7	18,9
		3	15,5	17,8	14,9
		4	18,0	18,0	18,1
		5	19,6	19,9	15,8
		6	17,0	16,9	15,6
		7	18,0	14,6	16,8
		8	17,0	17,4	15,5
		9	18,3	14,0	16,2
		10	18,5	15,5	16,4
R (Minimum)			15,5	14,0	14,9
R (Maksimum)			19,6	19,9	18,9
R (Rata-rata)			17,42	17,08	16,55

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
10	BT 2 - 10	1	17,8	19,1	27,3
		2	15,7	19,3	22,7
		3	15,7	19,9	20,7
		4	16,8	14,4	17,4
		5	16,1	20,8	19,9
		6	17,9	22,2	21,8
		7	19,0	19,9	24,8
		8	14,7	20,0	21,4
		9	14,7	18,7	21,2
		10	18,8	15,7	22,2
R (Minimum)			14,7	14,4	17,4
R (Maksimum)			19,0	22,2	27,3
R (Rata-rata)			16,72	19,00	21,94

Hammer Test K-125 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 2 - 11	1	20,8	20,1	17,9
		2	20,1	17,5	20,1
		3	17,3	15,3	17,2
		4	17,4	15,3	19,8
		5	15,9	16,7	20,2
		6	18,3	20,8	16,4
		7	16,5	20,8	22,1
		8	16,7	19,9	20,1
		9	19,4	14,1	19,4
		10	19,4	17,2	17,5
R (Minimum)			15,9	14,1	16,4
R (Maksimum)			20,8	20,8	22,1
R (Rata-rata)			18,18	17,77	19,07

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 2 - 12	1	17,3	16,7	21,3
		2	18,5	15,3	21,8
		3	15,2	14,3	21,6
		4	21,1	18,4	20,5
		5	22,4	16,7	21,8
		6	17,1	15,7	18,2
		7	17,3	18,5	19,0
		8	19,1	16,3	19,3
		9	18,4	18,3	17,9
		10	20,9	16,1	16,7
R (Minimum)			15,2	14,3	16,7
R (Maksimum)			22,4	18,5	21,8
R (Rata-rata)			18,73	16,63	19,81

Hammer Test K-150 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 3 - 1	1	16,4	19,0	20,2
		2	18,3	19,2	18,8
		3	17,9	21,1	19,9
		4	18,3	18,7	19,2
		5	17,6	18,0	24,0
		6	15,4	17,8	18,5
		7	18,3	19,5	21,8
		8	16,8	17,3	19,2
		9	19,9	18,7	21,2
		10	19,0	20,2	21,7
R (Minimum)			15,4	17,3	18,5
R (Maksimum)			19,9	21,1	24,0
R (Rata-rata)			17,79	18,95	20,45

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 3 - 2	1	14,7	18,7	21,2
		2	18,8	15,7	22,2
		3	19,0	19,9	24,8
		4	14,7	20,0	21,4
		5	16,1	20,8	19,9
		6	17,9	22,2	21,8
		7	15,7	19,9	20,7
		8	16,8	14,4	17,4
		9	17,8	19,1	27,3
		10	15,7	19,3	22,7
R (Minimum)			14,7	14,4	17,4
R (Maksimum)			19,0	22,2	27,3
R (Rata-rata)			16,72	19,00	21,94

Hammer Test K-150 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 3 - 3	1	16,0	17,7	19,5
		2	20,0	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)			16,0	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	19,6	22,1	20,3
		2	19,1	19,0	20,5
		3	20,7	20,1	21,0
		4	16,3	21,6	17,6
		5	22,0	18,8	20,6
		6	16,7	19,0	17,9
		7	22,1	19,7	17,3
		8	19,2	21,1	20,1
		9	17,8	23,2	21,2
		10	20,0	21,2	20,5
R (Minimum)			16,3	18,8	17,3
R (Maksimum)			22,1	23,2	21,2
R (Rata-rata)			19,35	20,58	19,70

