

**TUGAS AKHIR**

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

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



**MUHAMMAD ARKAM MUSSADAT  
19511060**

**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 FLY ASH MUTU SEDANG (CORRELATION BETWEEN HAMMER AND UPV TEST RESULTS WITH THE COMPRESSIVE STRENGTH TEST RESULTS OF MEDIUM-GRADE FLY ASH CONCRETE)

Disusun oleh


**Muhammad Arkam Mussadat**  
19511060

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


Diuji pada tanggal  
28 November 2023

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

  
6/12 23  
Malik Mushthofa, S.T., M.Eng  
NIK: 185111302

Penguji I

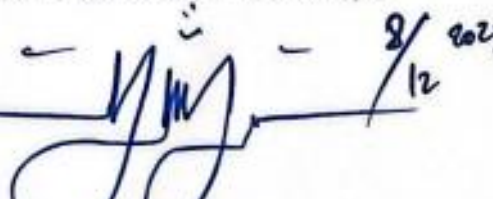
  
7/12 2023  
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D(Eng), IPM  
NIK: 0951101101

Penguji II

  
6/12 23  
Jafar S. T., M. T., MURP.  
NIK: 185111305

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil



  
8/12 2023  
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D(Eng), IPM  
NIK:095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 6 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,

A 10,000 Indonesian postage stamp (METERAL PENYEL) with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the serial number GB521AKX773158712.

Muhammad Arkam Mussadat

(19511060)

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrohiim.*

*Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh*

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

Dalam Penyusunan Tugas Akhir ini penulis mengalami banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat saran, kritik, bimbingan, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, *Alhamdulillah* Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Indriawan dan Ibu Afifah Intan Widuri, selaku orang tua penulis yang sudah banyak memberikan kasih sayang. Terimakasih atas segala pengorbanan yang tak ternilai baik material ataupun spiritual, semoga Allah SWT memberikan kesehatan dan kelancaran selalu.
2. Rizki Wirawan dan Ahmed Joko Susilo, kakak penulis yang selalu memberikan motivasi, doa, dan dukungan untuk terus berjuang demi masa depan yang diharapkan.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan juga selaku penguji 1.
4. Bapak Malik Musthofa, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasihat, saran, dan semangat yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan penguji yang banyak membantu selama menjalani perkuliahan ini.

6. Seluruh Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang senantiasa memberikan ragam ilmu sedari awal penulis menekuni studi di Program Studi Teknik Sipil, FTSP UII.
7. Izza Nabila Rosananda, yang selalu menyemangati penulis, menjadi pengingat, tempat berkeluh kesah dan selalu memberikan dukungan saya hingga saat ini.
8. Temen Y: Bin Bangkit, sahabat rasa keluarga sejak Sekolah Menengah Atas yang selalu bersama sampai sekarang, semoga selalu diberikan kesehatan untuk menggapai cita-citanya yang diharapkan.
9. Dewi Ayu Harjani, M Rizki, Safira Intan, Defira Amaralda R, Dafri A, Azhar Galih, M Naufal, Lazuardi Hasenda dan seluruh teman-teman kelas B yang sudah banyak memberikan banyak bantuan dan dukungan selama menempuh studi.
10. Muhammad Alwan Widodo dan Fildzah Nur Rizqiyah, teman seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, terima kasih atas saran, motivasi, kritik dan selalu menemani penulis dalam segala kesulitan maupun kemudahan yang penulis lalui.
11. Fandika Ahmad Dwi S, Raihan Prasetyawan, Diina Romiizahatuuf H, Sallya Shabrina, Whisnu Wikan W, Kevin Fadhilul Azyam, serta seluruh saudara seperjuangan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil 2021/2022 memberikan cerita dan pengalaman yang berkesan.
12. Trio Gati P, Anggita Zuma Artha Selian, dan MH Alief Akbar Akmal, teman seperjuangan yang selalu memberikan banyak bantuan dan dukungan yang berarti kepada penulis.
13. Andien Salsabila, Maulana Gita C, Roby Octavian, Geraldin Firyan S, Sarah Ghina, dan Reyhan Garneta teman dan adik seperjuangan selalu memberikan dukungan, pembelajaran, dan bantuannya semoga hal baik selalu menyertai kita.
14. Rafi Wahyu Perdana, Muhammad Faizal Akbar, Gildan Rahmat, Muhammad Naufal, dan teman-teman kontrakan keluarga cemara selalu ada disaat sepi.

15. Teman-teman singolast yang tidak bisa disebutkan satu per satu karena telah memberikan kebersamaan selama berkuliah di Universitas Islam Indonesia.

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

*Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.*

Yogyakarta, 6 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Arkam Mussadat

(19511060)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxi
ABSTRAK	xxii
ABSTRACT	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.3 Keaslian Penelitian	12
2.4 Penentuan Kadar <i>Fly Ash</i> .	23
BAB III LANDASAN TEORI	25
3.1 Beton	25
3.1.1 Klasifikasi Beton	25
3.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton	26
3.2 Material Penyusun Beton	27

3.2.1 Semen	27
3.2.2 Agregat	28
3.2.3 Air	30
3.2.4 <i>FlyAsh</i>	31
3.3 Metode Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> )	32
3.2.1 Uji <i>Slump</i> .	40
3.3 Pengujian Beton	41
3.3.1 <i>UPV Test</i>	41
3.3.2 <i>Hammer Test</i>	44
3.3.3 <i>Compression Test</i>	46
3.4 Metode Analisis	47
3.4.1 Analisis Regresi	47
3.4.2 Kesalahan Relatif	48
3.4.3 Analisis dengan <i>Software</i>	49
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	50
4.1 Tinjauan Umum	50
4.2 Lokasi Penelitian	50
4.3 Alat dan Bahan Benda Uji	50
4.3.1 Alat	50
4.3.2 Bahan	55
4.4 Keterangan Benda Uji	57
4.5 Pelaksanaan Penelitian	58
4.5.1 Pengujian Material Benda Uji	62
4.5.2 Pencetakan Benda Uji	62
4.5.3 Pembongkaran Benda Uji	62
4.5.4 Perawatan Beton / <i>Curing</i>	63
4.5.5 Tahapan Penelitian	63
4.6 Alur Penelitian	66
<b>BAB 5 DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN</b>	68
5.1 Umum	68
5.2 Pengujian Agregat Kasar	68



5.3 Pengujian Agregat Halus	75
5.3 Perhitungan Kebutuhan Material beton	81
5.4 Pengujian Beton	82
5.4.1 Hasil Pengujian <i>UPV Test</i>	82
5.4.2 Hasil Pengujian <i>Hammer Test Digital</i>	88
5.4.3 Hasil Pengujian <i>Compression Test</i>	93
5.5 Analisa Regresi Sederhana dan Korelasi Sederhana	98
5.5.1 Hasil Analisis Regresi Menggunakan <i>Trendline Linier</i> Sederhana	99
5.5.2 Hasil Analisis Regresi Menggunakan <i>Trendline Polynomial</i>	104
5.5.3 Hasil Analisis Regresi Menggunakan <i>Trendline Logarithmi</i>	110
5.5.4 Hasil Analisis Regresi Menggunakan <i>Trendline Exponential</i>	116
5.5.5 Hasil Analisis Regresi Menggunakan <i>Trendline Power</i>	121
5.5.6 Hasil Pembahasan Analisis Regresi Sederhana	127
5.6 Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Berganda	130
5.6.1 Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Menggunakan <i>Software</i> IBM SPSS	130
5.6.2 Grafik Hubungan Korelasi antara <i>UPV Test, Hammer Test, dan</i> <i>Compression Test</i> Menggunakan <i>Software</i> MATHLAB	136
5.7 Kesalahan Relatif	139
5.7.1 Kesalahan Relatif Menggunakan Persamaan Regresi Pengujian	139
5.7.2 Kesalahan Relatif Dibandingkan Dengan Penelitian Terdahulu	144
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	154
6.1 Kesimpulan	154
6.2 Saran	155
DAFTAR PUSTAKA	156
LAMPIRAN	159

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Analisis Regresi antara <i>Hammer Test</i> , <i>Compression Test</i> , dan UPV pada Setiap Benda Uji	9
Tabel 2.2	Hasil Analisis Regresi Penelitian Wirotama (2018)	10
Tabel 2.3	Hasil Analisis Regresi Penelitian Widodo (2023)	11
Tabel 2.4	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	12
Tabel 2.5	Kadar <i>Fly Ash</i> Optimum	23
Tabel 3.1	Jenis Semen Portland	28
Tabel 3.2	Persyaratan Batas-Batas Susunan Butir pada Agregat Kasar	30
Tabel 3.3	Faktor Pengali Untuk Standar Devisiasi bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang dari 30	33
Tabel 3.4	Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang biasa dipakai di Indonesia	34
Tabel 3.5	Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	35
Tabel 3.6	Perkiraan Kadar Air bebas (Kg/m <sup>3</sup> ) yang dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	37
Tabel 3.7	Penentuan Nilai <i>Slump</i>	40
Tabel 4.1	Keterangan Benda Uji	57
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Sampel 1	70
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Sampel 2	70
Tabel 5.3	Gradasi Agregat Kasar	72
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	73
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	74
Tabel 5.6	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1	76

Tabel 5.7	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 2	77
Tabel 5.8	Gradasi Agregat Halus	78
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus	79
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200	80
Tabel 5.11	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	81
Tabel 5.12	Rekapitulasi Kebutuhan Material Beton	82
Tabel 5.13	Hasil Pengujian UPV Mutu Beton F'c 14,5 MPa	83
Tabel 5.14	Hasil Pengujian UPV Mutu Beton F'c 21 MPa	84
Tabel 5.15	Hasil Pengujian UPV Mutu Beton F'c 25 MPa	85
Tabel 5.16	Hasil Pengujian UPV Mutu Beton F'c 30 MPa	86
Tabel 5.17	Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang	87
Tabel 5.18	Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> F'c 14,5 MPa	89
Tabel 5.19	Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> F'c 21 MPa	90
Tabel 5.20	Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> F'c 25 MPa	91
Tabel 5.21	Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> F'c 30 MPa	92
Tabel 5.22	Hasil Pengujian <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	93
Tabel 5.23	Hasil Pengujian <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	93
Tabel 5.24	Hasil Pengujian <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	96
Tabel 5.25	Hasil Pengujian <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	97
Tabel 5.26	Interval Koefisien Korelasi	98
Tabel 5.27	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi Linier Sederhana Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i>	101
Tabel 5.28	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi Linier Sederhana Antara UPV <i>Test</i> dan <i>Compression Test</i>	104
Tabel 5.29	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i>	107
Tabel 5.30	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi <i>Polynomial</i> Antara UPV <i>Test</i> dan <i>Compression Test</i>	110

Tabel 5.31	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i>	113
Tabel 5.32	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i>	116
Tabel 5.33	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i>	118
Tabel 5.34	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i>	121
Tabel 5.35	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi <i>Power</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i>	124
Tabel 5.36	Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi <i>Power</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i>	127
Tabel 5.37	Rekapitulasi Hasil <i>Trendline</i> Regresi antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> Menggunakan <i>Microsoft Excel</i>	128
Tabel 5.38	Rekapitulasi Hasil <i>Trendline</i> Regresi antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> Menggunakan <i>Microsoft Excel</i>	129
Tabel 5.39	<i>Model Summary</i> Pada Benda Uji F'c 14,5 MPa	130
Tabel 5.40	Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F'c 14,5 MPa	131
Tabel 5.41	<i>Model Summary</i> Pada Benda Uji F'c 21 MPa	131
Tabel 5.42	Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F'c 21 MPa	132
Tabel 5.43	<i>Model Summary</i> Pada Benda Uji F'c 25 MPa	132
Tabel 5.44	Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F'c 25 MPa	133
Tabel 5.45	<i>Model Summary</i> Pada Benda Uji F'c 30 MPa	133
Tabel 5.46	Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F'c 30 MPa	134
Tabel 5.47	<i>Model Summary</i> Pada Benda Uji Gabungan	134
Tabel 5.48	Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F'c Gabungan	135
Tabel 5.49	Rekapitulasi Hasil Analisa Regresi Ganda Antara <i>UPV Test</i> , <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i> Menggunakan IBM SPSS	135
Tabel 5.50	Rekapitulasi Hasil Persamaan Regresi <i>Non-Destructive Test</i> dengan <i>Compression test</i> .	139

Tabel 5.51	Kesalahan Relatif Antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil <i>Non-Destructive Test</i>	140
Tabel 5.52	Persamaan Regresi yang dilakukan dengan Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu	144
Tabel 5.53	Kesalahan Relatif Antara Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Regresi	146

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kadar <i>Fly Ash</i> (%) dan Kuat Tekan	24
Gambar 3.1	Grafik hubungan Antara kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji berbentuk silinder diameter 50 mm, tinggi 300 mm)	35
Gambar 3.2	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 10 mm)	37
Gambar 3.3	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20 mm)	38
Gambar 3.4	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 40 mm)	38
Gambar 3.5	Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Bersih	39
Gambar 3.6	Skematik Peralatan untuk Pengujian UPV	43
Gambar 3.7	Struktur Bagian Palu Pantul	45
Gambar 3.8	Sistematik Alat Palu Pantul Saat Pengujian	46
Gambar 3.9	Pengujian Kuat Tekan Beton	47
Gambar 4.1	Saringan Agregat	51
Gambar 4.2	Timbangan	51
Gambar 4.3	Jangka Sorong	51
Gambar 4.4	Oven Pengering	52
Gambar 4.5	Ember	52
Gambar 4.6	Mesin Pengaduk ( <i>Mixer</i> )	52
Gambar 4.7	Cetakan Beton Silinder	53
Gambar 4.8	Kunci Inggris	53
Gambar 4.9	Alat Uji <i>Slump</i>	53
Gambar 4.10	Alat UPV	54
Gambar 4.11	Clem F	54
Gambar 4.12	Alat <i>Hammer Test</i>	54

Gambar 4.13	Alat <i>Compression Testing Machine</i>	55
Gambar 4.14	Semen	55
Gambar 4.15	Pasir	56
Gambar 4.16	Agregat Kasar	56
Gambar 4.17	Air	56
Gambar 4.18	<i>Fly Ash</i>	57
Gambar 4.19	Kalibrasi Alat Pengujian UPV	63
Gambar 4.20	Posisi Alat <i>Concrete Hammer</i>	64
Gambar 4.21	Pembacaan Alat <i>Concrete Hammer</i>	65
Gambar 4.22	Diagram <i>Flowchart</i> Alur Penelitian	67
Gambar 5.1	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	72
Gambar 5.2	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	73
Gambar 5.3	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	78
Gambar 5.4	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	79
Gambar 5.5	Grafik Hasil Pengujian UPV <i>test F'c</i> 14,5 MPa	83
Gambar 5.6	Grafik Hasil Pengujian UPV <i>test F'c</i> 21 MPa	84
Gambar 5.7	Grafik Hasil Pengujian UPV <i>test F'c</i> 25 MPa	85
Gambar 5.8	Grafik Hasil Pengujian UPV <i>test F'c</i> 30 MPa	86
Gambar 5.9	Hasil Pengujian Kecepatan Rambat Gelombang dan Berat Volume Silinder Beton	88
Gambar 5.10	Grafik Hasil pengujian <i>Hammer Test F'c</i> 14,5 MPa	89
Gambar 5.11	Grafik Hasil pengujian <i>Hammer Test F'c</i> 14,5 MPa	90
Gambar 5.12	Grafik Hasil pengujian <i>Hammer Test F'c</i> 14,5 MPa	91
Gambar 5.13	Grafik Hasil pengujian <i>Hammer Test F'c</i> 14,5 MPa	92
Gambar 5.14	Grafik Hasil Pengujian <i>Compression Test F'c</i> 14,5 MPa	94
Gambar 5.15	Grafik Hasil Pengujian <i>Compression Test F'c</i> 21 MPa	95
Gambar 5.16	Grafik Hasil Pengujian <i>Compression Test F'c</i> 25 MPa	96
Gambar 5.17	Grafik Hasil Pengujian <i>Compression Test F'c</i> 30 MPa	97

Gambar 5.18	Grafik Regresi Linier Sederhana Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	99
Gambar 5.19	Grafik Regresi Linier Sederhana Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	100
Gambar 5.20	Grafik Regresi Linier Sederhana Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	100
Gambar 5.21	Grafik Regresi Linier Sederhana Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	100
Gambar 5.22	Grafik Regresi Linier Sederhana Gabungan Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i>	101
Gambar 5.23	Grafik Regresi Linier Sederhana Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	102
Gambar 5.24	Grafik Regresi Linier Sederhana Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	102
Gambar 5.25	Grafik Regresi Linier Sederhana Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	103
Gambar 5.26	Grafik Regresi Linier Sederhana Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	103
Gambar 5.27	Grafik Regresi Linier Sederhana Gabungan Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c	104
Gambar 5.28	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	105
Gambar 5.29	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	105
Gambar 5.30	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	106
Gambar 5.31	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	106
Gambar 5.32	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Gabungan Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c	107



Gambar 5.33	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	108
Gambar 5.34	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	108
Gambar 5.35	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	109
Gambar 5.36	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	109
Gambar 5.37	Grafik Regresi <i>Polynomial</i> Gabungan Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c	110
Gambar 5.38	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	111
Gambar 5.39	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	111
Gambar 5.40	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	112
Gambar 5.41	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	112
Gambar 5.42	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Gabungan Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c	112
Gambar 5.43	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	113
Gambar 5.44	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	114
Gambar 5.45	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	114
Gambar 5.46	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	115
Gambar 5.47	Grafik Regresi <i>Logarithmic</i> Gabungan Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c	115

Gambar 5.48	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	116
Gambar 5.49	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	117
Gambar 5.50	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	117
Gambar 5.51	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	117
Gambar 5.52	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Gabungan Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c	118
Gambar 5.53	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	119
Gambar 5.54	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	119
Gambar 5.55	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	120
Gambar 5.56	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	120
Gambar 5.57	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Gabungan Antara <i>UPV Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c	121
Gambar 5.58	Grafik Regresi <i>Power</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	122
Gambar 5.59	Grafik Regresi <i>Exponential</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	122
Gambar 5.60	Grafik Regresi <i>Power</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	123
Gambar 5.61	Grafik Regresi <i>Power</i> Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	123
Gambar 5.62	Grafik Regresi <i>Power</i> Gabungan Antara <i>Hammer Test</i> dan <i>Compression Test</i> F'c	124

Gambar 5.63	Grafik Regresi <i>Power</i> Antara UPV Test dan <i>Compression Test</i> F'c 14,5 MPa	125
Gambar 5.64	Grafik Regresi <i>Power</i> Antara UPV Test dan <i>Compression Test</i> F'c 21 MPa	125
Gambar 5.65	Grafik Regresi <i>Power</i> Antara UPV Test dan <i>Compression Test</i> F'c 25 MPa	126
Gambar 5.66	Grafik Regresi <i>Power</i> Antara UPV Test dan <i>Compression Test</i> F'c 30 MPa	126
Gambar 5.67	Grafik Regresi <i>Power</i> Gabungan Antara UPV Test dan <i>Compression Test</i> F'c	127
Gambar 5.68	Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i> Mutu Beton F'c 14,5 MPa	136
Gambar 5.69	Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i> Mutu Beton F'c 21 MPa	137
Gambar 5.70	Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i> Mutu Beton F'c 25 MPa	137
Gambar 5.71	Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i> Mutu Beton F'c 30 MPa	138
Gambar 5.72	Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i> Mutu Beton F'c Mutu Beton Gabungan	138

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Surat Permohonan Penggunaan Laboratorium	160
Lampiran 2	Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium	161
Lampiran 3	Laporan Hasil Perencanaan Campuran	162
Lampiran 4	Laporan Hasil Pengujian UPV Test	166
Lampiran 5	Laporan Hasil Pengujian Hammer Test	170
Lampiran 6	Laporan Hasil Pengujian Compression Test	185
Lampiran 7	Dokumentasi Pengujian	189
Lampiran 8	Surat Keterangan Bebas Plagiasi	192

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$M$	= Nilai tambah (MPa).
$S_r$	= Deviasi standar rencana (MPa).
$f_{cr}$	= Kuat tekan beton rata-rata rencana (MPa).
$f'_c$	= Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa).
$W_h$	= Perkiraan air untuk agregat halus.
$W_k$	= Perkiraan air untuk agregat kasar.
$BJ_{AG}$	= Berat jenis agregat gabungan.
$BJ_{AK}$	= Berat jenis agregat kasar.
$\%AH$	= Persentase agregat halus.
$\%AK$	= Persentase agregat kasar.
$P$	= Beban maksimum (N).
$A$	= Luas penampang ( $mm^2$ ).

## ABSTRAK

Penggunaan limbah *fly ash* dari PLTU dapat dimanfaatkan sebagai *substitusi* bahan baku pembuatan beton dalam bidang konstruksi seperti gedung di lain sisi sebuah bangunan membutuhkan kajian struktur atau evaluasi struktur untuk mengidentifikasi potensi kerusakan atau kelemahan yang mungkin terjadi pada bangunan. Terdapat dua metode pengujian yang umum digunakan untuk evaluasi struktur yaitu *destructive test* dan *non-destructive test*. Dalam beberapa kondisi pengujian *destructive test* tidak dapat dilakukan di lapangan untuk itu dilakukan pengujian *non-destructive test*. Salah satu pengujian *non destructive test* yang umum digunakan yaitu *hammer test* dan *UPV test*, namun hasil yang diperoleh dari pengujian *non-destructive test* tersebut belum mampu menggambarkan kekuatan keseluruhan struktur. Oleh karena itu, diperlukan hubungan/korelasi dengan beberapa pengujian kuat tekan lainnya.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hubungan/korelasi dari hasil pengujian kuat tekan beton di laboratorium dengan menggunakan alat *compression test*, *hammer test*, dan *UPV test*. Pengujian ini dilakukan dengan sampel benda uji berbentuk silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada variasi mutu beton 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa dengan substitusi *fly ash* pengganti semen sebesar 10%.

Hasil dari penelitian untuk mutu beton 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa diperoleh rata-rata pengujian *UPV test* berturut-turut sebesar 4393,21 m/s, 4519,55 m/s 4553,45 m/s, dan 4633,25 m/s. Kemudian untuk pengujian *hammer test* diperoleh nilai *hammer* yaitu 24,45, 26,64, 27,68, dan 29,33. Selanjutnya untuk pengujian *compression test* sebesar 19,44 MPa, 24,66 MPa, 27,41 MPa, dan 32,15 MPa. Hasil korelasi/hubungan antar ketiga pengujian, *UPV test* dengan *compression test* berupa  $Y = -5E-05x^2 + 0,5288x - 1242,9$  ( $R^2 = 0,4936$ ), *hammer test* dengan *compression test* berupa  $Y = 0,0016x^2 + 1,7703x - 23,141$  ( $R^2 = 0,5802$ ), serta gabungan antara pengujian *hammer test* dan *UPV test* dengan *compression test*  $Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$  ( $R^2 = 0,602$ ).

**Kata Kunci :** *Fly ash, Destructive test, Non-Destructive Test, UPV Test, Hammer Test, Compression Test, Korelasi*

## ABSTRACT

*The use of fly ash waste from a coal-fired power plant can be utilized as a substitute for raw materials in concrete production in the construction field, such as buildings. On the other hand, a building requires a structural assessment or structural evaluation to identify potential damage or weaknesses that may occur in the structure. There are two common methods used for structural evaluation: destructive testing and non-destructive testing. In some conditions, destructive testing cannot be performed in the field; therefore, non-destructive testing is conducted. One of the commonly used non-destructive tests is the hammer test and UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) test, but the results obtained from these non-destructive tests are not yet able to depict the overall strength of the structure. Therefore, it is necessary to establish correlations with several other compressive strength tests.*

*The purpose of this study is to determine the correlation between the results of concrete compressive strength tests conducted in the laboratory using a compression test apparatus, hammer test, and UPV test. The tests were carried out on cylindrical test specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, with variations in concrete quality including 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, and 30 MPa, with a 10% substitution of fly ash for cement.*

*The results of the study for concrete qualities of 14.5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, and 30 MPa showed average UPV test values of 4393.21 m/s, 4519.55 m/s, 4553.45 m/s, and 4633.25 m/s, respectively. The hammer test results were 24.45, 26.64, 27.68, and 29.33. Furthermore, the compressive test results were 19.44 MPa, 24.66 MPa, 27.41 MPa, and 32.15 MPa. Correlation results were obtained among the three tests: UPV test with compression test yielded  $Y = -5E-05x^2 + 0.5288x - 1242.9$  ( $R^2 = 0.4936$ ), hammer test with compression test resulted in  $Y = 0.0016x^2 + 1.7703x - 23.141$  ( $R^2 = 0.5802$ ), and a combination of the hammer test and UPV test with compression test produced  $Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$  ( $R^2 = 0.602$ ).*

**Keywords :** *Fly ash, Destructive test, Non-Destructive Test, UPV Test, Hammer Test, Compression Test, Correlation*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton merupakan bahan konstruksi yang umum digunakan dalam pembangunan jembatan, gedung, jalan raya, dan infrastruktur lainnya. Beton tersusun dari campuran agregat halus, agregat kasar, semen, dan air dengan perbandingan tertentu yang dicampur bersama untuk membentuk suatu massa padat (SNI 2847:2019). Di samping itu, beton juga dapat dicampurkan oleh bahan tambah yang dapat meningkatkan kinerja beton untuk meningkatkan kekuatan beton, meningkatkan kelenturan, mempercepat waktu pengerasan beton, dan mengurangi retakan pada beton (Tjokrodimuljo, 2007). Salah satu contohnya seperti abu terbang/*fly ash* (Marthinus, 2015).