Hammer Test K-150 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	21,0
		6	18,6	19,3	20,6
		7	17,7	20,0	20,2
		8	16,8	20,6	20,6
		9	17,4	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	17,2	20,5	19,4
		2	22,7	16,6	20,1
		3	22,8	20,7	18,9
		4	18,4	17,6	22,8
		5	18,4	21,4	19,9
		6	20,1	22,9	20,2
		7	19,2	18,5	19,8
		8	22,6	20,8	21,5
		9	19,0	20,8	19,9
		10	20,9	19,1	19,2
R (Minimum)			17,2	16,6	18,9
R (Maksimum)			22,8	22,9	22,8
R (Rata-rata)			20,13	19,89	20,17

Hammer Test K-150 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 3 - 7	1	20,1	16,7	19,8
		2	24,1	18,7	23,4
		3	20,7	16,4	21,2
		4	15,0	17,9	21,7
		5	25,1	19,0	23,9
		6	21,6	17,1	19,6
		7	19,2	16,9	17,0
		8	19,2	17,8	19,8
		9	15,9	17,6	18,6
		10	18,7	21,0	21,1
R (Minimum)			15,0	16,4	17,0
R (Maksimum)			25,1	21,0	23,9
R (Rata-rata)			19,96	17,91	20,61

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 3 - 8	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	21,0
		6	18,6	19,3	20,6
		7	17,7	20,0	20,2
		8	16,8	20,6	20,6
		9	17,4	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)			18,27	20,38	20,29

Hammer Test K-150 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 3 - 9	1	16,8	16,9	20,1
		2	16,9	18,7	23,9
		3	14,5	14,8	17,9
		4	16,6	19,7	22,2
		5	20,1	18,9	22,0
		6	15,9	17,9	20,1
		7	17,5	17,9	18,8
		8	18,0	18,2	20,4
		9	15,4	15,6	18,5
		10	17,9	16,6	22,2
R (Minimum)			14,5	14,8	17,9
R (Maksimum)			20,1	19,7	23,9
R (Rata-rata)			16,96	17,52	20,61

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	19,0	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	19,0
		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)			18,80	19,32	21,03

Hammer Test K-150 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)			15,0	16,4	17,0
R (Maksimum)			25,1	21,0	23,9
R (Rata-rata)			19,96	17,91	20,61

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	21,0	22,6
		5	17,8	17,6	20,3
		6	16,0	21,6	17,9
		7	17,1	17,7	19,5
		8	20,9	17,0	22,8
		9	19,3	19,9	22,7
		10	19,0	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 K-175 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 4 - 1	1	20,1	16,7	19,8
		2	24,1	18,7	23,4
		3	20,7	16,4	21,2
		4	15,0	17,9	21,7
		5	25,1	19,0	23,9
		6	21,6	17,1	19,6
		7	19,2	16,9	17,0
		8	19,2	17,8	19,8
		9	15,9	17,6	18,6
		10	18,7	21,0	21,1
R (Minimum)			15	16,4	17
R (Maksimum)			25,1	21	23,9
R (Rata-rata)			19,96	17,91	20,61

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 4 - 2	1	25,6	19,4	18,9
		2	28,3	21,3	21,4
		3	17,9	22,9	17,3
		4	20,1	22,6	20,5
		5	23,1	22,9	20,1
		6	18,7	19,9	18,2
		7	18,3	17,3	19,8
		8	21,0	21,1	18,9
		9	16,4	16,7	20,5
		10	20,5	22,8	18,3
R (Minimum)			16,4	16,7	17,3
R (Maksimum)			28,3	22,9	21,4
R (Rata-rata)			20,99	20,69	19,39

Hammer Test K-175 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 4 - 3	1	15,2	18,6	17,4
		2	16,7	20,9	20,6
		3	17,0	17,7	24,8
		4	15,7	20,7	20,4
		5	19,9	21,8	18,3
		6	14,7	20,2	18,9
		7	18,1	19,2	19,7
		8	20,2	19	21,4
		9	15,9	19,4	18,3
		10	18,7	23,2	20,4
R (Minimum)			14,7	17,7	17,4
R (Maksimum)			20,2	23,2	24,8
R (Rata-rata)			17,21	20,07	20,02

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 4 - 4	1	17,8	19,1	27,3
		2	15,7	19,3	22,7
		3	15,7	19,9	20,7
		4	16,8	14,4	17,4
		5	16,1	20,8	19,9
		6	17,9	22,2	21,8
		7	19,0	19,9	24,8
		8	14,7	20,0	21,4
		9	14,7	18,7	21,2
		10	18,8	15,7	22,2
R (Minimum)			14,7	14,4	17,4
R (Maksimum)			19,0	22,2	27,3
R (Rata-rata)			16,72	19,00	21,94

Hammer Test K-175 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 4 - 5	1	18,9	15,9	20,0
		2	16,1	17,9	14,7
		3	19,0	20,2	18,2
		4	16,1	17,8	18,9
		5	17,9	19,6	16,9
		6	14,7	18,8	17,1
		7	18,1	19,6	19,0
		8	16,3	20,3	19,0
		9	19,9	16,4	16,2
		10	17,9	19,2	18,9
R (Minimum)			14,7	15,9	14,7
R (Maksimum)			19,9	20,3	20,0
R (Rata-rata)			17,49	18,57	17,89

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
6	BT 4 - 6	1	18,8	22,3	20,7
		2	17,6	19,1	20,2
		3	19,6	17,8	15,0
		4	17,7	20,4	16,8
		5	16,4	17,1	16,8
		6	18,1	17,9	16,3
		7	18,6	18,8	18,9
		8	16,2	24,6	15,9
		9	17,6	17,6	20,6
		10	17,5	21,8	16,0
R (Minimum)			16,2	17,1	15,0
R (Maksimum)			19,6	24,6	20,7
R (Rata-rata)			17,81	19,74	17,72

Hammer Test K-175 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 4 - 7	1	19,6	22,1	20,3
		2	19,1	19,0	20,5
		3	20,7	20,1	21,0
		4	16,3	21,6	17,6
		5	22,0	18,8	20,6
		6	16,7	19,0	17,9
		7	22,1	19,7	17,3
		8	19,2	21,1	20,1
		9	17,8	23,2	21,2
		10	20	21,2	20,5
R (Minimum)			16,3	18,8	17,3
R (Maksimum)			22,1	23,2	21,2
R (Rata-rata)			19,35	20,58	19,70

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 4 - 8	1	19,2	24,3	16,2
		2	20,4	17,4	21,5
		3	18,5	18,5	22,4
		4	22,3	19,2	19,4
		5	19,8	18,7	18,1
		6	21,5	20,5	20,5
		7	20,9	19,3	20,5
		8	19,0	21,8	19,9
		9	17,7	18,0	22,2
		10	20,9	18,5	17,9
R (Minimum)			17,7	17,4	16,2
R (Maksimum)			22,3	24,3	22,4
R (Rata-rata)			20,02	19,62	19,86

Hammer Test K-175 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 4 - 9	1	17,2	20,5	19,4
		2	22,7	16,6	20,1
		3	22,8	20,7	18,9
		4	18,4	17,6	22,8
		5	18,4	21,4	19,9
		6	20,1	22,9	20,2
		7	19,2	18,5	19,8
		8	22,6	20,8	21,5
		9	19,0	20,8	19,9
		10	20,9	19,1	19,2
R (Minimum)			17,2	16,6	18,9
R (Maksimum)			22,8	22,9	22,8
R (Rata-rata)			20,13	19,89	20,17