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

Pemanfaatan limbah *fly ash* dari PLTU dapat dimanfaatkan sebagai *substitusi* bahan baku pembuatan beton dan bahan konstruksi lainnya yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan pada pasal 459 ayat 3, pemanfaatan *fly ash* dalam bidang konstruksi, telah umum diterapkan, seperti penggunaan beton *fly ash* pada bangunan kantor administratif Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tanggari (Tribunnews, 2022).

Sepanjang siklus umur layan sebuah bangunan membutuhkan kajian struktur atau evaluasi struktur (Winarsih, 2010). Kajian tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi potensi kerusakan atau kelemahan yang mungkin terjadi pada bangunan. Kajian struktur atau evaluasi struktur dapat memberikan pemahaman



lebih mendalam tentang kapasitas beban bangunan, memberikan dasar untuk pembaruan desain, dan memastikan umur layak yang optimal (Wigatiteknikindo, 2018).

Terdapat dua metode pengujian yang umum digunakan untuk evaluasi struktur yaitu pengujian yang merusak (*destructive test*) dan yang tidak merusak (*non-destructive test*). Pengujian *destructive test* melibatkan kerusakan sebagian atau seluruh komponen bangunan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah *core drill* dan dilanjutkan pengujian desak (*compression test*) untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton sebenarnya. Namun, pengujian ini tidak selalu dapat dilakukan karena terkadang ada kekhawatiran dari pemilik bangunan bahwa hal tersebut dapat menurunkan performa gedung, baik dari segi keamanan, kekuatan *structural*, dan fungsi bangunan secara keseluruhan. Oleh karena itu, untuk mengatasi kendala tersebut, pengujian struktur dapat dilakukan dengan menggunakan metode *non-destructive test*. Metode ini tidak merusak komponen bangunan dan lebih efisien dalam hal biaya dan waktu, namun hasil pengujian *non-destructive test* tidak dapat sepenuhnya menggambarkan kualitas beton yang diperiksa, sehingga perlu dilakukan hubungan/korelasi dengan pengujian kuat tekan untuk merepresentasikan kualitas beton yang lebih akurat (Wirotama, 2018)

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

Hubungan antara kepadatan beton dari nilai *rebound* (R), cepat rambat gelombang (Vs) dan nilai kuat tekan yaitu, semakin tinggi nilai *rebound* semakin tinggi kekerasan permukaan beton dan kemungkinan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan lebih tinggi. Hal ini karena beton yang memiliki kuat tekan yang lebih tinggi maka nilai *rebound* akan menghasilkan pantulan yang lebih tinggi (SNI

ASTM C805:2012). Di sisi lain, nilai cepat rambat gelombang ( $V_s$ ) dan kuat tekan, semakin tinggi nilai cepat rambat gelombang beton, semakin baik kualitas beton. Hal ini karena cepat rambat gelombang dipengaruhi oleh kepadatan dan kekuatan beton. Beton yang memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi cenderung memiliki kepadatan yang lebih tinggi, sehingga menyebabkan tingginya cepat rambat gelombang tersebut (Aribawa, 2019)

Penelitian ini menggunakan mutu beton sedang antara 21 MPa hingga 40 MPa (SNI 03-6468-2000). Adapun mutu beton yang sering digunakan oleh masyarakat pada pembuatan bangunan *non engineering*. Menurut Ahmad (2020), Bangunan tersebut umumnya menggunakan proporsi 1:2:3 (semen:pasir:agregat). Menurut SNI 7394-2008 tentang pekerjaan beton, mutu beton dengan perbandingan 1:2:3 itu setara dengan  $f'_c$  14,5 MPa. Oleh karena itu pada penelitian ini beton dengan mutu  $f'_c$  14,5 MPa dimasukkan dalam rentang pengujian beton normal mutu sedang.

Penelitian ini dilakukan pengujian *UPV test* untuk mengetahui nilai cepat rambat gelombang ( $V_s$ ), pengujian *hammer test* untuk mengetahui nilai *Rebound* (R), serta nilai *compression test* untuk mengetahui nilai kuat tekan aktual. Kemudian dari hasil pengujian tersebut didapatkan nilai korelasi/hubungan yang menggambarkan antara hasil pengujian *UPV test*, *hammer test*, dan *compression test*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang diteliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil pengujian beton pada variasi campuran beton *fly ash* mutu sedang menggunakan metode *compression test*, dan nilai R pada *hammer test*, serta cepat rambat gelombang dari *UPV test*?
2. Bagaimana korelasi/hubungan antara pengujian kuat tekan beton pada variasi beton *fly ash* mutu sedang dengan nilai R *hammer test* dan cepat rambat gelombang dari *UPV*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah yang ada, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil pengujian beton pada variasi campuran beton *fly ash* mutu sedang menggunakan metode *compression test*, dan nilai R dari *hammer test*, serta cepat rambat gelombang dari UPV.
2. Mengetahui korelasi/hubungan yang dihasilkan pada pengujian kuat tekan beton pada variasi beton *fly ash* mutu sedang dengan nilai R *hammer test* dan dan cepat rambat gelombang dari UPV.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan bahwa penelitian ini akan memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Praktisi
  - a. Penelitian ini dapat memberikan dasar untuk pengembangan standar industri yang berkaitan dengan karakteristik bahan dan teknik pengujian yang dilakukan.
  - b. Penelitian ini dapat memberikan solusi untuk mengetahui kelayakan suatu bangunan dalam berbagai kondisi sesuai dengan persyaratan yang telah diterapkan.
  - c. Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengidentifikasi masalah pada struktur beton, sehingga dapat dilakukan perbaikan sebelum kerusakan menjadi parah.
2. Teoritis
  - a. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi/pengetahuan dalam hal pengujian kuat tekan beton khususnya pengujian *compression test*, *hammer test*, dan UPV.
  - b. Penelitian ini dapat membantu meningkatkan pemahaman tentang pengujian *non destructive*, meningkatkan pengembangan teknologi baru dan meningkatkan kualitas beton di masa depan.

### 1.5 Batasan Penelitian

Penulisan pada penelitian diperlukan batasan penelitian supaya tujuan penulisan dapat tercapai dan dipahami. Berikut batasan penelitian yang terdapat dalam penelitian ini.

1. Dimensi sampel beton yang dipakai berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Campuran beton *fly ash* mutu sedang yang dipakai yaitu ukuran 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa.
3. Kadar *fly ash* yang akan digunakan 10%, berdasarkan penjelasan yang tercantum pada sub bab 2.4.
4. Pengujian dilakukan saat umur beton 28 hari.
5. Pengujian NDT menggunakan metode *hammer test* dan *UPV test*.
6. Alat *hammer test* yang digunakan merk Control seri 58-C0181/DGT dan *UPV merk proceq*.
7. Benda uji yang digunakan berjumlah 60 sampel.
8. Desain campuran beton berdasarkan SNI 03-2834-2000.
9. Rincian material yang akan digunakan sebagai berikut:
  - a. semen Portland tipe I, dengan *Merk Dynamix*.
  - b. Pasir yang dipakai berasal adalah pasir Gunung Merapi.
  - c. Air yang dipakai berasal dari Lab. Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII.
  - d. Agregat kasar yang dipakai berasal dari Sungai Progo.
  - e. *Fly ash* yang digunakan type C berasal PLTU Paiton.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Studi Pustaka adalah suatu upaya untuk meninjau atau mempelajari beberapa karya akademik atau peneliti sebelumnya yang berkaitan dengan topik atau masalah yang akan diteliti (Taylor dan procter, 2010). Tinjauan Pustaka ini akan menjelaskan mengenai sebagian besar dari hasil penelitian sebelumnya yang sudah pernah dilakukan.

#### **2.2 Penelitian Terdahulu**

Peneliti mencantumkan hasil penelitian sebelumnya yang memiliki topik yang relevan dan dapat digunakan sebagai referensi atau pembanding dalam penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti. Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian ini.

1. Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Semen.

Adibroto, dkk (2018) dalam artikelnya menjelaskan salah satu usaha untuk meningkatkan kualitas beton dan mengatasi kendala pada pelaksanaan pekerjaan di lapangan, dilakukan penelitian pengganti semen dengan *fly ash* untuk meningkatkan kekuatan beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana *substitusi* semen dengan *fly ash* mempengaruhi kekuatan tekan beton, sehingga dapat digunakan untuk suatu pekerjaan konstruksi. Penelitian yang dilakukan dengan menguji 30 sampel beton dengan benda uji silinder pada 6 variasi, komposisi penambahan *fly ash* tersebut yaitu 0%, 10%, 12,5%, 15%, 20%, dan 25% dari berat semen. Beton diuji saat umur 7 hari dan 28 hari. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi/optimum adalah 30,770 MPa pada variasi 10% dan nilai kuat tekan terendah adalah 20,046 MPa pada variasi 25%. Jadi nilai kuat tekan tertinggi dalam penelitian ini adalah 30,770 MPa.

## 2. *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton.

Setiawati (2018), pada penelitiannya menjelaskan bahwa *fly ash* dapat digunakan sebagai pengganti semen saat membuat beton dan dapat memberikan dampak positif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh *fly ash* sebagai bahan pengganti semen mempengaruhi kekuatan beton, Penelitian ini menggunakan variasi campuran *fly ash* sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dan diuji pada umur 3,7,14, dan 28 hari. Setiap variasi campuran memiliki 12 benda uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* 12,5% pada beton menghasilkan kekuatan tekan optimum sebesar 231,04 kg/cm<sup>2</sup>, nilai tersebut naik sebesar 60% dibandingkan beton biasa. Ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* 12,5% pada beton menghasilkan kekuatan yang optimum.

## 3. Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Bahan Pengganti Semen *Fly Ash* Kadar 15%, 30%, dan 40% Terhadap Beton Normal.

Budi, dkk. (2021) dalam penelitiannya bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan semen sebagai pengganti *fly ash* berdampak pada modulus elastisitas kuat tekan, dan kuat tarik belah. Untuk menggantikan semen, *fly ash* yang digunakan 15%, 30% dan 40% dalam beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm diuji selama 28 hari. Hasilnya menunjukkan kuat tekan beton *fly ash* sebesar 38,10 MPa, 34,05 MPa, dan 32,92 MPa dengan kuat tekan maksimal sebesar 15%.

## 4. Analisis Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan *Fly Ash* Sebagai Bahan Substitusi Parsial.

Muhammady (2022), Penelitian ini bermaksud untuk mengevaluasi penggunaan *fly ash* pengganti semen dalam beton serta mencari proporsi pengganti semen dengan *fly ash* yang dapat memberikan nilai kuat tekan beton optimum serta mempercepat pencapaian kekuatan rencana. Penelitian ini menggunakan kuat tekan rencana sebesar 20 MPa dengan variasi pengganti *fly ash* sebesar 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, dan 15% dari berat semen. Diuji pada saat umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pengujian dilakukan menggunakan silinder berukuran

diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, diperoleh nilai kuat tekan beton optimum sebesar 12% pada semua umur beton yang diuji dan mempersingkat waktu mencapai kuat tekan rencana sekitar 8,65 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *fly ash* dapat berpengaruh signifikan menaikkan nilai kuat tekan beton dan mempersingkat waktu pencapaian kuat tekan.

5. Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dalam Beton Mutu Tinggi.

Mardiono (2013) penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengganti semen dengan *fly ash* mempengaruhi kualitas beton. Penelitian ini menggunakan kubus dengan ukuran 15x15x15 cm dengan mutu beton yang direncanakan yaitu 40 MPa. Sampel diuji pada 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari. Variasi *fly ash* yang digunakan yaitu 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari berat semen dengan jumlah sampel yang digunakan sebanyak 60 sampel, masing masing dengan 12 variasi sampel. Hasil menunjukkan bahwa beton dengan pengganti semen 10% *fly ash* memiliki kuat tekan tertinggi sebesar 41,57 MPa, sementara beton dengan 40% *fly ash* memiliki nilai kuat tekan terendah sebesar 3,91 MPa. Ini menunjukkan bahwa *fly ash* dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton.

6. Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Antara *Hammer Test*, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), Dan *Compression Test*.

Simatupang, dkk. (2016) Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengujian kuat tekan beton yang dilakukan menggunakan *compression test* dengan metode *non destructive test* (NDT) yaitu *hammer test* dan *UPV test*. Penelitian ini melibatkan pengujian pada sampel berbentuk kubus ukuran 15x15x15 cm serta beton silinder diameter 15 cm x 30 cm, dengan variasi mutu beton K-175, K-225, dan K-250. Seluruh sampel yang digunakan yaitu 90, masing-masing variasi berjumlah 15 benda uji. Dari hasil pengujian *hammer*, *UPV*, dan *compression*, dapat disimpulkan hasilnya berbeda. Sehingga untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang tepat perlu menggunakan konstanta atau faktor pengali untuk setiap jenis benda uji. Untuk setiap jenis benda uji nilai korelasi *hammer test*, *UPV*, dan *compression test* ditunjukkan dalam hasil analisis regresi sebagai berikut:

**Tabel 2.1 Hasil Analisis Regresi antara *Hammer Test*, *Compression Test*, dan UPV pada Setiap Benda Uji**

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

Keterangan : C = *Compression Strength* (kg/cm<sup>2</sup>),

H = *Rebound Number* (kg/cm<sup>2</sup>),

U = *Ultrasonic Pulse Velocity* (m/s).

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

Wirotama (2018) dalam penelitiannya bertujuan untuk mengetahui hubungan/korelasi antara pembacaan nilai kuat tekan beton dengan pengujian UPV dan *hammer test* dalam berbagai tingkatan mutu beton ( $f'c$ ). Sampel benda uji yang digunakan berbentuk silinder ukuran 15 cm dan tinggi 30 cm dengan mutu beton  $f'c$  20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa serta beton berbentuk kubus ukuran 15x15x15 cm. Hasil penelitian ini adalah terjadi perbedaan nilai kuat tekan beton antara hasil pengujian non-destructive test dan destructive test, sehingga untuk mengetahui nilai kuat tekan beton diperlukan suatu faktor pengali atau konstanta. Berikut adalah hasil regresi yang diperoleh dari penelitian ini.



Tabel 2.2 Hasil Analisis Regresi Penelitian Wirotama (2018)

Benda Uji	Mutu Beton	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi
Silinder	20 MPa	$Y = 37,517 - 0,413X_1 - 0,413X_2$	0,486
	25 MPa	$Y = 79,749 + 1,519X_1 + 0,021X_2$	0,635
	30 MPa	$Y = -77,420 + 0,046X_1 + 0,023X_2$	0,066
	35 MPa	$Y = -4,708 + 0,051X_1 + 0,006X_2$	0,008
	Gabungan	$Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021X_2$	0,719
Kubus		$Y = -132,711 + 0,339X_1 + 0,033X_2$	0,632

8. Korelasi Nilai kuat Tekan Beton Dari pengujian *Ultrasonic Pulse velocity* (UPV), *Hammer Test*, Dan *Compression Test* Pada Beton Mutu Sedang.

Michael (2019) dalam tugas akhirnya melakukan tentang pengujian UPV, *hammer test*, dan *compression test*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan beton pada mutu beton sedang, serta hubungan korelasi antara ketiga jenis pengujian. Pengujian ini menggunakan beton berbentuk Silinder dengan diameter 6 inci dan 3 inci, dengan total 30 sampel. Metode kriteria penolakan data *chauenet's criterion* digunakan untuk mengolah hasil pengujian ini. Hasil ditunjukkan dalam bentuk grafik dan persamaan regresi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata UPV adalah 4136,46 m/s, nilai rata-rata hasil pengujian *hammer test* adalah 25,867, dan nilai rata-rata pengujian *compression test* pada benda uji diameter 3 inci adalah 27,949 MPa dan diameter 6 inci adalah 31,9 MPa, hasil analisis regresi linier pada *compression test* adalah  $Y = 2,5857x - 44,995$ . Sementara hubungan korelasi antara hasil pengujian UPV, *hammer test*, *compression test* pada beton mutu sedang dalam bentuk persamaan regresi polynomial yaitu  $Y = -44,42541145 + X_1 10,364325667 + X_2 0,015144329$ . Untuk keterangan lebih Y mengacu pada hasil *Compression Test*,  $X_1$  untuk *hammer test*, dan  $X_2$  adalah pengujian dengan metode UPV Test

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

Aribawa, dkk. (2019) dalam penelitiannya menjelaskan tentang pemeriksaan kombinasi metode *non destructive test* dan *destructive test* dilakukan untuk memeriksa kekuatan struktur bangunan yang sudah ada. Dalam penelitian, terdapat 3 sampel beton silinder dengan mutu beton 12,5 MPa, 18,75 Mpa, dan 25 MPa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan bagaimana variasi mutu beton berdampak pada kecepatan rambat gelombang ultrasonik yang di ukur menggunakan metode UPV, pemeriksaan *hammer*, dan pemeriksaan kuat tekan menggunakan *compression test*. Penelitian ini dapat membantu mengembakan model atau formula sebuah model untuk memperkirakan kekuatan beton lebih akurat.

10. Korelasi Antara Hasil Pengujian *Hammer* dan UPV Dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Mutu Sedang

Widodo (2023), dalam tugas akhirnya bertujuan untuk mengetahui hubungan korelasi antara nilai *compression test* dengan menggunakan nilai *hammer* dan UPV *test*. Penelitian ini menggunakan sampel berbentuk kubus ukuran 15 x 15 x 15 cm dengan mutu beton K225, K250, K275, K300, dan K325 dengan total sampel benda uji berjumlah 60 sampel. Dari hasil pengujian UPV, *hammer*, dan *compression test* diperoleh persamaan regresi dan nilai koefisien determinasi yang menunjukkan hubungan dari ketiga jenis pengujian yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 2.3 Hasil Analisis Regresi Penelitian Widodo (2023)**

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

### 2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu mengenai korelasi/hubungan pengujian antara UPV *test*, *hammer test*, dan *compression test* dengan beton normal cukup banyak dilakukan, namun ada beberapa perbedaan penelitian yang dilakukan. Adapun detail bukti penelitian yang akan dilakukan merupakan karya asli dan bukan bentuk dari karya plagiasi adalah sebagai berikut.

1. Campuran beton yang digunakan menggunakan bahan tambah *fly ash* dengan kadar optimum yang sudah ditentukan sebesar 10%.
2. Mutu rencana yang digunakan adalah 14,5 MPa, 21 MPa, 25 Mpa, dan 30 MPa
3. Penentuan analisis regresi dengan menjalankan lima jenis *trendline* yaitu, *linier*, *polynomial*, *logarithmatic*, *exponential*, dan *power*. Selanjutnya dari kelima model tersebut, dipilih dan dievaluasi model yang paling cocok atau memiliki korelasi terbaik dengan data. Proses ini memungkinkan identifikasi jenis hubungan atau pola yang sesuai dalam konteks data yang diamati, sehingga memudahkan untuk memilih model regresi yang paling tepat dalam mewakili hubungan antar variabel.

Berdasarkan detail bukti di atas maka dapat dikatakan bahwa penelitian yang akan dilakukan dapat dipertanggungjawabkan keasliannya. Tabel 2.4 Menunjukkan perbandingan antara penelitian saat ini dan penelitian terdahulu.

**Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang**

<b>Peneliti</b>	<b>Tahun</b>	<b>Judul</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Benda Uji</b>	<b>Metode</b>	<b>Hasil</b>
Adibroto, dkk	2018	Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan <i>Fly Ash</i> Sebagai Pengganti Sebagian Semen.	Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang.	Silinder dengan dimensi diameter 15 cm x tinggi 30 cm.	Perencanaan campuran ( <i>mix design</i> ) sesuai standar ACI 211.4R-93 dengan variasi <i>fly ash</i> yang digunakan sebesar 10%, 12,5%, 15%, 20%, dan 25% dari total volume kemudian dilakukan pengujian slump test dan pengujian kuat tekan pada saat umur beton 7 dan 28 hari.	Hasil penelitian diatas diperoleh nilai kuat tekan beton tertinggi sebesar 30,770 Mpa dengan variasi <i>fly ash</i> 10% kemudian diikuti variasi 12,5%, 15%, 20%, dan 25%. Oleh karena itu, penggunaan <i>fly ash</i> pada tingkat 10% dapat digunakan untuk perencanaan perkerasan jalan kaku berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton.

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Setiawati	2018	<i>Fly Ash</i> Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton.	Laboratorium Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Palembang.	Kubus dengan dimensi 15x15x15 cm.	Pada tahap ini, akan dilakukan perencanaan pembuatan benda uji dari beton normal dan beton menggunakan <i>fly ash</i> dengan variasi sebesar 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Setiap variasi akan diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari dengan jumlah sampel sebanyak 12 setiap variasi. Maka jumlah sampel benda uji yang akan dibuat sebanyak 96 sampel.	Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap beton normal dengan beton yang dicampur <i>fly ash</i> dengan variasi 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Dapat disimpulkan sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nilai kuat tekan beton pada setiap sampel beton memenuhi kriteria.</li> <li>2. Nilai kuat tekan beton campuran <i>fly ash</i> berturut-turut sebesar 320,72 kg/cm<sup>2</sup>, 347,58 kg/cm<sup>2</sup>, 377,3 kg/cm<sup>2</sup>, dan 404,73 kg/cm<sup>2</sup>.</li> <li>3. Nilai kuat tekan tertinggi yang diperoleh sebesar 404,73 kg/cm<sup>2</sup> dengan variasi <i>fly ash</i> 12,5%</li> </ol>

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Budi, dkk	2021	Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Pengganti Semen <i>Fly Ash</i> Kadar 15%, 30%, dan 40% Terhadap Beton Normal.	Penelitian dilakukan di Laboratorium Progam Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.	Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mendapatkan data yang diperlukan dengan melakukan percobaan benda uji. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan variasi <i>fly ash</i> sebesar 15%, 30%, dan 40%. Pengujian dilakukan pada saat umur beton 28 hari dan pengujian yang dilakukan yaitu kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas.	Hasil dari penelitian diatas menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton tertinggi terjadi pada saat campuran <i>fly ash</i> sebesar 15% dengan nilai kuat tekan 38,10 Mpa. Nilai kuat taik beton tertinggi yang dihasilkan pada <i>fly ash</i> 15% sebesar 3,87 Mpa. Kemudian semakin tinggi kadar <i>fly ash</i> , maka nilai modulus elastisitasnya semakin menurun.

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Muhammady	2022	Analisis Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan <i>Fly Ash</i> Sebagai Bahan Substitusi Parsial.	Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia.	Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	Perhitungan <i>Mix Design</i> menggunakan SNI 7656-2012 dengan umur rencana 3, 7, 14, 28 hari dan nilai kuat tekan beton yang direncanakan 20 Ppa. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan beton dengan campuran <i>fly ash</i> sebanyak 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, dan 15% dengan jumlah benda uji sebanyak 140 buah.	Hasil penelitian diatas diperoleh nilai kuat tekan optimum berada pada beton <i>fly ash</i> 12% dengan nilai kuat tekan beton 24,244 MPa. Beton variasi <i>fly ash</i> sebesar 12% memiliki peningkatan nilai kuat tekan beton yang paling cepat mencapai nilai kuat tekan yang paling cepat mencapai nilai kuat tekan yang direncanakan yaitu selama 16,35 hari. Dibandingkan dengan variasi <i>fly ash</i> yang lainnya, beton dengan penggunaan <i>fly ash</i> 12% mampu memberikan peningkatan kuat tekan yang lebih cepat sekitar 8,65 hai dibandingkan dengan beton tanpa <i>fly ash</i> .

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Mardiono	2013	Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) Dalam Beton Mutu Tinggi.	Penelitian dilakukan di Laboratorium Progam Studi Teknik Sipil Universitas Gunadarma Jakarta.	Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 15x15x15 cm.	Perhitungan <i>Mix Design</i> menggunakan SNI 03-6468-2000 dengan umur rencana pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari. Pengujian yang akan dilakukan adalah kuat tekan beton dengan variasi <i>fly ash</i> sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% dari berat semen. Sampel benda uji yang dilakukan sebanyak 60 sampel dengan masing-masing variasi 12 sampel.	Hasil penelitian diatas menunjukkan kuat tekan beton optimum pada saat umur beton 28 hari yaitu dengan campuran beton <i>fly ash</i> 10% dengan nilai kuat tekan 41,57 MPa. Kuat tekan beton terendah sebesar 33,91 MPa dengan variasi <i>fly ash</i> 40%.



Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Simatupang, dkk	2016	Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Antara <i>Hammer Test</i> , <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV), Dan <i>Compression Test</i> .	Penelitian dilakukan di Laobarotrium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.	Benda uji yang digunakan silinder ukuran diameter 15 cm x tinggi 30 cm dan kubus ukuran 15x15x15 cm.	Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan metode pengujian kuat tekan beton yang bersifat NDT yaitu UPV, <i>hammer test</i> , dan <i>compression test</i> . Pengujian kuat tekan dilakukan pada hari ke 28 dengan mutu beton K-175, K-225, dan K-250. Jumlah sampel yang dilakukan sebanyak 90 sampel dengan 15 sampel disetiap variasi mutu beton,	Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terdapat perbedaan antara hasil uji <i>hammer test</i> dan <i>compression test</i> dalam menentukan nilai kuat tekan beton. Oleh karena itu diperlukan faktor pengali atau konstanta untuk menghitung nilai kuat tekan beton. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis regresi untuk menentukan nilai korelasi anatar hasil uji <i>hammer test</i> , <i>compression test</i> , dan UPV untuk setiap benda uji.

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Wiroutama	2019	Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Non-Destructive Test dan Destructive Test	Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.	Benda uji yang digunakan berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan kubus ukuran 15x15x15 cm	Penelitian ini menggunakan analisis regresi untuk mengetahui hubungan/korelasi antara pembacaan nilai kuat tekan beton dengan pengujian UPV dan <i>hammer test</i> .	Hasil penelitian ini adalah terjadi perbedaan nilai kuat tekan beton antara hasil pengujian non-destructive test dan destructive test, sehingga untuk mengetahui nilai kuat tekan beton diperlukan suatu faktor pengali atau konstanta.
Manopo	2019	Korelasi Nilai kuat Tekan Beton Dari pengujian <i>Ultrasonic Pulse velocity</i> (UPV), <i>Hammer Test</i> , Dan <i>Compression Test</i> Pada Beton Mutu Sedang.	Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil & Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.	Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 3 inci dan 6 inci.dengan tinggi 20 cm.	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif yang dilakukan di laboratorium. Jumlah benda uji untuk setiap jenis benda uji adalah 3 sampel dengan umur beton 28 hari.Pengujian ini diolah dengan metode penolakan data <i>chauvenet's criterion</i> dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan persamaan regresi	Hubungan korelasi dari hasil pengujian UPV, <i>hammer test</i> , <i>compression test</i> pada beton mutu sedang dalam bentuk regresi polynomial yaitu $Y = -44,42541145 + X 10,364325667 + X20,015144329$ . Keterangan : $Y = Compression Test$ ; $X1 = Hammer test$ ; $X2 = UPV Test$

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Aribawa, dkk	2019	Studi Evaluasi Pengaruh Variasi Mutu Beton Terhadap Kekuatan Struktur Beton Normal Menggunakan Metode <i>Non-Destructive Test</i> dan <i>Destructive Test</i> .	Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.	Benda uji yang digunakan berbentuk silinder diameter 15 cm x 30 cm	Perhitungan <i>Mix Design</i> dengan menggunakan SNI 03-2834-2000. Penelitian ini menggunakan mutu beton 12,5 Mpa, 18,75 MPa, dan 25 MPa dengan masing masing variasi berjumlah sampel dan dilakukan pengujian umur 28 hari. Pengujian yang dilakukan yaitu <i>hammer test</i> , <i>compression test</i> , dan UPV, dari hasil pengujian dilakukan hubungan antara kuat tekan beton dengan kecepatan gelombang ultrasonik dan memperkirakan kuat tekan menggunakan formula SONREB.	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketiga jenis mutu beton memiliki hubungan regersi yang cukup baik antara variable UPV dengan kuat tekan, dengan nilai koefisien determinasi yang tinggi yaitu beton A 0,8474 dan beton B 0,9873. Sementara beton C menunjukkan nilai R2 yang rendah hanya 0,3617 yang memungkinkan disebabkan oleh proses pembuatan beton kurang baik sehingga hubungan dengan variable UPB kurang erat. Namun secara keseluruhan hubungan regresi antara UPV dan kuat tekan pada semua jenis mutu beton dikatakan baik menunjukkan adanya hubungan erat dan saling mempengaruhi antar kedua variable.

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Widodo	2023	Korelasi Antara Hasil Pengujian <i>Hammer</i> dan UPV Dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Mutu Sedang	Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.	Benda uji yang digunakan berbentuk kubus ukuran 15 x 15 x 15 cm dengan mutu beton K225, K250, K275, K300,dan K325	Perencanaan campuran menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan umur rencana 28 hari. Pengujian yang dilakukan adalah UPV <i>test</i> , <i>hammer test</i> , dan <i>compression test</i> . Setelah semua benda uji dilakukan pengujian kemudian dilakukan analisa regresi untuk menghasilkan sebuah persamaan dan nilai koefisien determinasi dari setiap pengujian.	Hasil dari ketiga pengujian menunjukkan hubungan regresi yang berbeda-beda antara UPV <i>test</i> dengan <i>compression test</i> yang diperoleh 7,13%, kemudian <i>hammer test</i> dengan <i>compression test</i> sebesar 58,37%, selanjutnya <i>hammer test</i> dan UPV <i>test</i> dengan <i>compression test</i> sebesar 40,50%

Lanjutan Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Tahun	Judul	Lokasi	Benda Uji	Metode	Hasil
Mussadat	2023	Korelasi Antara Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> dan UPV dengan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan <i>Fly Ash</i> Mutu Sedang.	Pengujian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.	Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	Perhitungan <i>Mix Design</i> menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan umur rencana 28 hari. Mutu Beton yang digunakan adalah $f'c$ 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa dengan campuran <i>fly ash</i> sebesar 10% dari berat semen. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan dengan menggunakan alat <i>hammer test</i> , <i>compression test</i> , dan UPV. Setelah dilakukan pengujian, data dari masing-masing pengujian akan digabungkan menggunakan metode regresi untuk menghasilkan sebuah persamaan dengan variable nilai dari setiap pengujian.	-

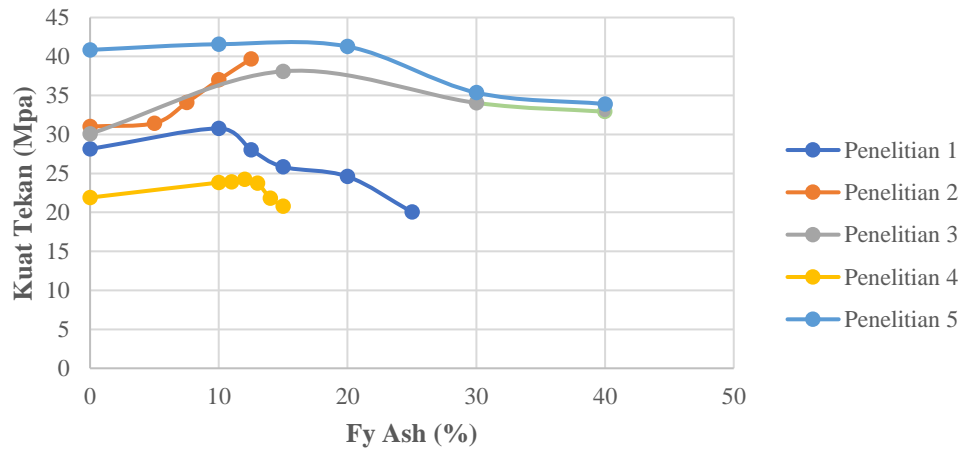
## 2.4 Penentuan Kadar *Fly Ash*

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, kadar *fly ash* optimum dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.5 Kadar *Fly Ash* Optimum**

Penelitian	Hasil Penelitian		
	% Flyash	Kuat Tekan	Satuan
Adibroto dkk (2018) dalam penelitian berjudul "Eksperimen Beton Mutu Tinggi Bahan Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen".	0	28.134	MPa
	10	30.77	
	12.5	28.04	
	15	25.839	
	20	24.601	
	25	20.046	
Setiawati (2018) dalam penelitian berjudul " <i>Fly Ash</i> sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton"	0	31.02	MPa
	5	31.45	
	7.5	34.09	
	10	37.00	
	12.5	39.69	
Budi dkk (2021) dalam Penelitian Berjudul " Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Pengganti Semen <i>Fly ash</i> Kadar 15%, 30% dan 40% Terhadap Beton Normal"	0	30.086	MPa
	15	38.103	
	30	34.047	
	40	32.916	
Muhammady (2022) dalam Penelitian berjudul "Analisis Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton dengan Menggunakan <i>Fly ash</i> sebagai bahan Substitusi Parsial"	0	21.9	MPa
	10	23.825	
	11	23.914	
	12	24.244	
	13	23.75	
	14	21.816	
	15	20.798	
Mardiono(2017) dalam penelitian berjudul "Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang ( <i>Flyash</i> ) dalam Beton Mutu Tinggi"	0	40.85	MPa
	10	41.57	
	20	41.28	
	30	35.37	
	40	33.9	

Dari tabel di atas diperoleh grafik antara hasil persentase campuran *fly ash* dan kuat tekan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.1 Kadar *Fly ash* (%) dan Kuat Tekan**

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa rata-rata persentase *fly ash* yang digunakan melebihi 10% kuat tekan yang dihasilkan mengalami penurunan. Sehingga didapatkan nilai kadar optimum *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 10%.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Beton**

Menurut SNI-03-2834-2000, beton didefinisikan sebagai yang terdiri dari semen portland (PC) atau semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air, dan mungkin juga menggunakan bahan campuran tambahan (*admixture*). Menurut Mulyono (2015) juga memberikan definisi yang serupa, menyebutkan bahwa beton adalah campuran yang terdiri dari bahan penyusun seperti semen hidrolis atau semen Portland (PC), agregat halus, agregat kasar, air, dan bisa juga tidak menggunakan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Berbagai macam material dasar untuk pembuatan beton menjadi tantangan bagi peneliti untuk mencari metode pengolahan yang tepat supaya material tersebut dapat diolah menjadi beton yang sesuai dengan klasifikasi mutu yang diinginkan.

##### **3.1.1 Klasifikasi Beton**

Menurut Mulyono (2005), mengemukakan bahwa beton dapat diklasifikasi menjadi beberapa jenis berdasarkan berat volume, material pembentuk, dan tujuan strukturnya. Jenis agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya memiliki pengaruh terhadap kualitas beton yang dihasilkan. Salah satu jenis klasifikasi beton adalah berdasarkan berat, berikut klasifikasi beton berdasarkan berat, yaitu.

##### **1. Beton Ringan**

Beton ringan adalah jenis beton yang menggunakan agregat ringan dan umumnya beton jenis ini digunakan atas pertimbangan ekonomis dan structural. Agregat ringan yang digunakan memiliki berat jenis sekitar 1900 kg/m<sup>3</sup> atau sekitar 1440-1850 kg/m<sup>3</sup> tergantung pada kebutuhan struktur. Kekuatan tekan beton ringan pada umur 28 hari biasanya lebih besar 17,2 Mpa(ACI-318) dan SNI memberikan batasan kriteria beton ringan sebesar 1900 kg/m<sup>3</sup>. Agregat yang biasanya digunakan dalam pembuatan beton



ringan yaitu meliputi batu apung, scorial, cinder, tuff, diatomite, atau hasil pembakaran batu bara (*fly ash*) dan residu pembakarannya.

## 2. Beton normal

Beton normal adalah jenis beton yang dibuat menggunakan agregat normal yang memiliki berat sekitar 2200-2500 kg/ m<sup>3</sup>. Jenis beton ini sering digunakan dalam dunia konstruksi untuk membangun Gedung-gedung, jalan (jenis perkerasan beton), bendungan, saluran air, dan lainnya. Agregat normal yang diperoleh dari pemecahan batuan di industri *quarry* dengan ukuran butiran antara 5-40mm atau langsung didapat dari sumber alam seperti granit, basalt, kuarsa, dan sejenisnya. Beton normal yang dihasilkan memiliki kekuatan tekan antar 15-40 MPa (150-400 kg/cm<sup>3</sup>).

## 3. Beton Berat

Beton berat terbuat dari agregat yang lebih berat daripada beton normal atau memiliki berat lebih dari 2400 kg/m<sup>3</sup>. Beton jenis ini digunakan secara spesifik untuk tujuan tertentu seperti menahan radiasi. Agregat yang digunakan memiliki ukuran lebih dari 4 mm. Contohnya seperti barium sulfat, barite, magnetit, limonit, dan bijih besi. Penggunaan bijih besi sebagai agregat dapat mencapai 3000-3900 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Beton memiliki beberapa kelebihannya sendiri, Adapun kelebihan beton antara lain :

1. Memiliki nilai kuat tekan yang cukup tinggi sehingga sangat cocok jika dikombinasikan dengan baja tulangan (memiliki nilai kuat tarik yang tinggi) dan dapat digunakan untuk struktur berat.
2. Harganya yang relatif murah karena menggunakan material-material dasar yang berasal dari lokal dan sering ditemukan disekitar lokasi pembangunan.
3. Beton merupakan bahan yang awet, tahan aus, dan tahan terhadap kebakaran sehingga dapat menekan biaya perawatan.
4. Campuran beton segar dapat dicetak sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Selain itu, cetakannya dapat digunakan secara berulang-ulang sehingga secara ekonomi lebih efisien.

Namun, beton memiliki kekurangannya sendiri antara lain sebagai berikut :

1. Memiliki nilai kuat tarik yang rendah, sehingga beton rentan terhadap keretakan.
2. Beton memiliki beragam klasifikasi mutunya yang harus disesuaikan dengan kebutuhan pada berbagai bangunan yang diperlukan. Oleh karena itu, metode perencanaan dan pembuatannya akan bervariasi tergantung pada klasifikasi mutu yang dipilih.
3. Beton sulit untuk tahan terhadap penetrasi air sehingga air dapat selalu masuk, air yang masuk membawa kandungan garam dapat merusak beton.
4. Beton keras dapat mengalami penyusutan akibat adanya perubahan suhu.
5. Beton segat dapat menyusut saat pengeringan dan mengembang saat jika kondisi basah.

### **3.2 Material Penyusun Beton**

Pemilihan bahan dalam pembuatan beton sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kekuatan beton yang akan dihasilkan. Oleh karena itu, pemilihan bahan penyusun beton harus dilakukan secara cermat dan diuji sesuai standar yang berlaku. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan beton adalah sebagai berikut :

#### **3.2.1 Semen**

Semen merupakan material perekat yang digunakan untuk menyatukan agregat kasar dan agregat halus, Saat ini, semen portland salah satu jenis semen yang banyak digunakan dalam industri konstruksi. Menurut SNI 15-2049-2004, semen didefinisikan sebagai bahan pengikat hidraulik yang terdiri dari campuran terak semen Portland dan bahan tambahan lainnya. Campuran ini kemudian digiling menghasilkan serbuk halus yang akan mengalami proses hidrasi Ketika dicampur dengan air dan membentuk mortar semen. Mortar semen dapat digunakan sebagai perekat pada berbagai jenis bangunan seperti beton, lantai, dinding, dan lainnya. Menurut Mulyono (2004), mendefinisikan campuran antara semen dengan air akan menghasilkan pasta semen. Jika agregat halus ditambahkan ke dalam campuran tersebut akan menghasilkan mortar, kemudian jika ditambahkan dengan agregat

kasar akan menghasilkan beton segar yang kemudian akan mengeras dan membentuk beton keras.

Fungsi semen adalah untuk mengikat butiran agregat sehingga membentuk massa padat dan rongga udara terisi. Ada berbagai jenis semen sesuai dengan penggunaan untuk kebutuhan struktur. Menurut SNI 15-2049-2004 terdapat 5 jenis semen portland, dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

**Tabel 3.1 Jenis Semen Portland**

<b>Jenis Semen Portland</b>	<b>Kegunaan</b>
Tipe I	Semen yang penggunaannya umum, tidak memerlukan persyaratan khusus seperti tipe lainnya.
Tipe II	Semen yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
Tipe III	Semen yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi di awal setelah terjadi pengikatan
Tipe IV	Semen yang penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
Tipe V	Semen yang penggunaannya membutuhkan ketahanan tinggi terhadap sulfat

Sumber : SNI 15-2049-2004

### 3.2.2 Agregat

Agregat adalah bahan yang terdiri dari butiran kerikil, batu pecah, pasir, atau mineral lainnya baik yang berasal dari alam maupun buatan. Penggunaan agregat sangat penting dalam campuran beton, karena 70% dari volume beton diisi oleh agregat dan kualitas beton sangat dipengaruhi oleh jenis agregat yang digunakan. Agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat tersebut memiliki karakteristik penjelasan dan karakteristik dalam penggunaannya dalam beton.

#### 1. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat halus adalah jenis agregat dengan ukuran butir maksimum 5,00 mm, terdiri dari pasir alam hasil produksi

industri pemecah batu (*stone crusher*) yang dihasilkan dari disintegrasi batuan secara alami. Agregat halus memiliki ukuran butir kurang dari 5,00 mm dan tertahan pada saringan No.200 dan lolos pada saringan no.4. Dalam PBI 1971 menjelaskan tentang syarat agregat halus yaitu sebagai berikut.

- a. Agregat halus memiliki butiran yang kuat dan tahan terhadap perubahan cuaca, seperti panas terik matahari dan hujan.
- b. Agregat halus tidak terlalu banyak mengandung komponen organik.
- c. Kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus tidak boleh mengandung 5% berat agregat kering. Apabila melebihi batas tersebut agregat perlu dibersihkan terlebih dahulu.
- d. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang bervariasi dan proses pengayakan menggunakan saringan yang telah ditetapkan dalam PBI 1971 pasal 3.4 ayat 1 yaitu.
  - 1) Jumlah agregat halus yang tertahan paling sedikit 2% dari total berat agregat halus pada saringan 4 mm.
  - 2) Jumlah agregat halus yang tertahan paling sedikit 10% dari total berat agregat halus pada saringan 1 mm .
  - 3) Jumlah agregat halus yang tertahan pada berkisar antara 80%-90% pada saringan 0,25 mm.

## 2. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat kasar adalah kerikil hasil produksi dari industri pemecah batu dengan ukuran butiran antar 5,00 mm hingga 40 mm dan tertahan pada saringan No.4. Agregat kasar yang baik terdiri dari butiran-butiran kasar yang memiliki permukaan kasar dan tidak mudah rusak serta bentuknya bersudut atau tidak pipih. Persyaratan mengenai batas susunan butiran agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini :

**Tabel 3.2 Persyaratan Batas-Batas Susunan Butir Pada Agregat Kasar**

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan (%)		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	Maksimum 40	Maksimum 20	Maksimum 10
38.1	95-100	100	-
19.0	37-70	95-100	100
9.5	10-40	30-60	50-85
4.8	0-5	0-10	0-10

Sumber : SNI 03-2834-2000

Berikut persyaratan agregat kasar yang harus dipenuhi dalam pembuatan beton menurut PBI 1971 adalah sebagai berikut :

- a. Agregat kasar harus memiliki pori-pori sebesar 20% dari total berat agregat dan mampu bertahan terhadap suhu panas dan dingin.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dari berat agregat kering. Jika kandungan lumpur lebih dari 1% maka agregat harus dicuci hingga kandungan lumpur berkurang.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan kimia yang dapat merusak beton.
- d. Ukuran maksimum untuk agregat kasar sesuai dengan SNI 2847-2013 adalah :
  - 1) Ukuran butir agregat kasar tidak lebih 1/5 dari dimensi terkecil dari kedua cetakan.
  - 2) Ukuran butir agregat kasar tidak lebih dari 1/3 tebal pelat.
  - 3) Ukuran butir agregat kasar tidak lebih 3/4 jarak bersih antar tulangan atau kawat tendon prategang.

### 3.2.3 Air

Air memiliki peran yang penting dalam proses reaksi antara semen dan agregat karena membentuk pasta yang mengikat agregat satu sama lain. Selain itu, air berfungsi untuk mengurangi panas hidrasi yang dihasilkan saat beton mengeras. Dalam pembuatan beton, air digunakan untuk mengaktifkan reaksi kimia antara semen dan sebagai pelumas antara butiran agregat,

sehingga memudahkan dalam proses pengolahan beton (Tjokrodimuljo, 1992). Persyaratan air yang dapat digunakan adalah sebagai berikut ini.

- a. Air yang digunakan bersih, tidak memiliki kandungan lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya yang terlihat secara visual.
- b. Air tidak mengandung benda-benda yang tersuspensi lebih dari 2 gram.
- c. Air yang digunakan tidak mengandung bahan yang dapat terlarut seperti asam dan zat organik lainnya yang dapat merusak beton dengan konsentrasi lebih dari 15 gram/liter.
- d. Air tidak boleh melebihi batas maksimum kandungan klorida (Cl) sebesar 0,5 gram/liter dan senyawa sulfur sebesar 1 gram/liter

Kandungan air pada campuran beton akan mempengaruhi nilai slump. Slump adalah nilai kelecakan beton, semakin tinggi nilai *slump* maka beton semakin mudah mengalir. Menurut SNI 03-6468-2000, umumnya nilai *slump* berkisar antara 50-100 mm. Namun, jika campuran beton ditambahkan *superplasticizer*, maka nilai *slump*-nya melebihi 200 mm.

#### 3.2.4 Fly Ash

Pada kesempatan ini, penulis menggunakan bahan tambahan yaitu *fly ash* sebagai bahan pengganti semen. Menurut SNI 03-6414-2002 pengertian abu terbang (*fly ash*) adalah limbah yang dihasilkan oleh pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Beton yang dicampur dengan *fly ash* memiliki sifat pengikat yang mirip dengan semen, campuran tersebut dapat meningkatkan kekuatan beton. (Setiawati, 2018).

*Fly ash* dapat digunakan sebagai pengganti semen dalam campuran beton, sehingga kandungan semen dapat dikurangi. Hal ini bermanfaat untuk mengurangi panas hidrasi yang dihasilkan dari reaksi semen. Apabila panas hidrasi berlebihan dapat menyebabkan keretakan pada beton dan mengurangi kekuatan beton. Oleh karena itu, penggunaan *fly ash* dalam campuran beton dapat membantu mengurangi resiko terjadinya keretakan dan menaikkan kualitas beton.

Menurut SNI 2460-2014 *fly ash* diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu sebagai berikut.

a. Kelas C

- 1) *Fly ash* hasil pembakaran batu bara dari lignit atau subbituminous, dan bisa juga dari pembakaran batu bara antrasit atau bituminous.
- 2) *Fly ash* yang memiliki kandungan senyawa Cao lebih dari 10% dihasilkan dari proses pembakaran lignit atau batubara sub-bitumen.
- 3) *Fly ash* memiliki kandungan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  yang mencapai lebih dari 50% dari total kasar oksida.
- 4) *Fly ash* memiliki kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  sebesar 10%
- 5) Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton mencakup 15%-35% dari total berat binder yang digunakan.

b. Kelas F

- 1) Hasil pembakaran dari antrasit atau bituminus, tetapi bisa juga didapatkan dari hasil pembakaran batubara sub bituminous dan lignit.
- 2) *Fly ash* memiliki kandungan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  yang mencapai lebih dari 70% dari total kasar oksida.
- 3) *Fly ash* memiliki kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  kurang dari 5%.
- 4) Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton mencakup 15%-25% dari total berat binder yang digunakan.

c. Kelas N

*Fly ash* kelas N merupakan hasil pembakaran ataupun tanpa pembakaran yang dikategorikan antara lain tanah *diatomic*, *tuff*, dan abu vulkanik. Serta berbagai bahan yang membutuhkan kalsinasi untuk menghasilkan sifat yang memuaskan, seperti lempung, dan *shales*.

### 3.3 Metode Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton merupakan tahap awal untuk menentukan proporsi campuran berdasarkan mutu beton yang telah direncanakan. Penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dalam melakukan perencanaan campuran beton. Berikut adalah langkah-langkah untuk perencanaan campuran beton.

1. Menentukan nilai standar deviasi dengan tingkat pengendalian mutu sebagai acuannya. Semakin tinggi tingkat pengendalian mutu, maka nilai standar deviasi semakin kecil. Apabila jumlah pengujiannya kurang dari 30, maka nilai standar deviasi perlu dikoreksi menggunakan faktor pengali yang tercantum pada Tabel 3.3. Jika data uji lapangan tidak tersedia, maka nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan harus kurang dari ( $f'c + 12$  MPa).