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
10	BT 4 - 10	1	15,2	19,8	17,5
		2	16,6	21,7	17,7
		3	20,2	19,8	20,8
		4	17,8	22,3	19,8
		5	19,0	18,0	16,4
		6	19,5	19,5	15,6
		7	20,6	20,1	20,5
		8	20,9	16,4	17,8
		9	18,2	17,5	22,1
		10	18,3	17,0	20,9
R (Minimum)			15,2	16,4	15,6
R (Maksimum)			20,9	22,3	22,1
R (Rata-rata)			18,63	19,21	18,91

Hammer Test K-175 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 4 - 11	1	18,9	17,6	20,4
		2	16,1	19	20,7
		3	15,8	19,7	21,2
		4	18,1	21,6	17,5
		5	20,5	18,4	21
		6	21,9	19,3	17,82
		7	20,6	21,7	17,2
		8	17,4	20,3	20,9
		9	22,1	22,1	19,1
		10	19,7	18,2	16,8
R (Minimum)			15,8	17,6	16,8
R (Maksimum)			22,1	22,1	21,2
R (Rata-rata)			19,11	19,79	19,26

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 4 - 12	1	17,3	16,3	19,8
		2	20,7	17,2	22,0
		3	18,7	15,2	21,2
		4	20,7	21,0	23,2
		5	23,0	19,6	23,0
		6	20,7	20,0	21,3
		7	20,8	18,3	20,2
		8	19,8	18,3	19,9
		9	19,3	17,0	20,1
		10	23,6	19,0	19,4
R (Minimum)			17,3	15,2	19,4
R (Maksimum)			23,6	21,0	23,2
R (Rata-rata)			20,46	18,19	21,01

Hammer Test K-200 Benda Uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
1	BT 5 - 1	1	16,8	16,3	21,4
		2	21,3	19,7	22,2
		3	18,9	20,4	19,3
		4	21,5	21,2	20,2
		5	20	15,2	21,4
		6	19,6	16,3	19,1
		7	20,6	16,3	17,9
		8	19,3	17,1	18,3
		9	16,3	18,3	20,4
		10	21,4	20,2	18,1
R (Minimum)			16,3	15,2	17,9
R (Maksimum)			21,5	21,2	22,2
R (Rata-rata)			19,57	18,10	19,83
No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
2	BT 5 - 2	1	22,7	21,5	19,4
		2	22,5	21,0	20,0
		3	23,1	18,5	18,0
		4	20,9	19,7	21,6
		5	23,0	23,7	22,5
		6	20,1	22,1	22,1
		7	18,3	20,5	19,3
		8	21,1	21,0	21,7
		9	20,7	22,3	18,7
		10	19,5	24,1	20,9
R (Minimum)			15,1	16	16,7
R (Maksimum)			26,7	26,3	24,6
R (Rata-rata)			19,31	19,63	19,6

Hammer Test K-200 Benda Uji 3 dan 4

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
3	BT 5 - 3	1	19,0	20,4	19,2
		2	18,9	17,9	20,8
		3	28,1	16,4	20,3
		4	18,5	19,6	22,5
		5	19,4	21,0	23,5
		6	17,3	20,2	24,1
		7	19,8	16,6	22,2
		8	16,8	19,9	22,8
		9	21,6	19,2	22,6
		10	21,9	18,7	22,8
R (Minimum)			16,8	16,4	19,2
R (Maksimum)			28,1	21,0	24,1
R (Rata-rata)			20,13	18,99	22,08

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
4	BT 5 - 4	1	17,3	17,5	21,6
		2	20,8	24,7	17,3
		3	17,4	14,5	14,0
		4	21,5	21,2	22,4
		5	24,2	22,7	21,2
		6	19,7	18,0	22,3
		7	18,1	19,3	14,5
		8	20,0	22,5	19,6
		9	15,8	20,8	24,1
		10	21,2	15,8	17,2
R (Minimum)			15,8	14,5	14
R (Maksimum)			24,2	24,7	24,1
R (Rata-rata)			19,60	19,70	19,42