**Tabel 3.3 Faktor Pengali Untuk Standar Deviasi bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang dari 30**

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

Sumber : SNI 03-2843-2000

2. Nilai tambah (M) dapat dihitung menggunakan persamaan (3.1) yang digunakan untuk kuat tekan rencana.

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

Dengan :

M = Nilai tambah (MPa)

1,64 = Tetapan statistik

$S_r$  = Deviasi standar rencana (MPa)

3. Menentukan nilai kuat tekan beton rata-rata rencana dihitung menggunakan persamaan (3.2) berikut ini.

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

Dengan :

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

$f'c$  = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)



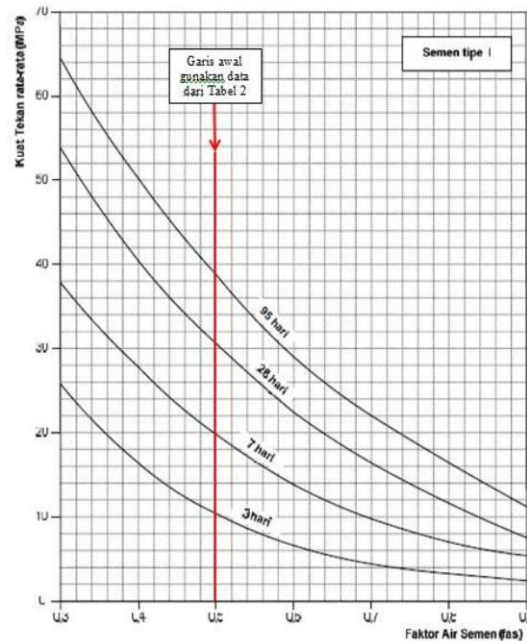
m = Nilai tambah (MPa)

4. Menentukan jenis semen yang akan digunakan.
5. Menentukan agregat yang akan digunakan pada pengujian agregat.
6. Menentukan nilai faktor air semen (FAS) berdasarkan tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai Di Indonesia**

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

Sumber: SNI 03-2834-2000



**Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen  
(Benda Uji Berbentuk Silinder diameter 150 mm , tinggi 300 mm)**

Sumber: SNI 03-2834-2000

7. Menentukan nilai maksimum dan nilai minimum faktor air semen dalam perencanaan campuran beton dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

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

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

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

Lokasi	Jumlah Semen minimum per m <sup>3</sup> betong (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton diluar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	274	0,60
Beton masuk kedalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

Sumber : SNI 03-2834-2000

8. Pada Perencanaan campuran beton (*Mix Design*), dilakukan penentuan nilai *slump* yang berfungsi untuk mengetahui tingkat kelacakan (*workability*) dari adukan beton.
9. Menentukan ukuran maksimum dari butir agregat.
10. Melakukan perhitungan kadar air bebas agregat campuran dengan menggunakan persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}wh + \frac{2}{3}wk \quad (3.3)$$

Dengan :

$W_h$  = Perkiraan air untuk agregat halus

$W_k$  = Perkiraan air untuk agregat kasar

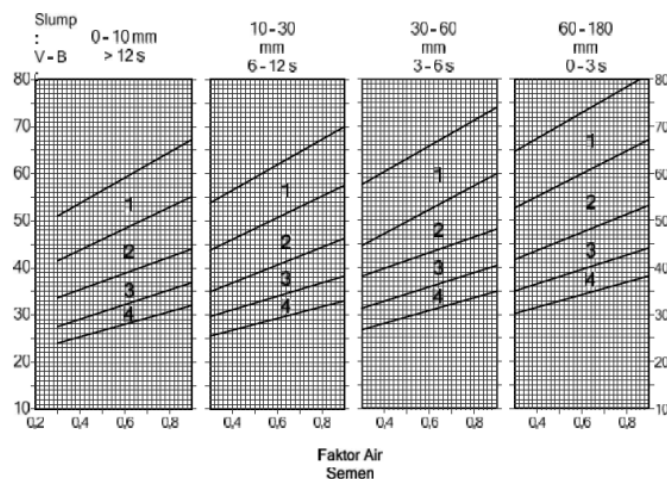
Untuk mendapatkan nilai  $W_h$  dan  $W_k$  berdasarkan pada Tabel 3.6 berikut

**Tabel 3.6 Perkiraan Kadar Air bebas ( $\text{Kg/m}^3$ ) yang dibutuhkan untuk beberapa Tingkat kemudahan Pengerjaan Adukan Beton**

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

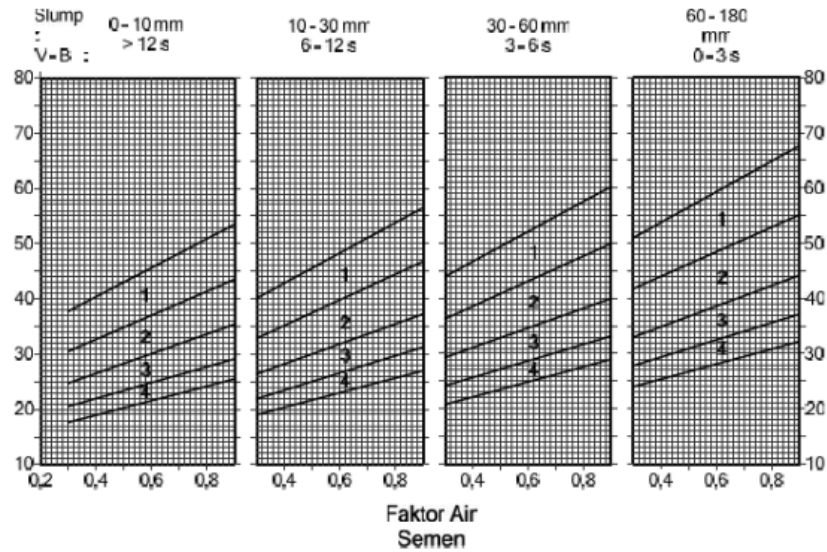
Sumber : SNI 03-2834-2000

11. Menghitung kasar semen untuk per  $\text{m}^3$  dengan persamaan 3.4 berikut ini.  
 Jumlah semen per  $\text{m}^3$  beton =  $\frac{\text{Kadar air bebas}}{FAS}$  (3.4)
12. Menentukan proporsi agregat halus dan kasar, digunakan grafik yang ada di bawah ini.



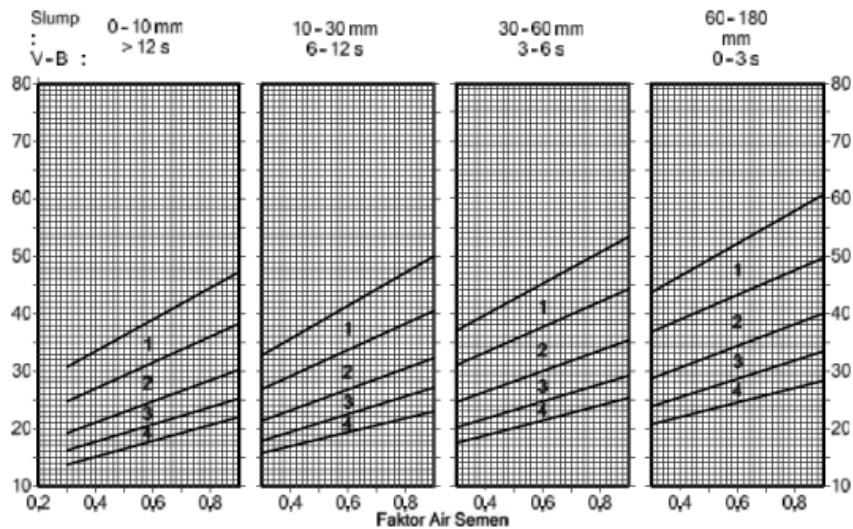
**Gambar 3.2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 10 mm)**

(Sumber: SNI 3-2834-2000)



**Gambar 3.3 Grafik Persen Pasir Terhadap kadar total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20 mm)**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 3.4 Grafik Persen Pasir Terhadap kadar total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 40 mm)**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Untuk mendapatkan persentase agregat halus dan kasar pada perencanaan campuran beton, dapat mengikuti langkah-langkah berikut :

- a. Menentukan grafik yang akan digunakan berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai *slump* yang telah direncanakan.

- b. Setelah itu, tarik garis ke atas hingga mencapai kurva paling atas di antara dua kurva yang memasuki daerah gradasi pasir.
  - c. Kemudian, tarik garis secara horizontal ke kanan dari kedua kurva batas atas dan bawah yang berada daerah gradasi.
  - d. Catat nilai yang diperoleh kemudia ambil rata-rata dari kedua nilai tersebut.
13. Menghitung berat jenis relatif agregat yang telah diambil dari data hasil uji menggunakan persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$BJ_{AGK} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.5)$$

Dengan :

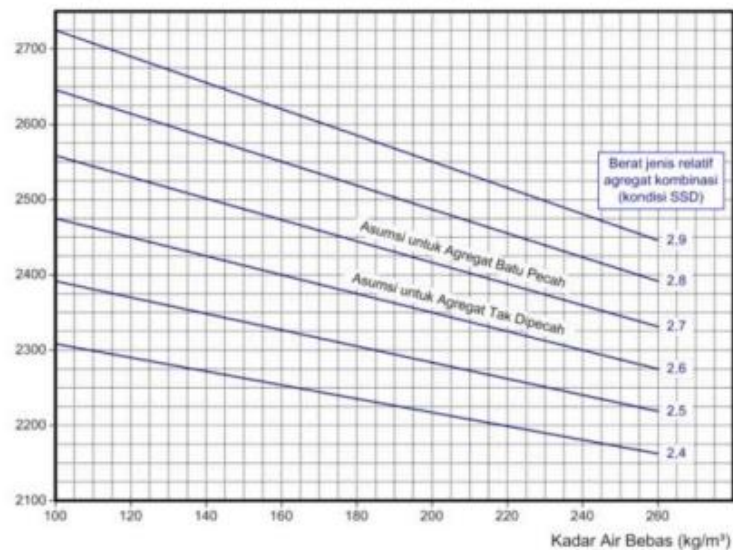
$BJ_{AG}$  = Berat jenis agegat gabungan

$BJ_{AK}$  = Berat jenis agregat kasar

$\%AH$  = Persentase agregat halus

$\%AK$  + Persentase agregat kasar

14. Menentukan nilai dari berat isi beton menggunakan grafik dibawah ini.



**Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Bersih**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

15. Hitung kadar agregat gabungan menggunakan persamaan 3.6 dibawah ini.

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

16. Hitung kadar agregat halus dengan menggunakan persamaan 3.7 dibawah ini.

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

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

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ Agregat kasar}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.9)$$

18. Menghitung kadar penggunaan *fly ash* yang akan digunakan dalam perencanaan campuran beton dari berat semen.

### 3.2.1 Uji Slump.

Pengujian *slump* dilakukan untuk memperoleh nilai *slump* yang menunjukkan tingkat kelacakan adonan beton dan tingkat *workability* beton dengan alat yang bernama kerucut *Abrams* (SNI-1972-2008). Jika hasil pengujian menunjukkan nilai *slump* yang besar, maka beton mudah dikerjakan. Sebaliknya, jika nilai *slump* rendah, maka beton akan kental dan sulit untuk dikerjakan. Untuk menentukan nilai *slump* berdasarkan jenis struktur dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut ini.

**Tabel 3.7 Penentuan Nilai Slump**

No.	Pemakaian Beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai Slump	
		Maksimum	Minimum
1	Dinding, Pelat Pondasi, dan Pondasi telapak bertulang	125	50
2	Pondasi telapak tidak bertulang dan struktur dibawah tanah	90	25
3	Pelat, balok, kolom, dinding	150	75
4	Perkerasan Jalan	75	50
5	Beton massa	75	25

Sumber : Tjokrodimaljo (1992)

### 3.3 Pengujian Beton

Pada penelitian ini, dilakukan 3 jenis pengujian beton, yaitu pengujian menggunakan alat *UPV test*, *hammer test*, dan pengujian *compression test*.

#### 3.3.1 UPV Test

Menurut SNI ASTM C597:2012, Metode pengujian ini yaitu untuk menentukan kecepatan rambat gelombang longitudinal melalui beton. Pengujian menggunakan metode ini untuk menilai keseragaman dan mutu relatif beton, mendeteksi adanya rongga dan keretakan, dan juga mengevaluasi perbaikan retak. Pengujian ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan sifat-sifat beton, dan pada pemeriksaan suatu struktur. Apabila digunakan untuk memantau perubahan kondisi pada periode tertentu, lokasi uji diberikan tanda pada struktur untuk memastikan pengujian dapat diulang pada posisi yang sama. Hasil yang diperoleh dari *UPV test* tidak boleh dianggap sebagai pengukuran kekuatan beton atau sebagai metode pengujian yang memadai untuk menentukan kesesuaian modulus elastisitas beton di lapangan dengan yang diasumsikan dalam perancangan.

Peralatan yang digunakan menggunakan *UPV test* menurut ASTM C597:2012 adalah sebagai berikut.

1. Generator kecepatan rambat gelombang dan transduser pengirim.  
Generator kecepatan rambat gelombang harus memiliki sirkuit untuk menghasilkan tegangan kecepatan rambat gelombang. Transduser yang digunakan untuk mengubah pulsa elektronis menjadi pancaran gelombang energi mekanis harus memiliki frekuensi resonan antar 20 kHz hingga 100 kHz.
2. Transduser penerima dan penguat (*Amplifier*)  
Transduser penerima harus sama dengan transduser pengirim, sehingga tegangan diterima dapat diperkuat sesuai kebutuhan untuk menghasilkan kecepatan rambat gelombang pemicu pada sirkuit pengukur waktu.
3. Sirkuit pengukur waktu.  
Sirkuit pengukur waktu dan pemicu gelombang harus memiliki kemampuan untuk memberikan resolusi pengukuran waktu minimal 1 mikroseken.



Pengukuran waktu dimulai saat tegangan pemicu dilepaskan dari generator kecepatan rambat gelombang, dan sirkuit pengukur waktu harus beroperasi pada frekuensi berulang dari generator kecepatan rambat gelombang. Sirkuit pengukur waktu harus memberikan *output* pengukuran saat gelombang penerima terdeteksi, dan hasil akan digunakan untuk menentukan waktu tempuh yang ditampilkan pada unit penampil. Sirkuit pengukur waktu tidak boleh sensitif terhadap perubahan suhu antara 0°C sampai dengan 40°C dan fluktuasi tegangan listrik sumber daya sekitar 15%.

4. Unit Penampil

Unit penampil modern menggunakan pengukur selang waktu dan penampil digital untuk membaca waktu tempuh secara langsung

5. Batang Kalibrasi

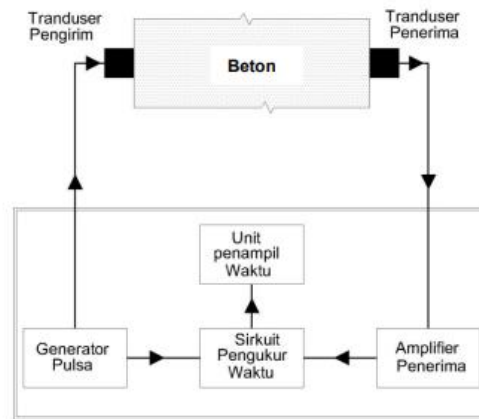
Sebuah batang logam yang tahan lama, waktu tempuh gelombang longitudinal sudah diketahui. Waktu tempuh tersebut perlu dicatat secara permanen pada batang kalibrasi.

6. Kabel Penghubung

Pengukuran kecepatan-pulsa pada struktur besar membutuhkan kabel penghubung interkoneksi yang panjang, gunakan kabel koaksial dengan kapasitas rendah dan terbungkus.

7. Bahan Perantara (*coupling agent*)

Bahan kental seperti oli, jeli yang larut dalam air, karet lunak ( *moldable rubber*) atau gemuk (*grease*) digunakan sebagai media perantara untuk memastikan transfer energi yang efisien antara transduser dan beton. Fungsi bahan perantara (*coupling agent*) ini adalah untuk menghilangkan udara di antara permukaan kontak transduser dengan beton. Air juga dapat digunakan sebagai bahan perantara jika mampu tergenang pada permukaan atau pada pengujian yang dilakukan dalam air.



**Gambar 3.6 Skematik Peralatan untuk Pengujian**

(Sumber: ASTM C597:2012)

Cara pengujian dan perhitungan metode UPV *test* menurut ASTM C597:2012 adalah sebagai berikut.

1. Persiapkan alat UPV : Alat UPV yang dimaksud adalah satu buah *readout 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*).
2. Melakukan kalibrasi pada alat pengujian UPV dengan menggunakan bantuan *calibration bar*.
3. Oleskan *ultrasonic gel* pada benda uji dan ujung kabel konektor
4. Atur pengaturan alat UPV sesuai dengan spesifikasi benda uji dan kondisi pengujian, termasuk jenis gelombang yang digunakan dan waktu tunda.
5. Mulai pengujian : letakan kabel-kabel konektor ke benda uji yang sudah dioleskan oleh gel, kemudian tekan tombol "*Start*" pada alat UPV, alat akan mengirimkan gelombang ultrasonic ke benda uji dan mengukur kecepatan rambatnya.
6. Setelah pengujian selesai catat hasil bacaan kecepatan gelombang ultrasonic yang dihasilkan. Ulangi hingga 5x percobaan
7. Perhitungan dapat dilihat menggunakan persamaan 3.6 dibawah ini.

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.6)$$

Dengan :

- V = Kecepatan rambat gelombang (m/s)
- L = Jarak antara pusat permukaan transduser (m)
- T = Waktu tepuh (s)

### 3.3.2 *Hammer Test*

Menurut SNI ASTM C805:2012, metode pengujian ini membahas tentang penentuan angka pantul beton keras menggunakan palu pantul yang dikendalikan oleh pegas, palu dengan energi tertentu ditumbukan pada permukaan beton, dan yang diukur adalah jarak pantulan palu. Metode pengujian palu pantul dapat digunakan untuk mengevaluasi keseragaman beton di lapangan, mengidentifikasi bagian dari struktur yang mengalami penurunan kualitas, mengalami kerusakan, dan dapat memperkirakan kekuatan beton di lapangan. Pengujian ini dimanfaatkan juga untuk memperkirakan kekuatan beton dengan membuat korelasi antara angka pantul dan kekuatan beton. Angka pantul dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi kelembaban udara pada permukaan bidang uji, bahan cetakan dan kedalaman karbonasi. Faktor-faktor ini harus diperhatikan untuk mempersiapkan hubungan kekuatan dan menginterpretasikan hasil pengujian.

Menurut SNI ASTM C805:2012, berikut adalah peralatan, cara pengujian, dan cara perhitungan dari metode pengujian *hammer test*, yaitu.

#### 1. Peralatan

##### a. Palu Pantul

Metode melibatkan penggunaan sebuah palu baja yang gerakannya dikontrol oleh pegas. Palu tersebut dilepaskan untuk memukul hulu palu yang terbuat dari baja dan langsung bersentuhan dengan permukaan beton. Gerakan palu baja harus dilakukan dengan kecepatan yang tetap dan dapat diulang. Jarak pantulan antara palu baja dan hulu palu diukur menggunakan skala linier.

##### b. Batu Penggosok

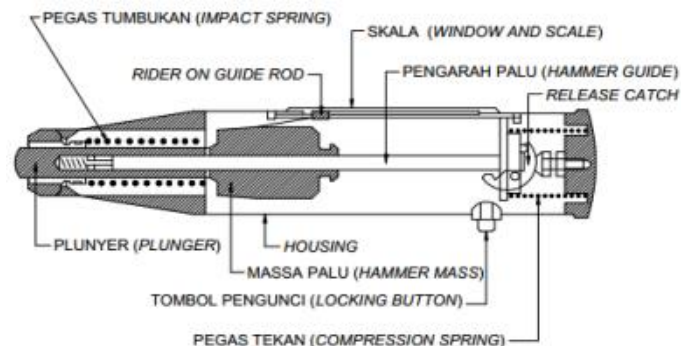
Terbuat dari silika karbid atau bahan lainnya yang sejenis dengan tekstur butiran sedang.

c. Anvil Penguji.

Sebuah silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 150 mm yang terbuat dari baja memiliki kekerasan permukaan tumbukan sekitar  $66 \text{ HRC} \pm 2 \text{ HRC}$ . *Anvil* digunakan sebagai alat pengarah yang memastikan palu pantul berada di tengah daerah tumbukan dan menjaga alat tetap tegak lurus terhadap permukaan yang diuji.

d. Verifikasi

Palu pantul harus dilakukan perawatan dan diverifikasi setiap tahun. Verifikasi pengoperasian palu pantul dilakukan dengan menggunakan *anvil* sesuai dengan prosedur. Selama proses verifikasi *anvil* ditempatkan pada pelat atau lantai beton. Pabrik harus melaporkan hasil pantulan yang diperoleh dari pengoperasian alat dengan benar saat pengujian dilakukan pada *anvil* yang memiliki kekerasan sesuai dengan spesifikasi.



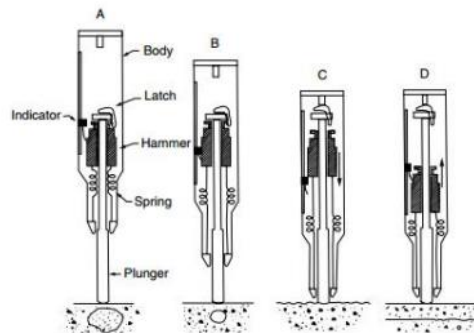
**Gambar 3.7 Struktur Bagian Palu Pantul**

(Sumber: SNI ASTM C805:2012)

2. Cara Pengujian

- Siapkan alat *hammer test*, pastikan bahwa alat *hammer test* dikalibrasi dengan benar.
- Tempelkan ujung alat *hammer* pada permukaan titik uji dengan posisi tegak lurus dengan benda uji.
- Tekankan alat *hammer* dengan arah tegak lurus bidang uji hingga terjadi pukulan pada titik uji.

- d. Lakukan 10 kali pukulan pada satu bidang benda uji dengan jarak antara pukulan 25mm.
- e. Periksa kondisi permukaan beton setelah tumbukan. Jika terdapat keretakan akibat tumbukan dan adanya rongga udara, maka abaikan pembacaan pada titik tersebut dan pilih titik bacaan lainnya.



Gambar 2. Gambaran Sistematis Alat Palu Pantul Saat Pengujian

### Gambar 3.8 Sistematis Alat Palu Pantul Saat Pengujian

(Sumber: SNI ASTM C805:2012)

- f. Perhitungan

Semua pembacaan yang memiliki perbedaan lebih dari 6 satuan dari rata-rata 10 titik bacaan dianggap tidak valid dan diabaikan. Nilai rata-rata dihitung dari pembacaan yang memenuhi syarat tersebut. Apabila terdapat perbedaan lebih dari 2 titik bacaan dari nilai rata-rata, maka semua pembacaan harus dibatalkan dan dilakukan pengukuran ulang dengan mengambil 10 titik bacaan baru pada daerah pengujian.

#### 3.3.3 Compression Test

Menurut SNI 03-1974-2011, kuat tekan beton adalah jumlah beban yang diterapkan per satuan luas, yang menyebabkan benda uji mengalami kerusakan saat diberikan gaya tekan oleh mesin uji beton. Semakin tinggi nilai kuat tekan, maka semakin tinggi mutu beton tersebut. Alat untuk melakukan pengujian kuat tekan yaitu *Compression Testing Machine* (CTM). Kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan 3.7 seperti dibawah ini.

$$F'_c = \frac{P}{A} \quad (3.7)$$

Keterangan :

$F'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$P$  = Beban maksimum (N)

$A$  = Luas Penampang ( $\text{mm}^2$ )



**Gambar 3.9 Pengujian Kuat Tekan Beton**

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

### 3.4 Metode Analisis

Dalam penelitian ini dilakukan analisis regresi dan kesalahan relatif.

#### 3.4.1 Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu atau lebih variabel *independent* dengan variabel *dependent* yang dinyatakan dalam persamaan matematik. Menurut Suyono (2018) dalam buku yang berjudul “Analisa Regresi Untuk Penelitian”, analisis regresi dibedakan menjadi 2 yaitu.

##### 1. Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana adalah sebuah model probabilitas yang menggambarkan korelasi linier antara dua variabel, dengan asumsi bahwa salah satu variabel memiliki pengaruh terhadap variabel yang lain. Bentuk persamaan regresi linier sederhana dinyatakan sebagai berikut

$$Y = a + bx \quad (3.8)$$

Keterangan:  $Y$  = Variabel tak bebas (*Dependent*)

$X$  = Variabel bebas Tunggal (*independent*)

a = Konstanta regresi

b = koefisien regresi

Persamaan regresi linier sederhana, terdapat interaksi timbal balik antara variabel *independent* dan variabel *dependent*. Ketika nilai variabel *independent* meningkat, serta nilai koefisien regresi (nilai b) semakin besar, maka nilai yang diperoleh dari variabel *dependent* juga cenderung meningkat, dengan tetap mempertimbangkan nilai konstan regresi. Sebaliknya, penurunan nilai variabel *independent* dan nilai koefisien regresi dapat mengakibatkan penurunan nilai variabel *dependent*. Selain itu, nilai positif atau negatif dari konstanta dan koefisien regresi juga dapat mempengaruhi besarnya nilai variabel *dependent*.

## 2. Regresi Linier Berganda

Regresi linier berganda digunakan untuk memproyeksikan perubahan dalam nilai suatu variabel jika variabel lain mengalami perubahan. Ini disebut "berganda" karena melibatkan lebih dari satu variabel independen sebagai predictor. Persamaan regresi linier berganda dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut.