Hammer Test K-200 Benda Uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
5	BT 5 - 5	1	18,8	15	22,2
		2	21,5	16,9	21,1
		3	17,5	15,6	17
		4	21,6	21	20,6
		5	25,5	17,5	17,6
		6	23,5	17	20,7
		7	19,2	21,4	15,9
		8	23,1	22,6	18,3
		9	17,5	20,4	16,5
		10	26	20,8	23,4
R (Minimum)			16,0	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
6	BT 5 - 6	1	23,0	23,7	24,5
		2	21,1	21,0	20,9
		3	23,5	21,9	19,3
		4	23,4	24,1	20,9
		5	22,5	22,3	18,7
		6	22,5	22,1	22,1
		7	22,7	23,5	23,4
		8	21,6	19,7	21,6
		9	22,8	24,3	21,6
		10	26,2	21,9	22,2
R (Minimum)			21,1	19,7	18,7
R (Maksimum)			26,2	24,3	24,5
R (Rata-rata)			22,93	22,45	21,52

Hammer Test K-200 Benda Uji 7 dan 8

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
7	BT 5 - 7	1	20,7	22,3	18,7
		2	19,5	24,1	20,9
		3	18,3	20,5	19,3
		4	21,1	21,0	21,7
		5	23,0	23,7	22,5
		6	20,1	22,1	22,1
		7	23,1	18,5	18,0
		8	20,9	19,7	21,6
		9	22,7	21,5	19,4
		10	22,5	21,0	20,0
R (Minimum)			18,3	18,5	18
R (Maksimum)			23,1	24,1	22,5
R (Rata-rata)			21,19	21,44	20,42

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
8	BT 5 - 8	1	14,9	17,8	22,5
		2	21,5	15,5	16,5
		3	16,3	19,5	20,1
		4	18,0	15,2	21,4
		5	19,4	19,0	20,4
		6	19,3	17,0	19,1
		7	15,7	16,0	20,3
		8	18,1	14,3	21,2
		9	16,3	16,1	21,0
		10	18,4	15,7	19,5
R (Minimum)			14,9	14,3	16,5
R (Maksimum)			21,5	19,5	22,5
R (Rata-rata)			17,79	16,61	20,20

Hammer Test K-200 Benda Uji 9 dan 10

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
9	BT 5 - 9	1	21,5	17,5	22,6
		2	23,6	20,1	24,5
		3	20,1	18,2	23,0
		4	18,5	26,7	23,2
		5	22,7	20,2	22,8
		6	16,5	19,0	20,2
		7	20,0	23,7	19,7
		8	21,4	20,7	21,4
		9	19,3	22,4	18,2
		10	18,0	20,0	21,0
R (Minimum)			16,5	17,5	18,2
R (Maksimum)			23,6	26,7	24,5
R (Rata-rata)			20,16	20,85	21,66

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
10	BT 5 - 10	1	18,6	17,7	17,9
		2	19,4	19,8	22,1
		3	21,8	18,5	21,3
		4	19,1	19,6	21,8
		5	21,0	19,1	21,0
		6	20,6	18,6	19,3
		7	20,2	17,7	20,0
		8	20,6	16,8	20,6
		9	20,1	17,4	19,5
		10	21,5	16,8	19,6
R (Minimum)			18,6	16,8	17,9
R (Maksimum)			21,8	19,8	22,1
R (Rata-rata)			20,29	18,20	20,31

Hammer Test K-200 Benda Uji 11 dan 12

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
11	BT 5 - 11	1	22,7	26,3	25,1
		2	25,1	26,7	22,6
		3	23,1	25,1	24,3
		4	27,1	19,7	24,8
		5	23,0	23,7	22,5
		6	24,6	25,1	22,1
		7	24,6	23,6	26,9
		8	24,1	26,4	22,6
		9	20,7	22,3	18,7
		10	19,5	24,1	20,9
R (Minimum)			19,5	19,7	18,7
R (Maksimum)			27,1	26,7	26,9
R (Rata-rata)			23,45	24,30	23,05

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound		
			Posisi		
			A	B	C
12	BT 5 - 12	1	21,2	23,2	15,2
		2	20,5	20,2	18,9
		3	29,6	19,0	20,2
		4	22,4	19,2	21,5
		5	21,4	23,1	20,0
		6	21,7	23,7	20,2
		7	22,6	20,0	20,7
		8	20,2	19,4	21,5
		9	22,4	20,2	23,7
		10	20,1	19,0	19,5
R (Minimum)			20,1	19,0	15,2
R (Maksimum)			29,6	23,7	23,7
R (Rata-rata)			22,21	20,70	20,14

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Uji UPV

UPV Test K-100

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	149	4209	4269	4109,83
		2	149	4039	4093	
		3	150	4060	3989	
2	BT 1 - 2	1	148	4241	4181	4212,33
		2	151	4148	4230	
		3	150	4237	4237	
3	BT 1 - 3	1	149	4150	4060	4146,00
		2	148	4205	4066	
		3	149	4150	4245	
4	BT 1 - 4	1	150	4178	4121	4242,33
		2	150	4237	4386	
		3	151	4266	4266	
5	BT 1 - 5	1	151	4266	4059	4241,33
		2	147	4212	4212	
		3	150	4425	4274	
6	BT 1 - 6	1	150	4274	4121	4162,17
		2	149	4269	3984	
		3	149	4209	4116	
7	BT 1 - 7	1	148	4296	4179	4110,17
		2	150	4167	3968	
		3	150	3749	4302	
8	BT 1 - 8	1	149	4289	4217	4218,17
		2	148	4032	4312	
		3	148	4264	4195	
9	BT 1 - 9	1	151	4293	4275	4170,00
		2	150	4012	4092	
		3	151	4173	4175	
10	BT 1 - 10	1	150	4216	4092	4136,83
		2	147	4167	4167	
		3	150	3978	4201	
11	BT 1 - 11	1	149	4109	4197	4157,00
		2	150	4284	4043	
		3	150	4227	4082	
12	BT 1 - 12	1	150	3991	4139	4037,83
		2	150	4167	3924	
		3	151	4021	3985	

UPV Test K-125

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi mm	Direct Velocity Rata-rata		Nilai Rata-Rata
				1 (m/s)	2 (m/s)	
1	BT 2 - 1	1	150	4301	4360	4312,67
		2	151	4204	4327	
		3	149	4390	4294	
2	BT 2 - 2	1	150	4451	4237	4316,00
		2	150	4360	4274	
		3	148	4296	4278	
3	BT 2 - 3	1	151	4302	4327	4278,00
		2	150	4178	4261	
		3	149	4269	4331	
4	BT 2 - 4	1	150	4382	4298	4287,33
		2	151	4327	4206	
		3	150	4274	4237	
5	BT 2 - 5	1	151	4390	4231	4270,00
		2	149	4269	4336	
		3	149	4209	4185	
6	BT 2 - 6	1	149	4370	4375	4335,83
		2	150	4387	4367	
		3	151	4287	4229	
7	BT 2 - 7	1	150	4368	4380	4299,68
		2	151	4201	4345	
		3	148	4233	4272	
8	BT 2 - 8	1	148	4329	4388	4320,48
		2	149	4254	4301	
		3	151	4371	4280	
9	BT 2 - 9	1	148	4370	4334	4307,77
		2	150	4220	4232	
		3	149	4343	4348	
10	BT 2 - 10	1	148	4327	4325	4290,67
		2	150	4321	4204	
		3	150	4280	4287	
11	BT 2 - 11	1	151	4354	4293	4326,00
		2	149	4307	4329	
		3	150	4359	4313	
12	BT 2 - 12	1	148	4223	4363	4306,53
		2	149	4275	4269	
		3	150	4347	4364	