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_k x_k \quad (3.9)$$

Keterangan: Y = Variabel tidak bebas (*dependent*)

$\alpha_0, \dots, \alpha_k$  = Koefisien regresi

$x_1, \dots, x_k$  = Variabel bebas (*independent*)

### 3.4.2 Kesalahan Relatif

Kesalahan relatif diperlukan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan nilai kuat tekan beton yang terjadi antara pengujian menggunakan pengujian *compression test* dan *hammer test* terhadap kuat tekan beton yang direncanakan (Wirotama, 2018). Kesalahan relatif (KR) nilai kuat tekan beton dapat dinyatakan dengan persamaan (3-8)

$$KR = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\% \quad (3.10)$$

Keterangan : X1 = Nilai kuat tekan beton rencana

X2 = Hasil Kuat tekan beton dari persamaan regresi

### 3.4.3 Analisa dengan *Software*

Pada penelitian ini, digunakan dua jenis *software*, yaitu IBM SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*) dan MATLAB (*Matrix Laboratory*). IBM SPSS digunakan untuk melakukan analisis regresi dengan tujuan untuk menemukan hubungan antara *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Sementara itu, MATLAB adalah *software* yang digunakan untuk menganalisis dan mengolah data numerik. Dengan memasukkan data hasil pengujian ke dalam MATLAB, dapat menghasilkan grafik yang memvisualisasikan korelasi antara ketiga metode pengujian yang disebutkan di atas.



## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Tinjauan Umum**

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti. Metode penelitian merupakan tahapan untuk mengumpulkan dan menganalisis data dalam lingkup penelitian tertentu dengan tujuan memperoleh hasil dari penelitian. Tahapannya dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian
2. Alat dan bahan benda uji
3. Keterangan benda uji.
4. Pelaksanaan penelitian.
5. Hasil penelitian.

### **4.2 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia mulai dari pembuatan benda uji, perendaman, dan pengujian beton.

### **4.3 Alat dan Bahan Benda Uji**

#### **4.3.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Set ayakan/ saringan agregat

Saringan agregat ini digunakan untuk memilah material untuk mendapatkan agregat halus atau pasir yang memenuhi kriteria yang telah direncanakan.



**Gambar 4.1 Saringan Agregat**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

2. Timbangan

Timbangan dipakai untuk mengetahui berat bahan penyusun beton (pasir, agregat kasar, semen, air).



**Gambar 4.2 Timbangan**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3. Jangka sorong

Jangka sorong dipakai untuk mengukur diameter dan tinggi benda uji.



**Gambar 4.3 Jangka Sorong**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan benda uji (agregat kasar dan halus). Selain itu, waktu pengeringan di dalam oven sekitar 24 jam dengan suhu 105°C.



**Gambar 4.4 Oven Pengering**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

5. Ember

Alat ini digunakan untuk wadah pasir, agregat kasar, semen, dan air pada saat akan dilaksanakan pengecoran beton.



**Gambar 4.5 Ember**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

6. Mesin Pengaduk (*Mixer*)

Alat ini dipakai untuk mencampurkan semua bahan penyusun beton



**Gambar 4.6 Mesin Pengaduk (*Mixer*)**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

7. Cetakan Beton

Cetakan beton yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.



**Gambar 4.7 Cetakan Beton Silinder**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

8. Kunci Inggris

Kunci inggris dipakai untuk memasang atau melepaskan baut-baut yang terpasang pada cetakan beton.



**Gambar 4.8 Kunci Inggris**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

9. Alat Uji *Slump*

Alat ini dipakai untuk mengetahui tinggi nilai *slump* pada beton segar.



**Gambar 4.9 Alat Uji *Slump***  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

10. Seperangkat alat pengujian UPV

UPV dipakai untuk memperoleh cepat rambat gelombang dari beton menggunakan *merk* proceq.



**Gambar 4.10 Alat UPV**

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

11. Clem

Clem digunakan untuk menjepit sampel beton ke kolom struktur bangunan sehingga sampel beton dapat mengunci/tertahan pada kolom struktur dan dilakukan pengujian *hammer test* dari berbagai arah.



**Gambar 4.11 Clem**

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

12. Alat *hammer test*

Alat ini digunakan untuk memperoleh nilai *rebound*/ pantulan pada pengujian *hammer test*.



**Gambar 4.12 Alat Hammer Test**

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

13. *Alat Compression testing machine*

Alat ini digunakan untuk menguji nilai kuat tekan beton dengan metode *compression test*.



**Gambar 4.13 Alat *Compression Testing Machine***

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Semen

Semen yang akan digunakan bermerk Semen Gresik, semen akan ditimbang sesuai dengan rencana yang dibutuhkan untuk membuat sampel beton pada tiap-tiap variasinya.



**Gambar 4.14 Semen**

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

2. Pasir/ agregat halus

Pasir yang dipakai berasal dari daerah Gunung Merapi dengan lolos saringan diameter 4,75





**Gambar 4.15 Pasir**

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3. Agregat kasar

Agregat kasar yang dipakai berasal dari Sungai Progo.



**Gambar 4.16 Agregat Kasar**

(Sumbe: Dokumentasi Pribadi)

4. Air

Air yang dipakai berasal dari Lab. Bahan Konstruksi UII.



**Gambar 4.17 Air**

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

## 5. *Fly ash*

*Fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Paiton. *Fly ash* dari PLTU Paiton termasuk *type C* karena memiliki kadar CaO diatas 10% (Klarens, 2016).

**Gambar 4.18 *Fly Ash***



(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

### 4.4 Keterangan Benda Uji

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm menggunakan variasi beton mutu sedang mulai dari 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa, masing-masing variasi tersebut dicampur dengan bahan *fly ash* pengganti semen sebesar 10%. Seluruh sampel akan dilakukan uji *UPV test*, *hammer test*, dan *compression test*. Berikut uraian mengenai benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 Keterangan Benda Uji**

Variasi Sampel	Umur Beton (Hari)	Persentase <i>Fly Ash</i>	Jumlah Benda (Buah)
Beton <i>fly ash</i> 14,5 MPa (FA 1)	28	10%	15
Beton <i>fly ash</i> 21 MPa (FA 2)	28	10%	15
Beton <i>fly ash</i> 25 MPa (FA 3)	28	10%	15
Beton <i>fly ash</i> 30 MPa (FA 4)	28	10%	15
<b>Total</b>			60



## 4.5 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut;

### 4.5.1 Pengujian Material Benda Uji

#### 1. Agregat halus

Untuk mengetahui karakteristik agregat halus yang digunakan, Adapun beberapa pengujian yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

##### a. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pelaksanaan pengujian menggunakan acuan SNI 1969-2008. Berikut tahapan pelaksanaan pengujian.

- 1) Agregat halus yang lolos Saringan No.4 (4,75mm) sebanyak 1000 gram dipersiapkan, kemudian keringkan agregat kedalam oven selama 24 jam dengan suhu  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 2) Setelah di oven, agregat direndam dalam air selama  $24\pm 4$  jam, air perendaman dibuang dengan hati-hati, kemudian agregat dikeringkan di udara panas dengan membolak-balikkan agregat hingga mencapai keadaan kering permukaan jenuh.
- 3) Keadaan kering permukaan jenuh diperiksa dengan mengisi bahan agregat ke dalam sebuah kerucut terpancung. Bahan tersebut dipadatkan menggunakan sebuah batang penumbuknya sebanyak 25 kali. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai apabila kerucut tersebut diangkat, benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- 4) Apabila point 1), 2), dan 3) tercapai keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Benda uji sebanyak 500 gram dimasukkan ke dalam piknometer, kemudian air suling dimasukkan hingga mencapai 90% isi piknometer. Piknometer diputar sampai tidak ada gelembung udara didalamnya.
- 5) Air ditimbang dan berat piknometer yang sudah berisi agregat dan air dicatat.
- 6) Benda uji dikeluarkan dari piknometer, kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap.

- 7) Benda uji dikeluarkan dari oven, kemudian dinginkan benda uji dalam desikator.
- 8) Piknometer diisi penuh dengan air lalu hasil timbangan beratnya dicatat.

b. Analisis Saringan Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian menggunakan acuan SNI 1968-1990. Berikut adalah langkah-langkah pengujiannya.

- 1) Benda uji agregat halus sebesar 1000 gram disiapkan yang sudah dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- 2) Agregat dimasukkan ke dalam satu set ayakan agregat dengan ukuran lubang ayakan terbesar di bagian atas dan secara berurutan ke bawah hingga mencapai ayakan dengan lubang terkecil.
- 3) Ayakan digetarkan dengan mesin penggoyang selama 10 – 15 menit.
- 4) Benda uji dikeluarkan pada masing-masing saringan, kemudian timbang agregat pada setiap ayakan, lalu berat agregat dicatat.
- 5) Total berat agregat pada masing-masing ayakan harus dipastikan kembali kurang lebih seberat 1000 gram.

c. Berat Isi.

Pelaksanaan pengujian menggunakan acuan SNI 4804-1998. Berikut adalah langkah-langkah pengujian.

- 1) Benda uji keadaan jenuh kering permukaan (SSD) dan cetakan beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm disiapkan, kemudian volume dihitung dan berat cetakan kosong tersebut ditimbang.
- 2) Untuk kondisi padat, agregat halus dimasukkan dalam cetakan per 1/3 bagian dan tiap bagian akan ditumbuk sebanyak 25 kali menggunakan sebuah batang besi hingga mencapai cetakan terisi penuh. Setelah itu, berat cetakan ditimbang.
- 3) Untuk kondisi lepas, agregat halus dimasukkan kedalam cetakan hingga penuh tanpa ditusuk dengan batang penusuk, lalu timbang beratnya.

d. Kadar Air.

Pelaksanaan pengujian menggunakan acuan SNI 1971-2011. Berikut adalah langkah-langkah pengujiannya.

- 1) Peralatan dan benda uji agregat halus disiapkan sesuai dengan ukuran maksimum agregat sesuai dengan acuan dari SNI.
- 2) Agregat dimasukkan ke dalam oven selama 24 ajm dengan suhu  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 3) Agregat dikeluarkan dari oven, kemudian hasil pengujian ditimbang dan dicatat.

2. Agregat kasar

Untuk mengetahui karakteristik agregat kasar yang digunakan, Adapun beberapa pengujian yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.

Pelaksanaan pengujian menggunakan acuan SNI 1969-2008. Berikut adalah langkah-langkah pengujiannya.

- 1) Agregat disaring dengan ukuran ayakan yang direncanakan.
- 2) Benda uji dicuci untuk menghilangkan debu atau kotoran yang melekat pada benda uji.
- 3) Benda uji dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 4) Benda uji dikeluarkan dari oven, kemudian dibiarkan pada suhu ruangan selama 1 jam kemudian ditimbang.
- 5) Beratnya disesuaikan dengan ketentuan yang ada di SNI berdasarkan ukuran maksimum agregatnya.
- 6) Benda uji direndam dalam air pada suhu ruangan selama  $24\pm 4$  jam.
- 7) Benda uji dikeluarkan dari air, lalu dilap dengan kain penyerap hingga air pada permukaan hilang dengan cara diguling-gulingkan.
- 8) Benda uji tersebut ditimbang.
- 9) Agregat dimasukkan dalam keranjang, kemudian goncangkan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dan beratnya di dalam air ditentukan.

b. Analisis Saringan Agregat Kasar.

Pelaksanaan pengujian menggunakan acuan SNI 1968-1990. Berikut adalah langkah-langkah pengujiannya.

- 1) Benda uji agregat kasar sebesar 3000 gram disiapkan yang sudah dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 2) Agregat dimasukkan ke dalam satu set ayakan agregat dengan ukuran lubang ayakan terbesar di bagian atas dan secara berurutan ke bawah hingga mencapai ayakan dengan lubang terkecil.
- 3) Ayakan digetarkan dengan mesin penggoyang selama 10 – 15 menit.
- 4) Benda uji dikeluarkan pada masing-masing saringan, kemudian agregat ditimbang pada setiap ayakan, lalu nilai berat agregat dicatat.
- 5) Total berat agregat pada masing-masing ayakan dipastikan kembali lagi kurang lebih seberat 3000 gram.

c. Berat Isi

Pelaksanaan pengujian menggunakan acuan SNI 4804-1998. Berikut adalah langkah-langkah pengujian.

- 1) Benda uji keadaan jenuh kering permukaan (SSD) dan cetakan beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm disiapkan, kemudian hitung volume dan timbang berat cetakan kosong tersebut
- 2) Untuk kondisi padat, agregat kasar dimasukkan dalam cetakan per 1/3 bagian dan tiap bagian akan ditumbuk sebanyak 25 kali menggunakan sebuah batang besi hingga mencapai cetakan terisi penuh. Setelah itu, berat cetakan ditimbang.
- 3) Untuk kondisi lepas, agregat kasar dimasukkan kedalam cetakan hingga penuh tanpa ditusuk dengan batang penusuk, lalu beratnya ditimbang.

e. Kadar Air.

Pelaksanaan pengujian menggunakan acuan SNI 1971-2011. Berikut adalah langkah-langkah pengujiannya.

- 1) Peralatan dan benda uji agregat kasar disiapkan sesuai dengan ukuran maksimum agregat sesuai dengan acuan dari SNI.

- 2) Agregat dimasukkan ke dalam oven selama 24 ajm dengan suhu  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 3) Agregat dikeluarkan dari oven, kemudian hasil pengujian ditimbang dan dicatat.

#### 4.5.2 Pencetakan Benda Uji

Pencetakan benda uji dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut ;

1. Bahan-bahan yang akan digunakan, mulai dari *fly ash*, semen, air, agregat kasar, agregat halus dan air disiapkan.
2. Alat-alat yang diperlukan seperti *pan*, timbangan, sekop, mesin *mixer*, cetakan silinder, dan lain-lain disiapkan.
3. Agregat halus dan agregat kasar dimasukkan ke dalam mesin *mixer* sesuai dengan proporsinya.
4. *Fly ash* dan semen ditambahkan ke dalam *mixer*, lalu tambahkan air secara perlahan sesuai dengan proposirnya.
5. Mesin *mixer* diputar sampai campuran beton menjadi homogen.
6. Campuran beton dikeluarkan dari *mixer* dilanjutkan pengujian nilai *slump*.
7. Cetakan silinder diolesi terlebih dahulu menggunakan oli.
8. Campuran beton dituangkan ke dalam cetakan setiap  $1/3$  tinggi silinder dan lakukan perojokan sebanyak 25 kali pada setiap bagian untuk memadatkan beton.
9. Cetakan dipukul-pukul menggunakan palu karet untuk menghilangkan rongga udara yang terperangkap di dalam cetakan.
10. Langkah delapan dan sembilan diulangi hingga cetakan terisi penuh.
11. Cetakan diberi keterangan untuk mengidentifikasi benda uji yang dihasilkan.
12. Beton diamkan selama 24 jam, kemudian cetakan dibuka untuk mengambil benda uji.

#### 4.5.3 Pembongkaran Benda Uji

Setelah beton didiamkan selama 24 jam di dalam cetakan, Langkah selanjutnya adalah membongkar cetakan dan mengeluarkan benda uji. Untuk membongkar cetakan, baut yang terpasang pada cetakan harus dikendorkan dengan

menggunakan kunci inggris. Setelah semua baut terlepas benda uji didorong agar keluar dari cetakan.

#### 4.5.4 Perawatan Beton / *Curing*

Perawatan beton bertujuan untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu dalam keadaan lembab (Tjokrodimuljo, 2007). Dalam penelitian ini perawatan dilakukan dengan cara merendam beton ke dalam kolam air dengan terhindar dari sinar matahari. Perawatan beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

#### 4.5.5 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan 3 jenis pengujian yaitu;

##### 1. *UPV*

Berikut langkah-langkah penggunaan alat *UPV* :

- a. Alat *UPV* dipersiapkan, alat *UPV* yang dimaksud adalah satu buah *readout 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. Melakukan kalibrasi pada alat pengujian *UPV* dengan menggunakan bantuan *calibration bar*.



**Gambar 4.19 Kalibrasi Alat Pengujian UPV**

(sumber: Dokumentasi Pribadi)

- c. *Ultrasonic gel* dioleskan pada benda uji dan ujung kabel konektor

- d. Penganturan alat *UPV* diatur sesuai dengan spesifikasi benda uji dan kondisi pengujian, termasuk jenis gelombang yang digunakan dan waktu tunda.
- e. Pengujian dimulai : Kabel-kabel konektor ditempelkan ke benda uji yang sudah dioleskan oleh gel, kemudian tekan tombol “*Start*” pada alat *UPV*, alat akan mengirimkan gelombang ultrasonic ke benda uji dan mengukur kecepatan rambatnya.
- f. Setelah pengujian selesai, hasil bacaan kecepatan gelombang ultrasonic yang dihasilkan dicatat. Percobaan diulangi hingga 5 kali.
- g. Setelah data terkumpul, data dianalisis untuk menentukan kualitas benda uji.

## 2. *Hammer Test*

Langkah-langkah pengujian *hammer test* menggunakan acuan SNI 03-4430-1997 adalah sebagai berikut

- a. Alat *hammer test* disiapkan dan pastikan bahwa alat *hammer test* dikalibrasi dengan benar.
- b. Ujung alat *hammer* ditempelkan pada permukaan titik uji dengan posisi tegak lurus dengan benda uji..
- c. Alat *hammer test* ditekan dengan arah tegak lurus bidang uji hingga terjadi pukulan pada titik uji.
- d. Sebanyak 10 kali pukulan dilakukan pada satu bidang benda uji dengan jarak antara pukulan 25mm.



**Gambar 4.20 Posisi Alat *Concrete Hammer***  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

- e. Nilai pembacaan yang diperoleh dicatat.



**Gambar 4.21** Pembacaan Alat *Concrete Hammer*  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

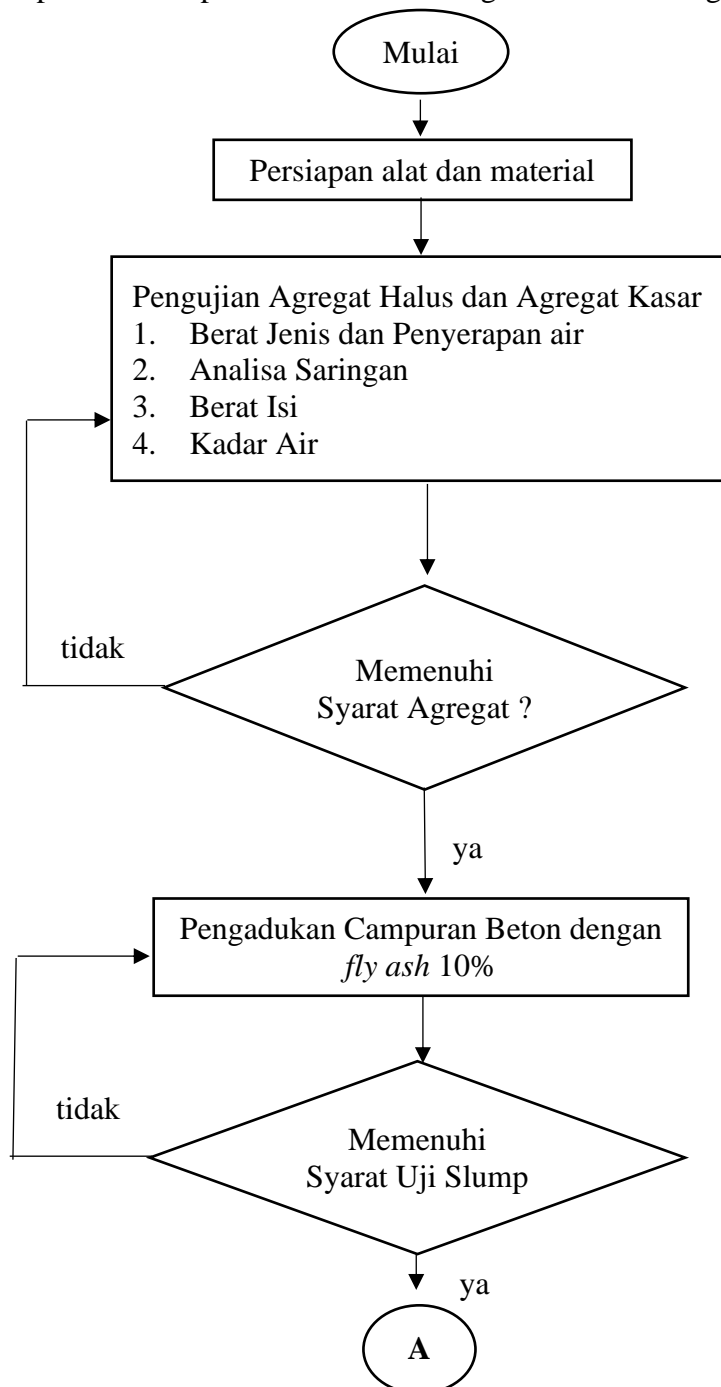
- f. Nilai rata-rata pembacaan dihitung.
- g. Nilai akhir rata-rata dikoreksi sesuai inklinasi pukulan bila arah pukulan tidak horizontal.
- h. Perkiraan nilai kuat tekan silinder beton dihitung menggunakan tabel atau kurva korelasi yang terdapat pada petunjuk penggunaan palu beton yang bersangkutan.
- i. Semua nilai pantul diisikan pada perkiraan kuat tekan beton dalam formulir.
- j. Bagian pegangan yang lebih tebal diposisikan oleh tangan, bagian yang tipis atau kecil dapat membuat alat tergelincir dari tangan.
- k. Posisi hulu palu alat dipastikan berada dalam posisi tegak lurus terhadap permukaan beton yang diuji.
3. *Compression Test*
- Langkah-langkah pengujian *compression test* :
- Sampel beton yang akan diuji disiapkan.
  - Sampel beton diletakkan di bawah mesin uji *compression test*. Pastikan bahwa plat atas dan bawah mesin uji berada dalam posisi yang benar dan rapat.
  - Uji *compression test* dimulai dengan tekanan secara perlahan. Sampel beton diamati selama proses pengujian untuk mendeteksi kerusakan atau keretakan.

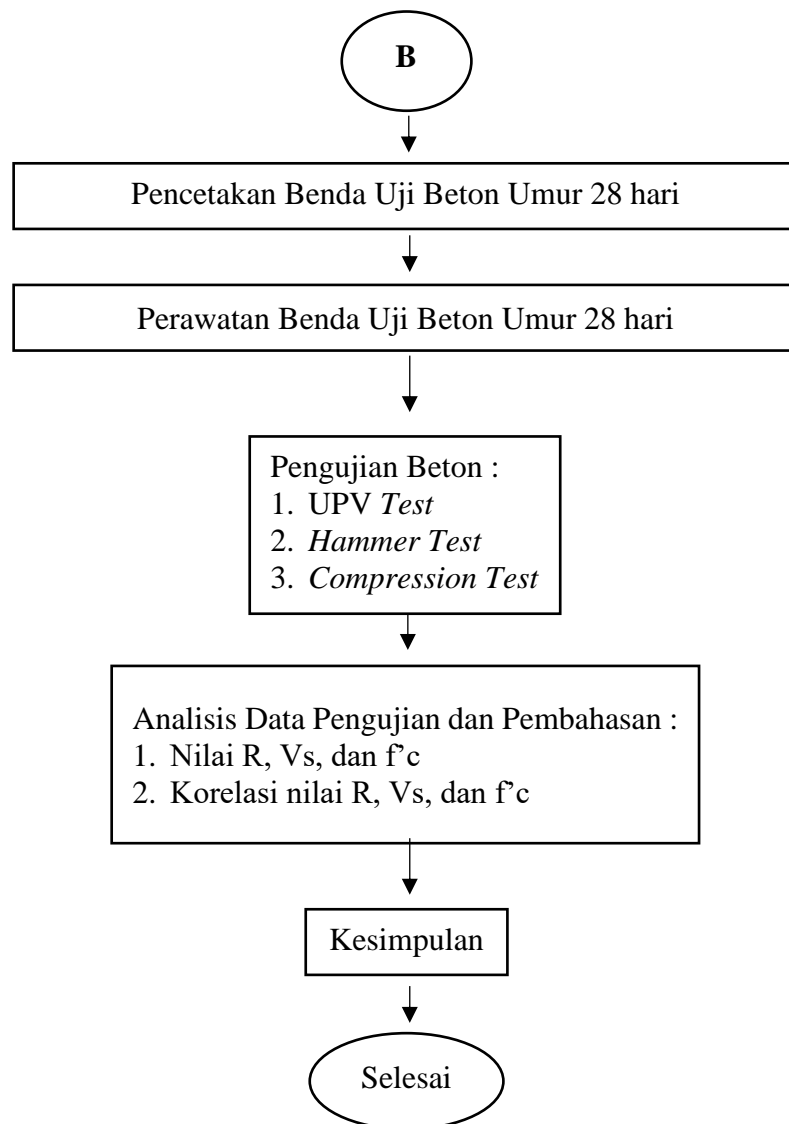


- d. Proses pengujian diteruskan hingga sampel beton pecah atau tidak dapat menahan tekanan lagi. Nilai maksimum tekanan yang dihasilkan pada saat sampel beton pecah dicatat.
- e. Setelah pengujian selesai, sampel beton angkat dan mesin uji diangkat dan dibersihkan. Hasil pengujian yang telah dilakukan dicatat.

#### 4.6 Alur Penelitian

Alur penelitian dapat diuraikan melalui gambar 4.22 sebagai berikut :





**Gambar 4.22 Diagram *Flowchart* Alur Penelitian**

## **BAB 5**

### **DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Umum**

Seluruh proses pengujian secara dilakukan di Lab. Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Proses pengujian ini melibatkan serangkaian tahapan sebagai berikut:

1. Pengujian agregat kasar mencakup analisa saringan, berat isi, berat jenis dan penyerapan,
2. Pengujian agregat halus mencakup analisa saringan, berat isi, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan air.
3. Pembuatan sampel benda uji menggunakan cetakan silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
4. Perawatan benda uji dengan merendam benda uji ke dalam air (*curing*)
5. Pengujian UPV *test*, Hammer *test*, dan *Compression test* pada saat umur beton 28 hari.

#### **5.2 Pengujian Agregat Kasar**

Pada pengujian agregat kasar material yang digunakan berupa batu pecah yang berasal dari tambang batu di Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Analisa agregat kasar yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar dilaksanakan sesuai SNI 1968-1990. Pengujian ini dilakukan menggunakan sempel kerikil seberat 5000 gram. Dalam pengujian analisa saringan dilakukan sebanyak dua kali untuk memperoleh data yang valid. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. Sedangkan, perhitungan analisa saringan agregat kasar pada sampel 1 dapat dilihat sebagai berikut.

- a. Perhitungan Persentase Berat Tertinggal

Rumus persentase berat tertinggal adalah sebagai berikut.

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

Contoh perhitungan persentase berat tertinggal berurutan berdasarkan nomor saringanya sebagai berikut.

$$\text{Lubang ayakan no. 40 mm} = \frac{0}{4949} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan no. 20 mm} = \frac{113}{4949} \times 100\% = 2,28\%$$

$$\text{Lubang ayakan no. 10 mm} = \frac{3515}{4949} \times 100\% = 71,02\%$$

b. Perhitungan Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Rumus persentase berat tertinggal kumulatif adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat tertinggal kumulatif} = \text{Berat tertinggal kumulatif atas (\%)} + \text{berat tertinggal}$$

Contoh perhitungan persentase berat tertinggal kumulatif berurutan berdasarkan nomor saringanya sebagai berikut.

$$\text{Lubang ayakan no. 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan no. 20 mm} &= 0\% + 2,28\% \\ &= 2,28\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan no. 10 mm} &= 2,28\% + 71,02\% \\ &= 73,31\% \end{aligned}$$

c. Perhitungan Persentase Lolos Kumulatif

Rumus persentase lolos kumulatif adalah sebagai berikut.

$$\text{Lolos kumulatif (\%)} = 100\% - \text{Berat tertinggal kumulatif (\%)}$$

Contoh perhitungan persentase lolos kumulatif berurutan berdasarkan nomor saringanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan no. 40 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan no. 20 mm} &= 100\% - 2,28\% \\ &= 97,72\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan no. 10 mm} &= 100\% - 73,31\% \\ &= 26,69\% \end{aligned}$$

Perhitungan diatas dilanjut hingga lubang ayakan paling kecil. Selanjutnya langkah yang sama juga dilakukan untuk analisa saringan agregat pada sampel 2. Adapun Rekapitulasi hasil perhitungan analisa saringan agregat pada sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 sebagai berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Sampel 1**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
40	0	0	0	100
20	113	2,28	2,28	97,72
10	3515	71,02	73,31	26,69
4,8	977	19,74	93,05	6,95
2,4	219	4,43	97,47	2,53
1,2	1	0,02	97,49	2,51
0,6	0	0	97,49	2,51
0,3	0	0	97,49	2,51
0,15	0	0	97,49	2,51
Pan	124	2,51	100	0
Jumlah	4949	100	656,09	

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Sampel 2**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
40	0	0	0	100
20	57	1,14	1,14	98,86
10	3121	62,42	63,56	36,44
4,8	1697	33,94	97,50	2,5
2,4	16	0,32	97,82	2,18

**Lanjutan Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
1,2	7	0,14	97,96	2,04
0,6	0	0	97,96	2,04
0,3	0	0	97,96	2,04
0,15	0	0	97,96	2,04
Pan	102	2,04	100	0
Jumlah	5000	100	651,86	

d. Perhitungan Modulus Halus Butir (MHB)

Rumus Modulus Halus Butir adalah sebagai berikut

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

Data pengujian analisa saringan agregat kasar pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\text{MHB sampel 1} = \frac{656,09}{100} = 6,56$$

$$\text{MHB sampel 2} = \frac{651,86}{100} = 6,52$$

$$\text{MHB Rata-rata} = \frac{\text{MHB Sampel 1} + \text{MHB Sampel 2}}{2} = 6,54$$

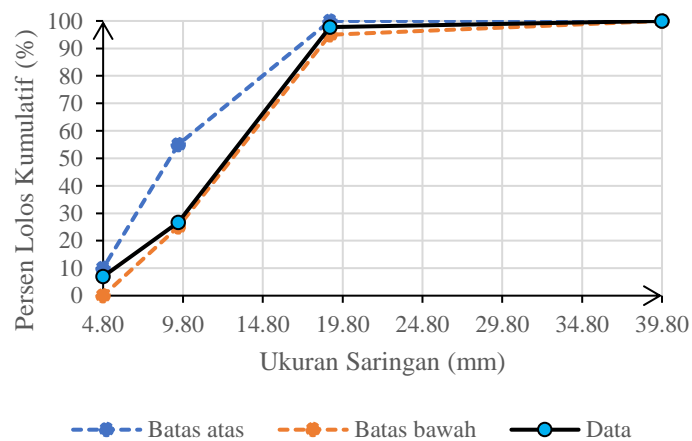
Berdasarkan perhitungan analisa saringan agregat kasar, diperoleh nilai hasil modulus halus butir agregat kasar rata-rata sebesar 6,54. Menurut SK SNI S-04-1989-F, nilai modulus halus butir agregat kasar berada sekitar 5 – 8. Sehingga nilai modulus halus butir agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang berlaku. Kemudian pengujian analisa saringan juga dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat kasar. Penentuan gradasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Gradasi Agregat Kasar

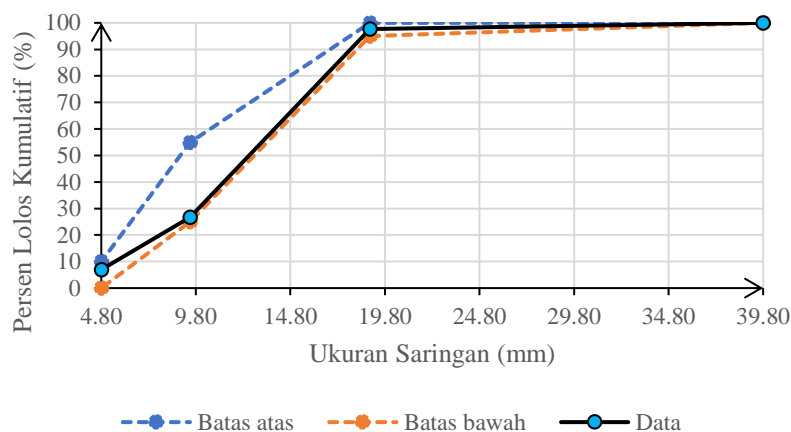
Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan/Besar	
	Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber : SNI 2834-2000

Dari Tabel 5.3 di atas digunakan sebagai dasar untuk membuat kurva gradasi agregat kasar yang dapat dilihat dalam Gambar 5.1 dan Gambar 5.2, sebagaimana yang terlihat di bawah ini.



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



**Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2**

Berdasarkan Gambar 5.3 dan gambar 5.4 diatas, maka dapat diketahui bahwa agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran maksimum 20 mm dan sesuai dengan persyaratan gradasi ukuran maksimum 20 mm.

2. Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian berat isi agregat kasar dilakukan sesuai dengan SNI 4804-1998. Hasil pengujian berat isi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar**

URAIAN	Gembur		Padat	
	Pengujian		Pengujian	
	I	II	I	II
Berat Tabung (W1), gram	11649	10653	11649	10653
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18961	18090	19646	18584
Berat Agregat (W3=W2-W1), gram	7312	7437	7997	7931
Volume Tabung (V)	5359,42	5357,17	5359,42	5357,17
Berat Isi (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,36	1,39	1,49	1,48
Berat Isi Rata-rata, gram/cm <sup>3</sup>	1,38		1,49	

Berdasarkan Tabel 5.4 diatas, didapatkan hasil rata-rata berat isi gembur agregat kasar sebesar 1,38 gram/cm<sup>3</sup> dan berat isi padat agregat kasar sebesar



1,49 gram/cm<sup>3</sup>. Menurut SNI 03-4804-1998 persyaratan berat isi gembur dan berat isi padat antara 1,2 – 1,7 gram/cm<sup>3</sup>. Sehingga, agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran beton.

### 3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 1969-1900. Adapun hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil kering mutlak (Bk), gram	4946	4903	4924,5
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj), gram	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba), gram	3107	3147	3127
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,61	2,65	2,63
Berat Jenis jenuh kering permukaan (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,64	2,70	2,67
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,69	2,79	2,74
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,09	1,98	1,54

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh hasil berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD) rata-rata sebesar 2,67 dan rata-rata penyerapan air agregat kasar sebesar 1,54% . Menurut SNI 03-1750-1990 spesifikasi berat jenis agregat sebesar 2,5 – 2,7, kemudian SNI No. 1737-1989-F (1989) persyaratan untuk penyerapan air agregat adalah  $\leq 3\%$ . Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat kasar telah memenuhi persyaratan dan agregat kasar dalam penelitian ini adalah agregat normal.

### 5.3 Pengujian Agregat Halus

Pada pengujian agregat halus material yang digunakan berupa pasir yang berasal dari Gunung Merapi, Kabupaten Sleman. Analisa agregat halus yang dilakukan adalah sebagai berikut.

#### 1. Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan agregat halus dilaksanakan sesuai SNI 1968-1990. Pengujian ini dilakukan menggunakan sampel kerikil seberat 2000 gram. Dalam pengujian analisa saringan dilakukan sebanyak dua kali untuk memperoleh data yang valid. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7. Sedangkan, perhitungan analisa saringan agregat halus pada sampel 1 dapat dilihat sebagai berikut.

##### a. Perhitungan Persentase Berat Tertinggal

Rumus persentase berat tertinggal adalah sebagai berikut.

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

Contoh perhitungan persentase berat tertinggal berurutan berdasarkan nomor saringannya sebagai berikut.

$$\text{Lubang ayakan No. 40 mm} = \frac{0}{1976} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan No. 20 mm} = \frac{0}{1976} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan No. 10 mm} = \frac{0}{1976} \times 100\% = 0\%$$

##### Perhitungan Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Rumus persentase berat tertinggal kumulatif adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat tertinggal kumulatif} = \text{Berat tertinggal kumulatif atas (\%)} + \text{berat tertinggal}$$

Contoh perhitungan persentase berat tertinggal kumulatif berurutan berdasarkan nomor saringannya sebagai berikut.

$$\text{Lubang ayakan No. 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan No. 20 mm} &= 0\% + 0\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan No. 10 mm} &= 0\% + 0\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

b. Perhitungan Persentase Lolos Kumulatif

Rumus persentase lolos kumulatif adalah sebagai berikut.

$$\text{Lolos kumulatif (\%)} = 100\% - \text{Berat tertinggal kumulatif (\%)}$$

Contoh perhitungan persentase lolos kumulatif berurutan berdasarkan nomor saringanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan No. 40 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan No. 20 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan No, 10 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Perhitungan diatas dilanjut hingga lubang ayakan paling kecil. Selanjutnya langkah yang sama juga dilakukan untuk analisa saringan agregat pada sampel 2. Adapun Rekapitulasi hasil perhitungan analisa saringan agregat pada sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 sebagai berikut.

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	2	0,10	0,10	99,90
2,4	179	9,06	9,16	90,84
1,2	628	31,78	40,94	59,06
0,6	398	20,14	61,08	38,92
0,3	316	15,99	77,07	22,93
0,15	288	14,57	91,65	8,35
Pan	165	8,35	100,00	0
Jumlah	1976	100	280,01	

**Tabel 5.7 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 2**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	5	0,25	0,25	99,75
2,4	273	13,77	14,02	85,98
1,2	586	29,55	43,57	56,43
0,6	413	20,83	64,40	35,60
0,3	324	16,34	80,74	19,26
0,15	294	14,83	95,56	4,44
Pan	88	4,44	100,00	0
Jumlah	1983	100	298,54	

c. Perhitungan Modulus Halus Butir (MHB)

Rumus Modulus Halus Butir adalah sebagai berikut

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

Data pengujian analisa saringan agregat halus pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\text{MHB sampel 1} = \frac{280,01}{100} = 2,80$$

$$\text{MHB sampel 2} = \frac{298,54}{100} = 2,99$$

$$\text{MHB Rata-rata} = \frac{\text{MHB Sampel 1} + \text{MHB Sampel 2}}{2} = 2,895$$

Berdasarkan perhitungan analisa saringan agregat kasar, diperoleh nilai hasil modulus halus butir agregat halus rata-rata sebesar 2,895. Menurut SNI 03-1968-1990, nilai modulus halus butir agregat halus batas minimum dan maksimum antara 1,5 – 3,8. Sehingga nilai modulus halus butir agregat halus yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang berlaku. Kemudian pengujian

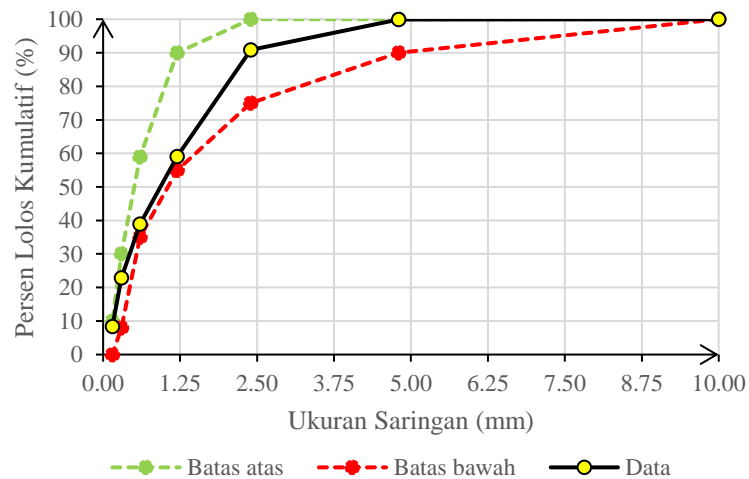
analisa saringan juga dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat halus. Penentuan gradasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

**Tabel 5.8 Gradasi Agregat Halus**

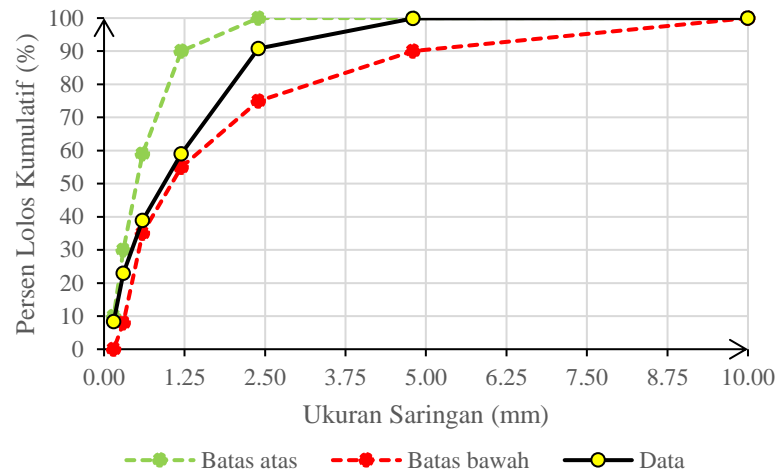
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Sumber: SNI 2834-2000

Dari Tabel 5.8 diatas digunakan sebagai dasar untuk membuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat dalam Gambar 5.3 dan Gambar 5.4, sebagaimana yang terlihat di bawah ini.



**Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1**



**Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2**

Berdasarkan Gambar 5.3 dan gambar 5.4 diatas, maka dapat diketahui bahwa agregat halus yang digunakan masuk pada daerah gradasi II atau pasir agak kasar.

2. Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi agregat halus dilakukan sesuai dengan SNI 4804-1998. Hasil pengujian berat isi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus**

URAIAN	Gembur		Padat	
	Pengujian		Pengujian	
	I	II	I	II
Berat Tabung (W1), gram	10024	10563	10234	10563
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18229	18538	19126	19753
Berat Agregat (W3=W2-W1), gram	8732	8658	8892	9190
Volume Tabung (V)	5359,42	5357,17	5359,42	5357,17
Berat Isi (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,63	1,62	1,66	1,72
Berat Isi Rata-rata, gram/cm <sup>3</sup>	1,62		1,69	

Berdasarkan Tabel 5.4 di atas, didapatkan hasil rata-rata berat isi gembur agregat halus sebesar 1,62 gram/cm<sup>3</sup> dan berat isi padat agregat halus sebesar 1,69 gram/cm<sup>3</sup>. Menurut SNI 03-4804-1998 persyaratan berat isi gembur agregat halus antara 1,2 – 2,7 gram/cm<sup>3</sup> dan untuk persyaratan berat isi padat antara 1,2 – 1,7. Sehingga, agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran beton.

3. Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kadar Lumpur dalam pasir)

Pengujian lolos saringan No.200 atau pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 4142-1996. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.10. Sedangkan perhitungan persentase kadar lumpur dalam sampel 1 dilakukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 484}{500} \times 100\% \\ &= 3,2\% \end{aligned}$$

**Tabel 5.10 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	484	482	483
Persentase yang lolos ayakan No.200 $[(W_1 - W_2)/W_1] \times 100$	3,2	3,6	3,4

Dari hasil dan analisa pengujian, diperoleh persentase rata-rata kadar lumpur agregat halus sebesar 3,4%. Menurut SNI 03-4142-1996 nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yang diizinkan untuk agregat halus natural yaitu  $\leq 5\%$ . Sehingga agregat halus dapat digunakan dalam penelitian ini.

#### 4. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 1970-1900. Adapun hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1013	1022	1017,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	708	708	708
Berat Jenis Curah, $Bk / (B+500-Bt)$	2,49	2,62	2,56
Berat Jenis jenuh kering permukaan (SSD), $500 / (B+500-Bt)$	2,56	2,69	2,63
Berat Jenis semu, $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,69	2,80	2,74

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh hasil berat jenis agregat halus dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD) rata-rata sebesar 2,63 dan rata-rata penyerapan air agregat kasar sebesar 2,74% . Menurut SNI 03-1750-1990 spesifikasi berat jenis agregat sebesar 2,5 – 2,7, kemudian SNI No. 1737-1989-F (1989) persyaratan untuk penyerapan air agregat adalah  $\leq 3\%$ . Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat halus telah memenuhi persyaratan dan agregat kasar dalam penelitian ini adalah agregat normal.

### 5.3 Perhitungan Kebutuhan Material beton

Perhitungan kebutuhan material beton (*mix design*) mengacu pada SNI 03-2834-2000. Tujuan dilakukannya perhitungan kebutuhan material beton untuk menentukan proporsi kebutuhan beton sesuai dengan mutu beton yang akan direncanakan. Mutu beton yang akan direncanakan pada penelitian ini terdiri dari



$f'c$  14,5 MPa,  $f'c$  21 MPa,  $f'c$  25 Mpa, dan  $f'c$  30 MPa. Benda uji yang digunakan yaitu 15 sampel tiap silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan total mutu beton seluruh sampel yaitu 60 sampel. Untuk informasi lebih rinci mengenai perhitungan mix design dapat dilihat pada Lampiran 3

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Kebutuhan Material Beton**

Material	F'c beton yang direncanakan			
	F'c 14,5	F'c 21	F'c 25	F'c 30
Air (liter)	19,552	19,552	19,552	19,552
Semen (kg)	29,329	32,925	36,053	39,732
<i>Fly ash</i> 10% (kg)	3,259	3,658	4,005	4,414
Agregat halus (kg)	90,997	86,143	82,458	78,591
Agregat Kasar (kg)	77,525	78,382	78,593	78,371
Total (kg)	220,662	220,660	220,661	220,660

#### 5.4 Pengujian Beton

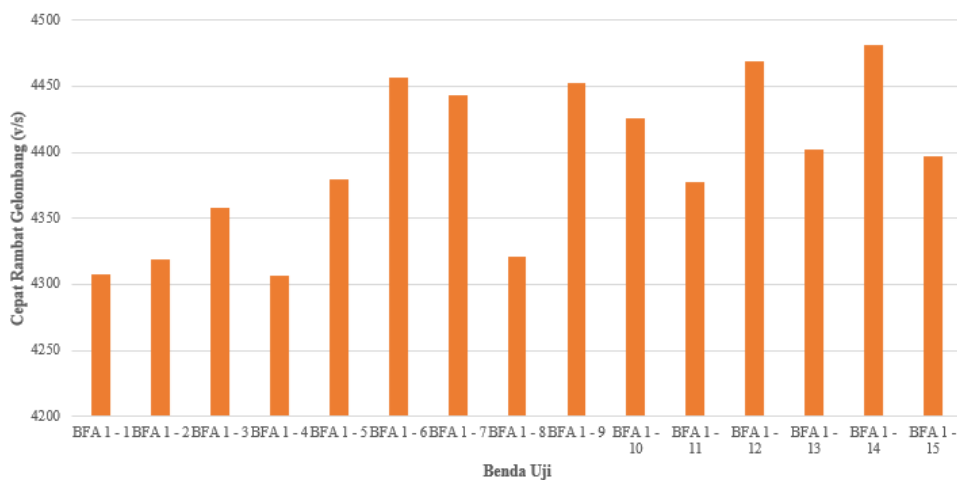
Pada penelitian ini, dilakukan tiga pengujian beton yaitu *UPV Test*, *Hammer Test*, dan *Compression Test*. Hasil ketiga pengujian adalah sebagai berikut

##### 5.4.1 Hasil Pengujian *UPV Test*

Pengujian UPV digunakan untuk menilai atau mengetahui keseragaman beton dan mutu relatif beton (SNI ASTM C597:2012). Pengujian UPV dilakukan pada sampel silinder yang terdiri dari 4 variasi dengan masing-masing variasi terdiri dari 15 sampel. Pengujian UPV dilakukan dengan metode *direct transmission* dengan meletakkan transducer UPV pada ujung permukaan silinder, setiap benda uji dilakukan 5 kali pengujian untuk memperoleh hasil nilai yang semakin akurat. Hasil pengujian UPV yang didapatkan berupa nilai kecepatan rambat gelombang yang dapat dilihat pada Tabel 5.13 s/d 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian UPV Mutu Beton F'c 14,5 MPa

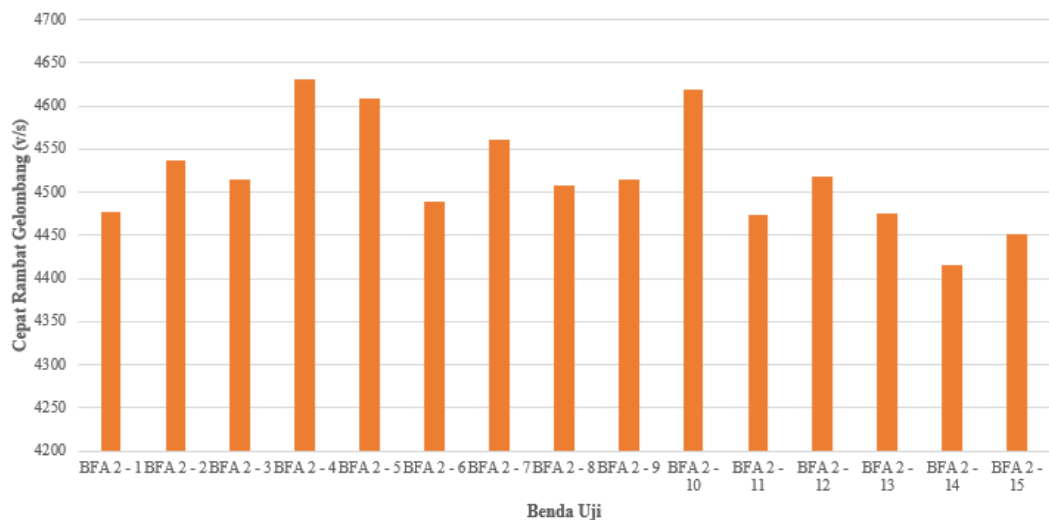
No.	Kode Benda Uji		Pengujian UPV Metode <i>Direct Transmission</i>					Nilai Rata-Rata
			1	2	3	4	5	
1.	BFA 1 - 1	m/s	4274	4286	4335	4310	4335	4308,00
2.	BFA 1 - 2	m/s	4292	4354	4354	4292	4304	4319,20
3.	BFA 1 - 3	m/s	4354	4323	4354	4386	4373	4358,00
4.	BFA 1 - 4	m/s	4292	4367	4310	4274	4292	4307,00
5.	BFA 1 - 5	m/s	4354	4399	4373	4399	4373	4379,60
6.	BFA 1 - 6	m/s	4471	4438	4471	4451	4451	4456,40
7.	BFA 1 - 7	m/s	4438	4471	4405	4464	4438	4443,20
8.	BFA 1 - 8	m/s	4280	4323	4323	4342	4335	4320,60
9.	BFA 1 - 9	m/s	4438	4451	4471	4532	4373	4453,00
10.	BFA 1 - 10	m/s	4438	4471	4405	4399	4418	4426,20
11.	BFA 1 - 11	m/s	4342	4373	4386	4386	4399	4377,20
12.	BFA 1 - 12	m/s	4438	4498	4405	4484	4518	4468,60
13.	BFA 1 - 13	m/s	4418	4418	4484	4386	4304	4402,00
14.	BFA 1 - 14	m/s	4451	4451	4518	4471	4518	4481,80
15.	BFA 1 - 15	m/s	4386	4405	4373	4405	4418	4397,40
Rata-Rata Total							4393,21	