UPV Test K-150

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	151	4355	4419	4257,50
		2	149	4150	4116	
		3	150	4174	4331	
2	BT 3 - 2	1	150	4116	4521	4355,00
		2	150	4331	4331	
		3	149	4370	4461	
3	BT 3 - 3	1	149	4331	4395	4263,50
		2	151	4148	4148	
		3	150	4261	4298	
4	BT 3 - 4	1	151	4521	4454	4469,17
		2	151	4412	4390	
		3	150	4587	4451	
5	BT 3 - 5	1	151	4302	4327	4195,33
		2	149	4331	3495	
		3	151	4290	4427	
6	BT 3 - 6	1	151	4327	4327	4324,33
		2	149	4395	4276	
		3	151	4415	4206	
7	BT 3 - 7	1	150	4317	4352	4313,50
		2	149	4346	4289	
		3	151	4279	4298	
8	BT 3 - 8	1	150	4338	4268	4315,17
		2	150	4362	4389	
		3	150	4301	4233	
9	BT 3 - 9	1	150	4352	4532	4374,33
		2	149	4473	4213	
		3	150	4370	4306	
10	BT 3 - 10	1	149	4314	4464	4328,00
		2	150	4340	4300	
		3	148	4226	4324	
11	BT 3 - 11	1	150	4290	4312	4302,67
		2	150	4216	4428	
		3	151	4278	4292	
12	BT 3 - 12	1	149	4371	4336	4381,83
		2	150	4391	4398	
		3	150	4484	4311	

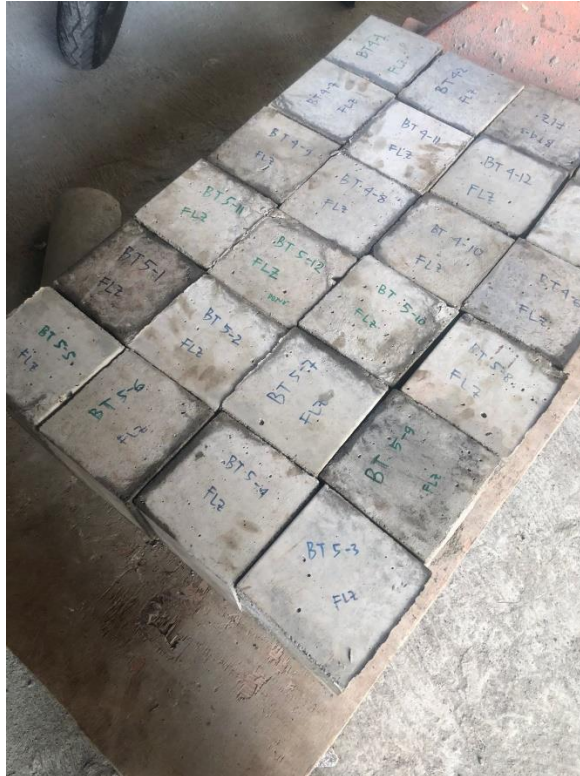
UPV Test K-175

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	4425	4425	4416,17
		2	150	4437	4360	
		3	150	4425	4425	
2	BT 4 - 2	1	151	4070	4206	4297,67
		2	150	4237	4298	
		3	151	4454	4521	
3	BT 4 - 3	1	150	4298	4425	4332,50
		2	151	4327	4266	
		3	151	4352	4327	
4	BT 4 - 4	1	150	4425	4425	4367,17
		2	150	4335	4298	
		3	150	4360	4360	
5	BT 4 - 5	1	150	4323	4274	4344,83
		2	151	4327	4327	
		3	151	4454	4364	
6	BT 4 - 6	1	151	4092	4529	4378,00
		2	151	4476	4454	
		3	151	4390	4327	
7	BT 4 - 7	1	149	4374	4434	4401,17
		2	150	4448	4352	
		3	151	4384	4415	
8	BT 4 - 8	1	149	4429	4389	4394,50
		2	150	4366	4413	
		3	150	4352	4418	
9	BT 4 - 9	1	151	4416	4393	4389,83
		2	150	4372	4361	
		3	149	4367	4430	
10	BT 4 - 10	1	150	4407	4368	4395,33
		2	150	4398	4395	
		3	150	4441	4363	
11	BT 4 - 11	1	150	4417	4430	4407,17
		2	150	4382	4436	
		3	148	4362	4416	
12	BT 4 - 12	1	149	4439	4431	4409,33
		2	148	4397	4361	
		3	149	4422	4406	