Gambar 5.5 Grafik Hasil Pengujian UPV Test F'c 14,5 MPa

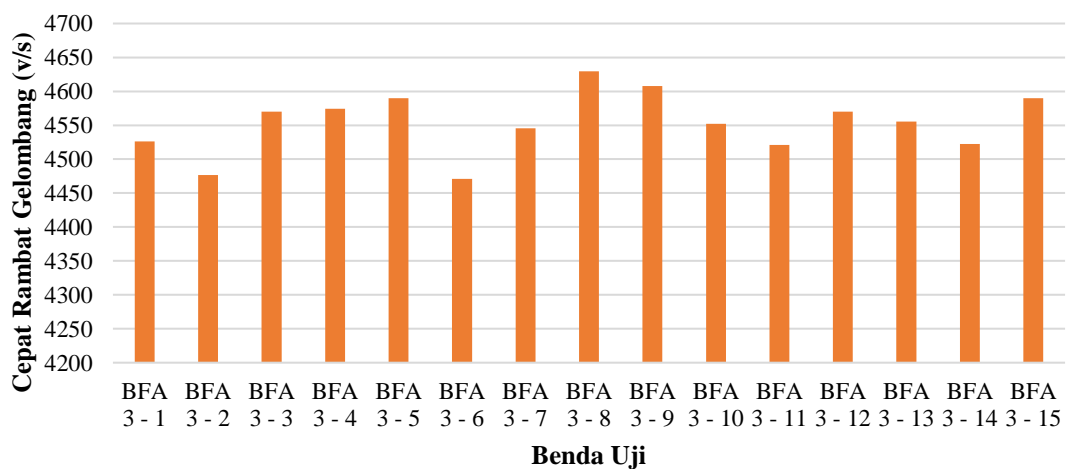
Tabel 5.14 Hasil Pengujian UPV Mutu Beton F'c 21 MPa

No.	Kode Benda Uji		Pengujian UPV Metode <i>Direct Transmission</i>					Nilai Rata-Rata
			1	2	3	4	5	
1.	BFA 2 - 1	m/s	4451	4518	4464	4451	4505	4477,80
2.	BFA 2 - 2	m/s	4608	4484	4552	4587	4451	4536,40
3.	BFA 2 - 3	m/s	4552	4484	4505	4518	4518	4515,40
4.	BFA 2 - 4	m/s	4552	4644	4637	4680	4644	4631,40
5.	BFA 2 - 5	m/s	4601	4622	4658	4573	4587	4608,20
6.	BFA 2 - 6	m/s	4464	4552	4498	4484	4451	4489,80
7.	BFA 2 - 7	m/s	4552	4539	4573	4587	4552	4560,60
8.	BFA 2 - 8	m/s	4532	4532	4518	4484	4471	4507,40
9.	BFA 2 - 9	m/s	4518	4552	4518	4418	4566	4514,40
10.	BFA 2 - 10	m/s	4637	4644	4601	4573	4637	4618,40
11.	BFA 2 - 11	m/s	4498	4484	4484	4451	4451	4473,60
12.	BFA 2 - 12	m/s	4552	4518	4484	4518	4518	4518,00
13.	BFA 2 - 13	m/s	4498	4464	4498	4431	4484	4475,00
14.	BFA 2 - 14	m/s	4484	4418	4405	4418	4354	4415,80
15.	BFA 2 - 15	m/s	4438	4418	4484	4464	4451	4451,00
Rata-Rata Total							4519,55	

Gambar 5.6 Grafik Hasil Pengujian UPV *Test* F'c 21 MPa

Tabel 5.15 Hasil Pengujian UPV Mutu Beton F'c 25 MPa

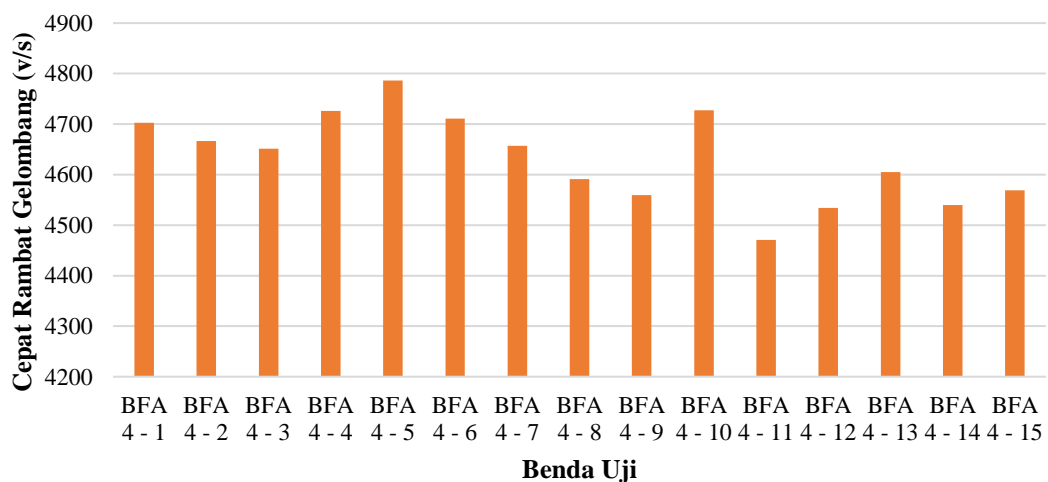
No.	Kode Benda Uji		Pengujian UPV Metode <i>Direct Transmission</i>					Nilai Rata-Rata
			1	2	3	4	5	
1.	BFA 3 - 1	m/s	4532	4532	4552	4532	4484	4526,40
2.	BFA 3 - 2	m/s	4518	4431	4498	4484	4451	4476,40
3.	BFA 3 - 3	m/s	4552	4601	4573	4573	4552	4570,20
4.	BFA 3 - 4	m/s	4552	4608	4552	4608	4552	4574,40
5.	BFA 3 - 5	m/s	4622	4601	4622	4552	4552	4589,80
6.	BFA 3 - 6	m/s	4451	4518	4451	4498	4438	4471,20
7.	BFA 3 - 7	m/s	4552	4518	4587	4552	4518	4545,40
8.	BFA 3 - 8	m/s	4644	4622	4658	4622	4601	4629,40
9.	BFA 3 - 9	m/s	4622	4601	4622	4573	4622	4608,00
10.	BFA 3 - 10	m/s	4552	4573	4552	4552	4532	4552,20
11.	BFA 3 - 11	m/s	4532	4552	4505	4484	4532	4521,00
12.	BFA 3 - 12	m/s	4587	4573	4587	4552	4552	4570,20
13.	BFA 3 - 13	m/s	4622	4532	4539	4532	4552	4555,40
14.	BFA 3 - 14	m/s	4505	4552	4518	4518	4518	4522,20
15.	BFA 3 - 15	m/s	4601	4573	4601	4587	4587	4589,80
Rata-Rata Total								4533,47



Gambar 5.7 Grafik Hasil Pengujian UPV Test F'c 25 MPa

Tabel 5.16 Hasil Pengujian UPV Mutu Beton F'c 30 MPa

No.	Kode Benda Uji		Pengujian UPV Metode <i>Direct Transmission</i>					Nilai Rata-Rata
			1	2	3	4	5	
1.	BFA 4 - 1	m/s	4695	4695	4695	4695	4732	4702,40
2.	BFA 4 - 2	m/s	4695	4622	4685	4637	4695	4666,80
3.	BFA 4 - 3	m/s	4673	4644	4622	4695	4622	4651,20
4.	BFA 4 - 4	m/s	4732	4717	4732	4754	4695	4726,00
5.	BFA 4 - 5	m/s	4769	4754	4832	4808	4769	4786,40
6.	BFA 4 - 6	m/s	4658	4754	4769	4680	4695	4711,20
7.	BFA 4 - 7	m/s	4658	4637	4637	4695	4658	4657,00
8.	BFA 4 - 8	m/s	4573	4601	4622	4587	4573	4591,20
9.	BFA 4 - 9	m/s	4552	4552	4573	4532	4587	4559,20
10.	BFA 4 - 10	m/s	4747	4695	4732	4754	4710	4727,60
11.	BFA 4 - 11	m/s	4451	4451	4484	4505	4464	4471,00
12.	BFA 4 - 12	m/s	4518	4518	4552	4566	4518	4534,40
13.	BFA 4 - 13	m/s	4622	4573	4658	4587	4587	4605,40
14.	BFA 4 - 14	m/s	4518	4532	4518	4566	4566	4540,00
15.	BFA 4 - 15	m/s	4518	4552	4601	4601	4573	4569,00
Rata-Rata Total								4633,25



Gambar 5.8 Grafik Hasil Pengujian UPV Test F'c 30 MPa

Sesuai dengan tabel kualifikasi beton, menurut *International Atomic Energy Agency* kualitas beton yang bagus memiliki nilai cepat rambat gelombang berada diantara 3500 – 4500 m/s, kemudian jika kualitas beton > 4500 m/s maka kualitas beton yang dihasilkan sangat bagus.

**Tabel 5.17 Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang**

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

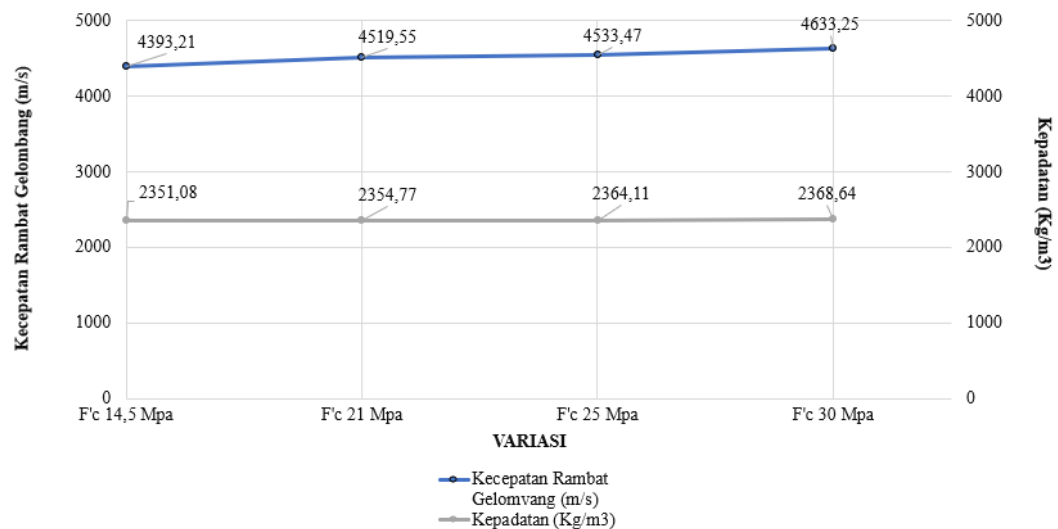
Sumber : International Atomic Agency, Vienna (2002)

Berdasarkan Tabel 5.13 s/d Tabel 5.16, didapatkan hasil rata-rata nilai UPV untuk  $f'c$  14,5 MPa yaitu 4393,21 m/s,  $f'c$  21 MPa yaitu 4519,55 m/s,  $f'c$  25 MPa yaitu 4533,47 m/s, dan  $f'c$  30 MPa yaitu 4633,25 nilai cepat rambat yang diperoleh secara keseluruhan dapat dikatakan sangat bagus.

Kecepatan gelombang ultrasonik dalam beton dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu kepadatan dan homogenitas beton. Beton yang lebih padat dan homogen akan memungkinkan gelombang ultrasonik merambat lebih cepat dan menghasilkan gelombang ultrasonik yang tinggi. Sebaliknya, jika beton memiliki rongga atau ketidakseragaman, gelombang ultrasonik akan merambat lebih lambat, mengakibatkan waktu tempuh yang lebih lama dan akibatnya kecepatan gelombangnya akan lebih rendah (Ma'arif dkk, 2011). Pada beton yang diteliti kali ini dengan menambahkan *fly ash* 10% menunjukkan bahwa nilai cepat rambat sangat bagus. Nilai tersebut dapat menjelaskan bahwa beton dengan *fly ash* 10% membuat beton menjadi padat dan berbanding lurus dengan meningkatnya kuat tekan rencana.

Besarnya *fly ash* 10% akan meningkatkan kerapatan beton seiring dengan meningkatnya kuat tekan rencana terhadap campuran beton. Hal tersebut

dikarenakan *fly ash* mampu mengisi rongga-rongga pada beton terhadap berat semen ditunjukkan pada Gambar 5.9 yang menjelaskan bahwa hasil pengujian cepat rambat gelombang akan semakin meningkat berbanding lurus dengan berat volumenya.



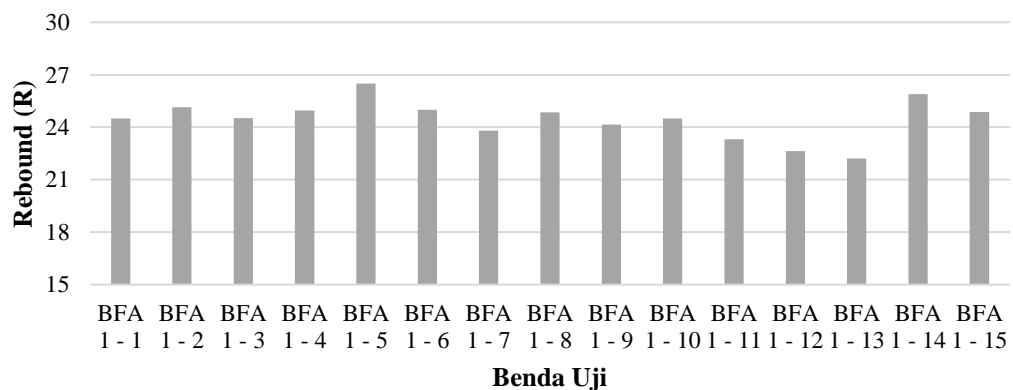
**Gambar 5.9 Hasil Pengujian Kecepatan Rambat Gelombang dan Berat Volume Silinder Beton**

#### 5.4.2 Hasil Pengujian *Hammer Test*

Pengujian *hammer test* digunakan untuk menilai keseragaman beton dan memperkirakan kekuatan beton pada struktur bangunan (SNI ASTM C805:2012). Pengujian *hammer test* dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknologi Universitas Islam Indonesia dengan alat yang digunakan *Silver Schmidt Hammer* buatan PROCEQ. Hasil yang didapatkan dari pengujian *hammer* berupa nilai *rebound*. Nilai *rebound* dipengaruhi oleh ketahanan/kekerasan beton, apabila bidang permukaan beton keras maka hasil pembacaan nilai *rebound* akan tinggi, sebaliknya apabila bidang permukaan beton yang lembut dan memiliki banyak rongga maka nilai *rebound* yang dihasilkan akan rendah. Mengatasi akan hal tersebut maka disyaratkan untuk pengambilan nilai *rebound* sebanyak 10 kali pada area dengan selang jarak 2,5 cm tiap pengukuran. Area yang diuji berupa posisi B dan posisi C, dimana posisi B (-90°) berada di bagian atas permukaan benda uji dan posisi C (90°) berada dibagian bawah permukaan benda uji. Hasil pengujian *hammer test* dapat dilihat pada Tabel 5.18 s/d Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian *Hammer Test* F'c 14,5 MPa

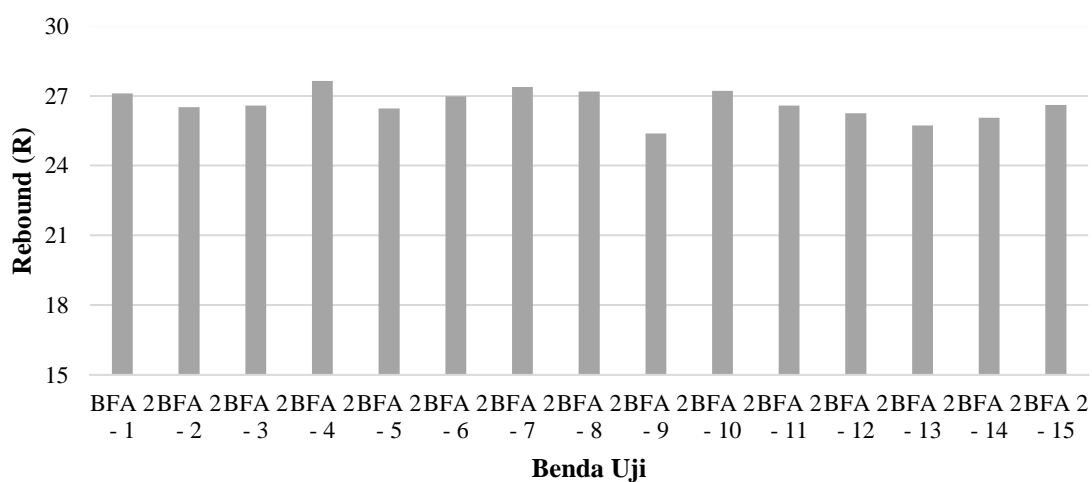
Kode Benda Uji	Nilai Rebound		
	Titik B	Titik C	Rata-Rata
BFA 1 - 1	21,73	27,28	24,51
BFA 1 - 2	22,95	27,32	25,14
BFA 1 - 3	24,88	24,17	24,53
BFA 1 - 4	24,64	25,27	24,96
BFA 1 - 5	25,52	27,47	26,50
BFA 1 - 6	25,17	24,83	25,00
BFA 1 - 7	23,87	23,74	23,81
BFA 1 - 8	25,24	24,47	24,86
BFA 1 - 9	25,09	23,23	24,16
BFA 1 - 10	25,07	23,92	24,50
BFA 1 - 11	23,69	22,92	23,31
BFA 1 - 12	22,10	23,16	22,63
BFA 1 - 13	21,63	22,79	22,21
BFA 1 - 14	26,75	25,05	25,90
BFA 1 - 15	26,83	22,9	24,87
Nilai Rata-Rata Total			24,46

Gambar 5.10 Grafik Hasil Pengujian *Hammer Test* F'c 14,5 MPa



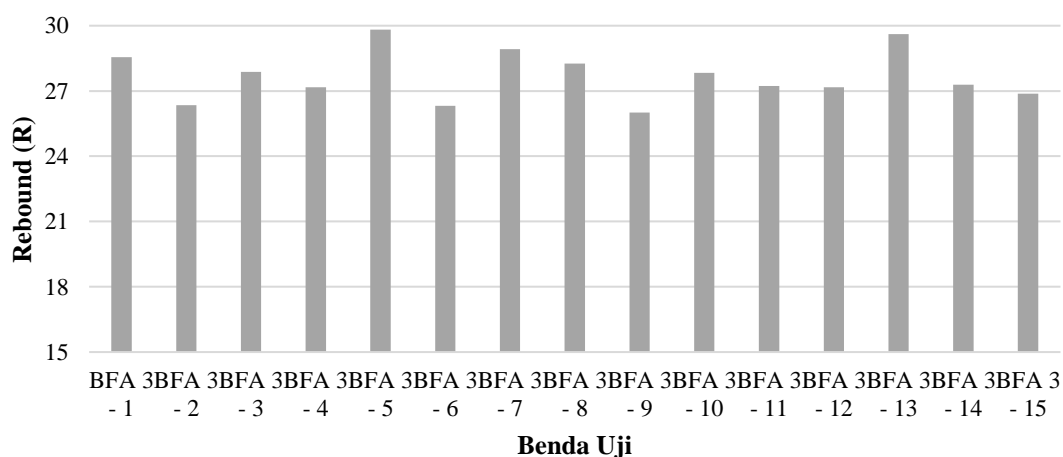
**Tabel 5.19 Hasil Pengujian *Hammer Test* F'c 21 MPa**

Kode Benda Uji	Nilai Rebound		
	Titik B	Titik C	Rata-Rata
BFA 2 - 1	26,28	27,92	27,10
BFA 2 - 2	26,41	26,62	26,52
BFA 2 - 3	25,88	27,29	26,59
BFA 2 - 4	27,16	28,13	27,65
BFA 2 - 5	26,13	26,78	26,46
BFA 2 - 6	26,51	27,44	26,98
BFA 2 - 7	27,16	27,60	27,38
BFA 2 - 8	27,04	27,33	27,19
BFA 2 - 9	24,18	26,58	25,38
BFA 2 - 10	25,07	23,92	24,50
BFA 2 - 11	26,30	26,85	26,58
BFA 2 - 12	24,33	28,18	26,26
BFA 2 - 13	23,25	28,21	25,73
BFA 2 - 14	24,69	27,42	26,06
BFA 2 - 15	24,88	28,35	26,62
Nilai Rata-Rata Total			26,46

**Gambar 5.11 Grafik Hasil Pengujian *Hammer Test* F'c 21 MPa**

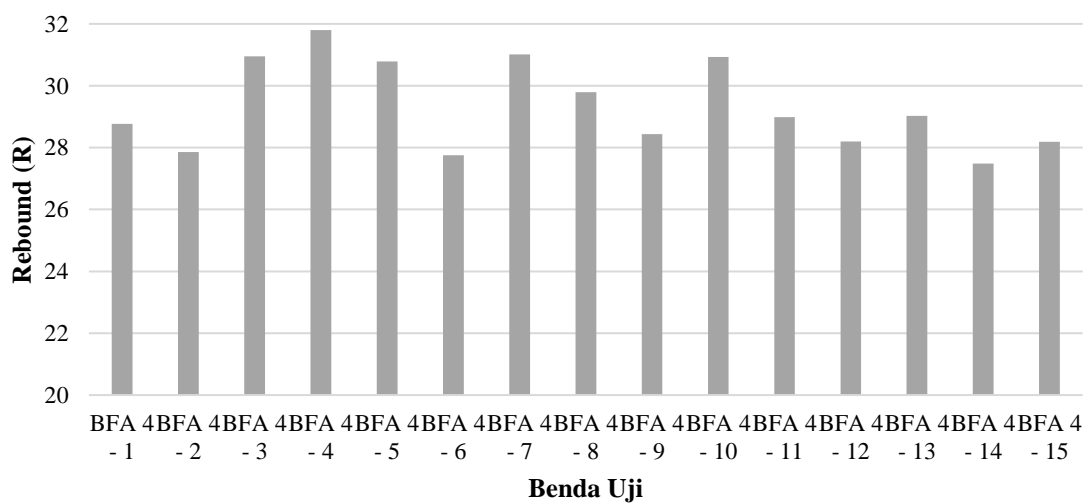
Tabel 5.20 Hasil Pengujian *Hammer Test* F'c 25 MPa

Kode Benda Uji	Nilai Rebound		
	Titik B	Titik C	Rata-Rata
BFA 3 - 1	28,42	28,68	28,55
BFA 3 - 2	26,69	26,01	26,35
BFA 3 - 3	27,68	28,07	27,88
BFA 3 - 4	26,24	28,10	27,17
BFA 3 - 5	29,17	30,47	29,82
BFA 3 - 6	25,70	26,94	26,32
BFA 3 - 7	25,12	32,71	28,92
BFA 3 - 8	28,51	28,01	28,26
BFA 3 - 9	26,10	25,93	26,02
BFA 3 - 10	27,08	28,58	27,83
BFA 3 - 11	27,01	27,46	27,24
BFA 3 - 12	27,37	26,96	27,17
BFA 3 - 13	28,08	31,15	29,62
BFA 3 - 14	27,68	26,905	27,29
BFA 3 - 15	26,61	27,14	26,88
Nilai Rata-Rata Total			27,68

Gambar 5.12 Grafik Hasil Pengujian *Hammer Test* F'c 25 MPa

**Tabel 5.21 Hasil Pengujian *Hammer Test* F'c 30 MPa**

Kode Benda Uji	Nilai Rebound		
	Titik B	Titik C	Rata-Rata
BFA 4 - 1	28,01	29,53	28,77
BFA 4 - 2	27,26	28,45	27,86
BFA 4 - 3	29,69	32,22	30,96
BFA 4 - 4	31,97	31,62	31,80
BFA 4 - 5	29,83	31,75	30,79
BFA 4 - 6	26,62	28,89	27,76
BFA 4 - 7	29,90	32,13	31,02
BFA 4 - 8	28,64	30,95	29,80
BFA 4 - 9	28,21	28,67	28,44
BFA 4 - 10	30,29	31,57	30,93
BFA 4 - 11	28,07	29,91	28,99
BFA 4 - 12	26,66	29,74	28,20
BFA 4 - 13	28,15	29,91	29,03
BFA 4 - 14	25,23	29,74	27,49
BFA 4 - 15	28,21	28,16	28,19
Nilai Rata-Rata Total			29,33

**Gambar 5.13 Grafik Hasil Pengujian *Hammer Test* F'c 25 MPa**

Berdasarkan hasil pengujian *hammer test* diperoleh nilai rata-rata *rebound* yang dihasilkan untuk  $f'c$  14,5 MPa sebesar 24,46,  $f'c$  21 MPa sebesar 26,46,  $f'c$  25 MPa sebesar 27,68 MPa, dan  $f'c$  30 MPa sebesar 29,33. Dapat disimpulkan bahwa nilai *rebound* yang dihasilkan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya nilai kuat tekan rencana. Sehingga hasil tersebut dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

#### 5.4.3 Hasil Pengujian *Compression Test*

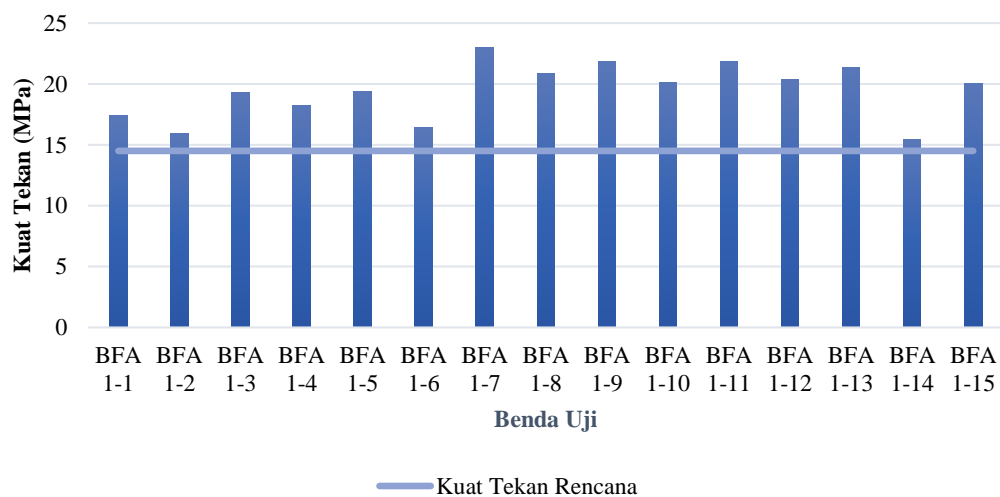
Pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari, benda uji yang diujikan berjumlah 60 sampel silinder. Sebelum pengujian dimulai, permukaan atas benda uji pertama-tama dilapisi dengan lapisan capping. Tujuannya adalah untuk memberikan permukaan yang rata bagi benda uji tekan. Bahan yang digunakan untuk lapisan capping ini adalah belerang (sulfur). Pengujian kuat tekan beton dilanjutkan hingga benda uji mengalami kerusakan, yang berarti benda uji tersebut tidak lagi mampu menahan beban yang diberikan oleh mesin pengujian. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.22 s/d Tabel 5.25.