UPV Test K-200

No	Kode Benda Uji	Titik UPV	Panjang Sisi m	Direct Velocity Rata-Rata		Nilai Rata-Rata
				1 (m/s)	2 (m/s)	
1	BT 5 - 1	1	150	4521	4521	4535,00
		2	151	4491	4559	
		3	149	4559	4559	
2	BT 5 - 2	1	149	4491	4491	4492,00
		2	149	4360	4360	
		3	150	4660	4590	
3	BT 5 - 3	1	149	4454	4521	4498,67
		2	151	4521	4521	
		3	150	4454	4521	
4	BT 5 - 4	1	151	4559	4518	4490,00
		2	149	4521	4521	
		3	151	4327	4494	
5	BT 5 - 5	1	152	4425	4360	4444,17
		2	146	4360	4399	
		3	150	4630	4491	
6	BT 5 - 6	1	148	4425	4425	4432,00
		2	151	4327	4454	
		3	151	4448	4513	
7	BT 5 - 7	1	149	4430	4426	4396,83
		2	149	4370	4404	
		3	150	4396	4355	
8	BT 5 - 8	1	149	4422	4415	4396,50
		2	148	4376	4359	
		3	151	4409	4398	
9	BT 5 - 9	1	150	4420	4368	4392,33
		2	149	4377	4357	
		3	151	4438	4394	
10	BT 5 - 10	1	149	4432	4356	4391,33
		2	150	4419	4371	
		3	150	4359	4411	
11	BT 5 - 11	1	152	4424	4430	4414,33
		2	147	4445	4365	
		3	150	4438	4384	
12	BT 5 - 12	1	149	4407	4428	4398,33
		2	150	4427	4402	
		3	150	4358	4368	

Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian



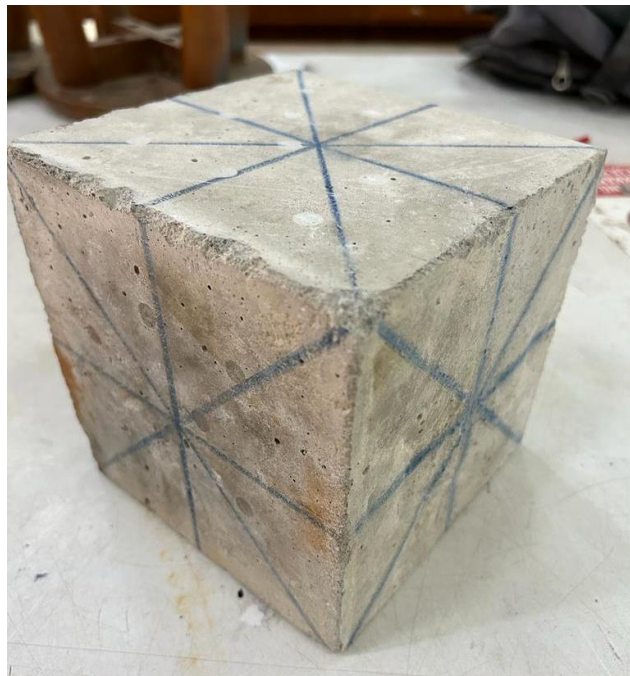
Gambar L-5.1 Sampel Benda Uji



Gambar L-5.2 Titik Pengujian *Hammer*



Gambar L-5.3 Penjepitan Benda Uji dengan Alat *Clamp F*



Gambar L-5.4 Pemberian Tanda untuk Posisi Pengujian *UPV*



Gambar L-5.5 Pengujian *UPV*



Gambar L-5.6 Pengujian *Hammer*



Gambar L-5.7 Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan *Compression Testing Machine*