**Tabel 5.22 Hasil Pengujian *Compression Test*  $F'c$  14,5 MPa**

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat (kg)	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi (cm)	Diameter (cm)			MPa	kN
		1.	BFA 1 - 1				
2.	BFA 1 - 2	30	15	12,52	28	15,93	281,56
3.	BFA 1 - 3	30	15	12,73	28	19,32	341,42
4.	BFA 1 - 4	30	15	12,55	28	18,24	334,70
5.	BFA 1 - 5	29,8	15	12,40	28	19,35	341,91
6.	BFA 1 - 6	29,8	15	12,27	28	16,46	290,83
7.	BFA 1 - 7	30	15	12,48	28	22,98	406,16
8.	BFA 1 - 8	30	15	12,41	28	20,90	369,27
9.	BFA 1 - 9	30	14,9	12,40	28	21,82	385,65
10.	BFA 1 - 10	30	14,9	12,46	28	20,13	355,69

Lanjutan Tabel 5.22 Hasil Pengujian *Compression Test*  $F'_c$  14,5 MPa

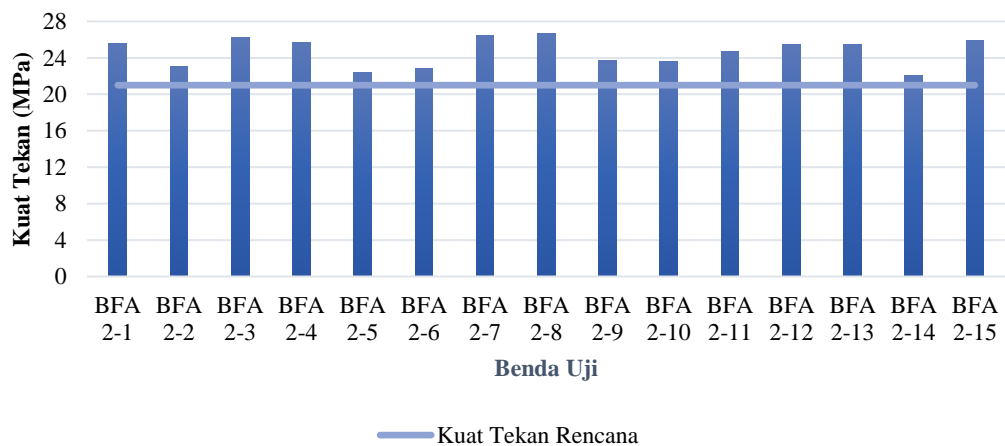
No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi	Diameter			MPa	kN
		(cm)	(cm)	(kg)			
11.	BFA 1 - 11	30	15	12,63	28	21,87	386,47
12.	BFA 1 - 12	29,9	14,9	12,17	28	20,34	359,36
13.	BFA 1 - 13	30	14,9	12,46	28	21,37	371,63
14.	BFA 1 - 14	30	15	12,55	28	15,43	275,93
15.	BFA 1 - 15	30	15	12,55	28	20,06	354,39
Nilai Rata-Rata Total						19,44	344,19

Gambar 5.14 Grafik Hasil Pengujian *Compression Test*  $F'_c$  14,5 MPaTabel 5.23 Hasil Pengujian *Compression Test*  $F'_c$  21 MPa

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi	Diameter			MPa	kN
		(cm)	(cm)	(kg)			
1.	BFA 2 - 1	30	15	12,70	28	25,62	452,77
2.	BFA 2 - 2	29,8	15	12,13	28	23,07	407,67
3.	BFA 2 - 3	30	15	12,34	28	26,22	463,26
4.	BFA 2 - 4	30	15	12,43	28	25,74	454,81
5.	BFA 2 - 5	30	14,8	12,48	28	22,41	395,94

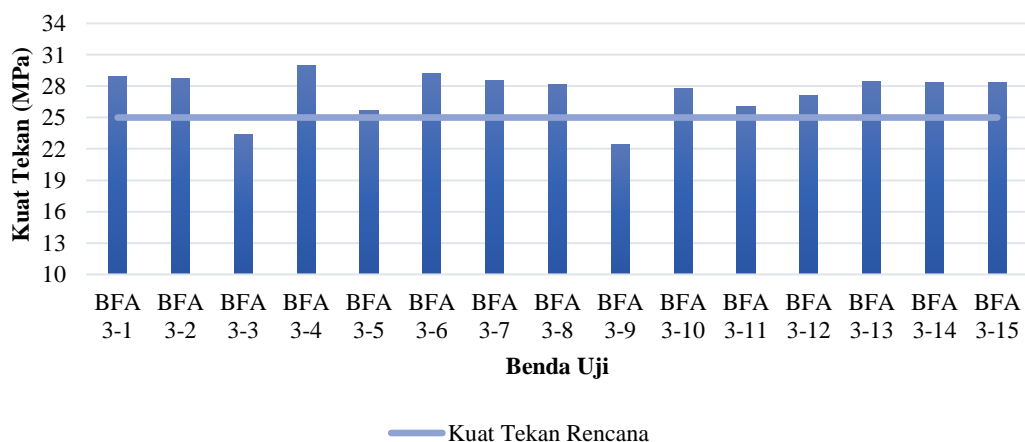
Lanjutan Tabel 5.23 Hasil Pengujian *Compression Test* F'c 21 MPa

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi	Diameter			MPa	kN
		(cm)	(cm)	(kg)			
6.	BFA 2 - 6	30	14,8	12,33	28	22,85	403,73
7.	BFA 2 - 7	30	14,9	12,48	28	26,46	467,50
8.	BFA 2 - 8	30	15	12,74	28	26,64	470,80
9.	BFA 2 - 9	29,9	15	12,44	28	23,66	418,56
10.	BFA 2 - 10	30	15	12,51	28	23,65	418,56
11.	BFA 2 - 11	30	15	12,51	28	24,66	435,81
12.	BFA 2 - 12	30	15	12,55	28	25,46	449,87
13.	BFA 2 - 13	30	15	12,44	28	25,42	449,70
14.	BFA 2 - 14	30	14,9	12,76	28	22,10	390,41
15.	BFA 2 - 15	29,9	14,9	12,43	28	25,96	454,06
Nilai Rata-Rata Total						24,66	435,56

Gambar 5.15 Grafik Hasil Pengujian *Compression Test* F'c 21 MPa

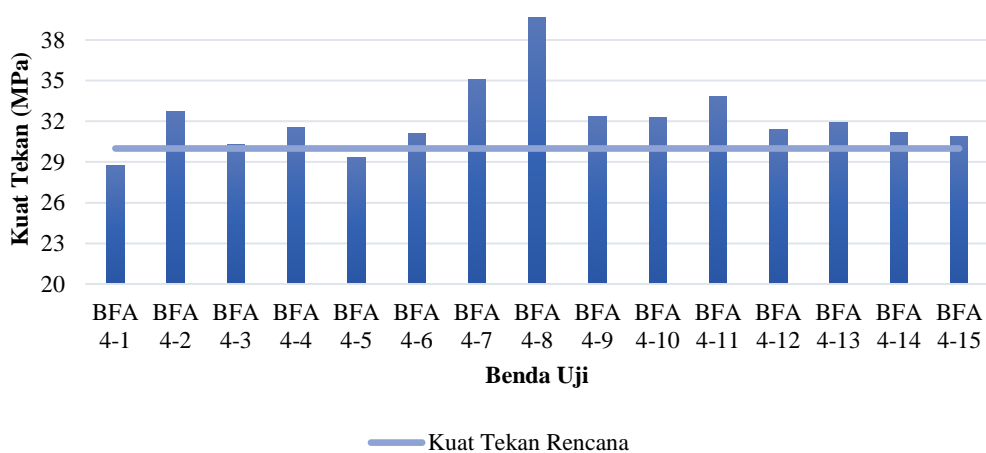
Tabel 5.24 Hasil Pengujian *Compression Test* F'c 25 MPa

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat (kg)	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi (cm)	Diameter (cm)			MPa	kN
		1.	BFA 3 - 1	30		14,9	12,56
2.	BFA 3 - 2	30	14,9	12,41	28	28,76	506,16
3.	BFA 3 - 3	29,9	15	12,65	28	23,36	412,88
4.	BFA 3 - 4	30	14,8	12,28	28	30,00	530,13
5.	BFA 3 - 5	30	15	12,62	28	25,69	453,90
6.	BFA 3 - 6	30	15	12,69	28	29,21	516,20
7.	BFA 3 - 7	30	15	12,55	28	28,55	504,61
8.	BFA 3 - 8	30	15	12,42	28	28,18	497,98
9.	BFA 3 - 9	30	14,8	12,48	28	22,41	395,94
10.	BFA 3 - 10	30	15	12,48	28	27,79	491,15
11.	BFA 3 - 11	30	15	12,64	28	26,05	460,38
12.	BFA 3 - 12	30	15	12,54	28	27,07	478,37
13.	BFA 3 - 13	30	15	12,63	28	28,49	503,36
14.	BFA 3 - 14	30	15	12,48	28	28,38	501,54
15.	BFA 3 - 15	30	14,9	12,58	28	28,32	500,48
Nilai Rata-Rata Total						27,41	484,23

Gambar 5.16 Grafik Hasil Pengujian *Compression Test* F'c 25 MPa

Tabel 5.25 Hasil Pengujian *Compression Test* F'c 30 MPa

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat (kg)	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi (cm)	Diameter (cm)			MPa	kN
		1.	BFA 4 - 1	30		14,9	12,67
2.	BFA 4 - 2	30	15	12,53	28	32,70	577,79
3.	BFA 4 - 3	30	15	12,57	28	30,31	533,80
4.	BFA 4 - 4	30	14,8	12,46	28	31,52	556,94
5.	BFA 4 - 5	30	15	12,49	28	29,34	519,29
6.	BFA 4 - 6	30	14,8	12,47	28	31,10	549,52
7.	BFA 4 - 7	30	14,9	12,53	28	35,10	620,29
8.	BFA 4 - 8	30	14,8	12,50	28	39,63	700,38
9.	BFA 4 - 9	30	15	12,48	28	32,35	571,75
10.	BFA 4 - 10	30	14,8	12,73	28	32,27	570,22
11.	BFA 4 - 11	30	15	12,65	28	33,83	597,87
12.	BFA 4 - 12	30	15	12,59	28	31,43	555,47
13.	BFA 4 - 13	30	15	12,57	28	31,90	563,69
14.	BFA 4 - 14	30	15	12,68	28	31,18	550,93
15.	BFA 4 - 15	30	15	12,44	28	30,89	540,32
Nilai Rata-Rata Total						32,15	567,71

Gambar 5.17 Grafik Hasil Pengujian *Compression Test* F'c 30 MPa



Berdasarkan Tabel 5.22 s/d Tabel 5.25 rata-rata hasil pengujian *compression test*  $f'c$  14,5 MPa,  $f'c$  21 MPa,  $f'c$  25 MPa, dan  $f'c$  30 MPa berturut-turut adalah 19,44 MPa, 24,66 MPa, 27,41 MPa, dan 32,15 MPa telah memenuhi kuat tekan rencana yang diinginkan. Pencapaian kuat tekan yang direncanakan sebagian besar disebabkan oleh penambahan *fly ash* yang optimal. Penggunaan *fly ash* memiliki tekstur halus dapat meningkatkan kepadatan beton dengan mengisi ruang antara butiran agregat dan menghindari segregasi, sehingga mengurangi porositas dan memanfaatkan sifat pozzolan dari *fly ash*. Selain itu, penggunaan *fly ash* dalam proporsi yang tepat telah terbukti meningkatkan kekuatan beton (Mardiono, 2017).

### 5.5 Analisis Regresi Sederhana dan Korelasi Sederhana

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah diperoleh, maka dapat dilakukan analisis regresi untuk membentuk grafik dan menghasilkan rumus yang relevan. Dalam penelitian ini, analisis regresi dijalankan melalui perangkat *Microsoft Excel* dengan 5 jenis *trendline* yang berbeda. Tujuan dari analisis regresi yaitu untuk memahami dan mengukur hubungan antara dua atau lebih variabel, variabel yang dimaksud adalah *hammer test* dengan *compression test* dan *UPV test* dengan *compression test*.

Menurut Sugiyono (2018), tingkat hubungan korelasi yang terdapat dalam hasil regresi dinyatakan melalui koefisien (R) yang dibagi menjadi lima tingkat sesuai dengan Tabel 5.26 Koefisien Korelasi (R) merupakan hasil akar dari *R Square* ( $R^2$ ).

**Tabel 5.26 Interval Koefisien Korelasi**

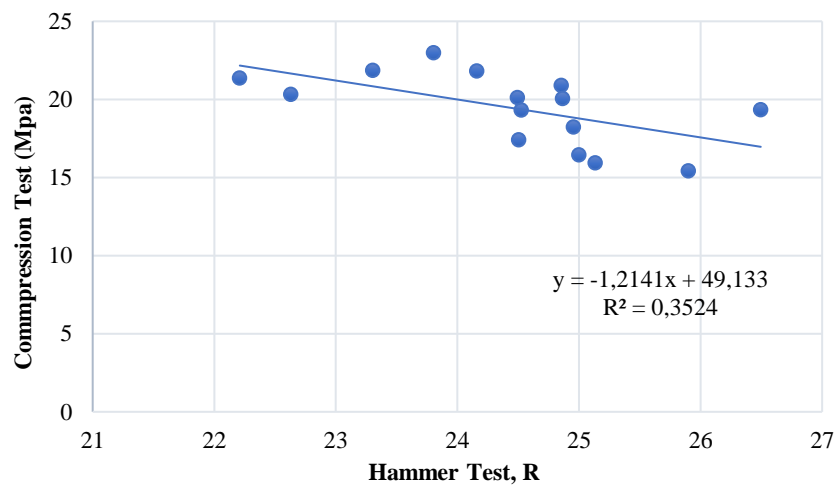
Interval Koefisien (R)	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,19	Sangat Rendah
0,20 – 0,39	Rendah
0,40 – 0,59	Sedang
0,60 – 0,70	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

Sumber : Sugiyono (2018)

### 5.5.1 Hasil Analisis Regresi Menggunakan *Trendline Linier Sederhana*

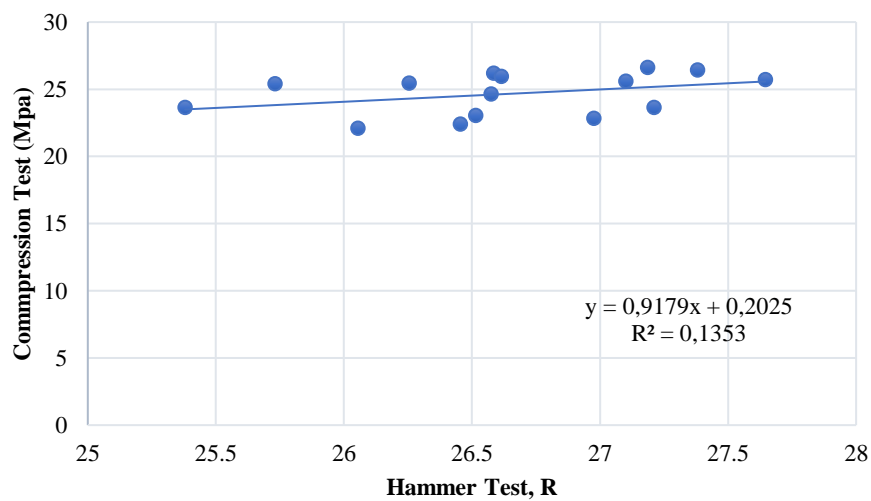
Regresi linier sederhana adalah salah satu metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua variabel yaitu variabel independen (X) dan variabel dependen (Y) bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel terhadap variabel lainnya (Mulyono, 2019).

#### 1. Analisis Regresi *Linier Sederhana* Antara *Hammer Test* dan *Compression*

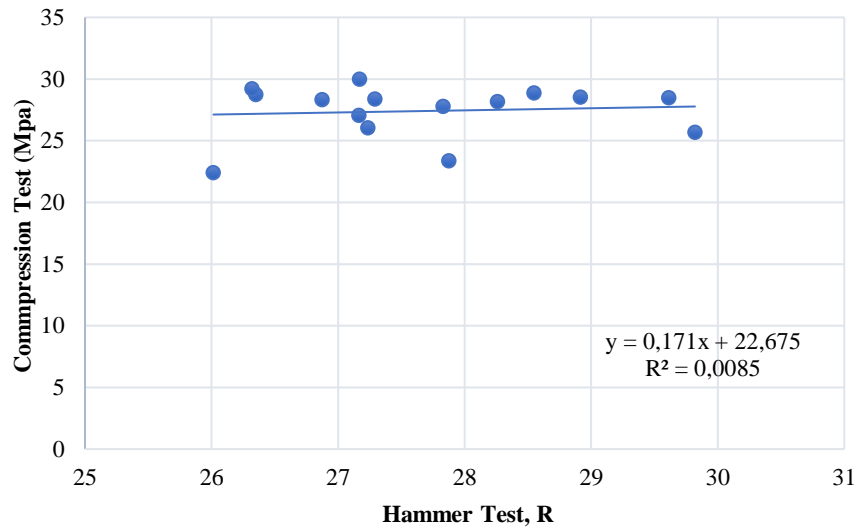


*Test*

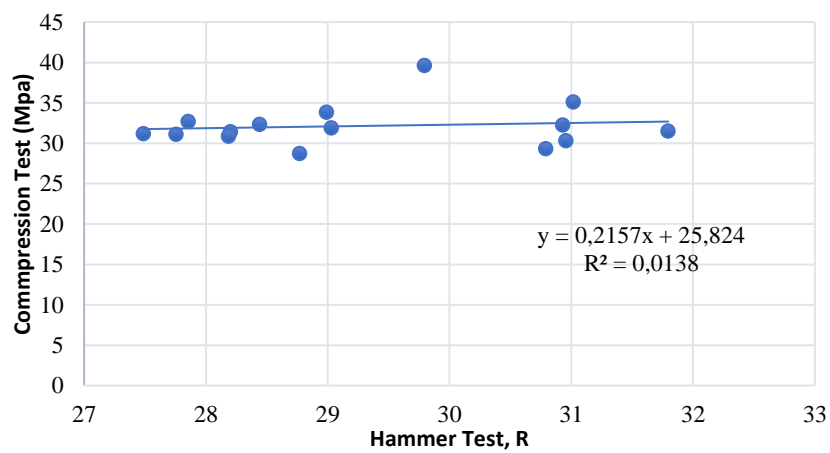
**Gambar 5.18 Grafik Regresi *Linier Sederhana* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 14,5 MPa***



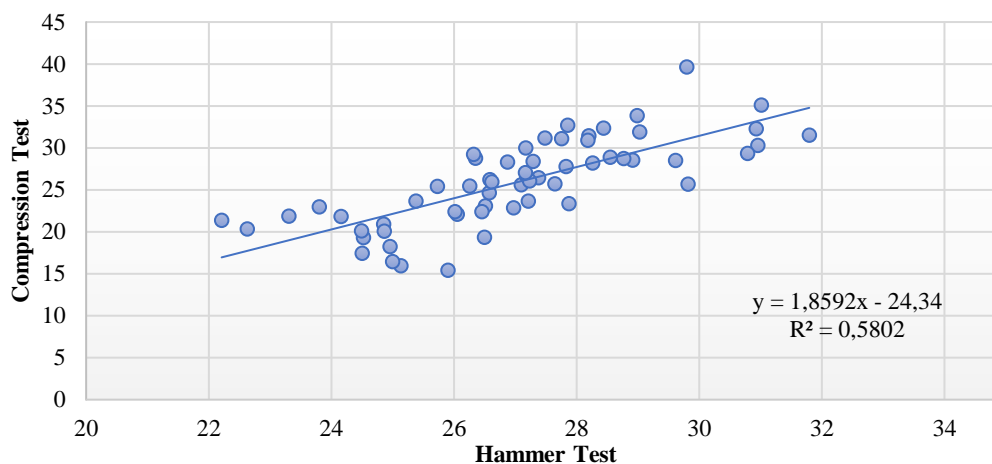
**Gambar 5.19** Grafik Regresi *Linier Sederhana* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 21 MPa*



**Gambar 5.20** Grafik Regresi *Linier Sederhana* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 25 MPa*



**Gambar 5.21** Grafik Regresi *Linier Sederhana* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 30 MPa*



**Gambar 5.22 Grafik Regresi *Linier* Sederhana Gabungan Antara *Hammer Test* dan *Compression Test***

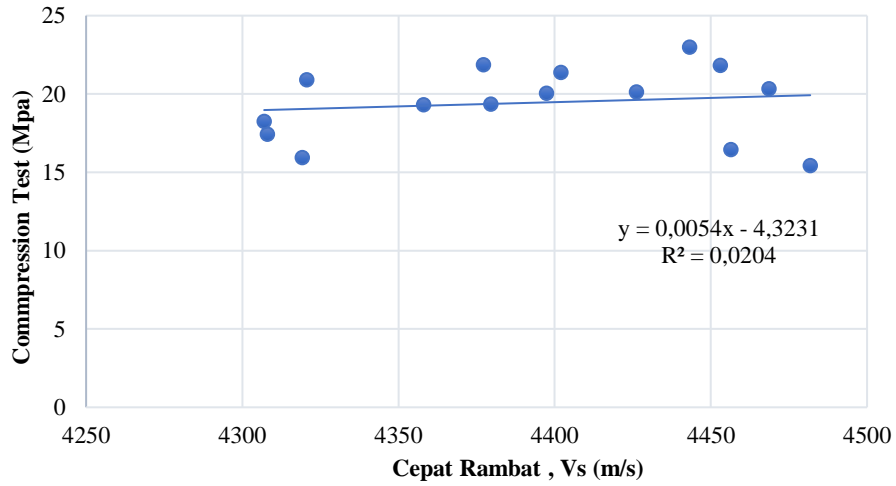
Gambar 5.18 s/d Gambar 5.22 grafik korelasi menggunakan *trendline linier* antara *hammer test* (variabel x) dan *compression test* (variabel Y) menggambarkan hubungan antara kedua variabel tersebut. Grafik tersebut menunjukkan *trendline* dengan kecenderungan positif yang kuat, hal itu menandakan bahwa semakin tinggi nilai *hammer test* (kekerasan permukaan beton), semakin tinggi juga nilai *compression test* (kuat tekan beton). Ini menunjukkan adanya korelasi positif antara kekerasan permukaan beton dengan kuat tekan beton. Dibawah ini merupakan rekap hasil korelasi dan persamaan yang diperoleh menggunakan *trendline linier*

**Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Linier* Sederhana Antara *Hammer Test* dan *Compression Test***

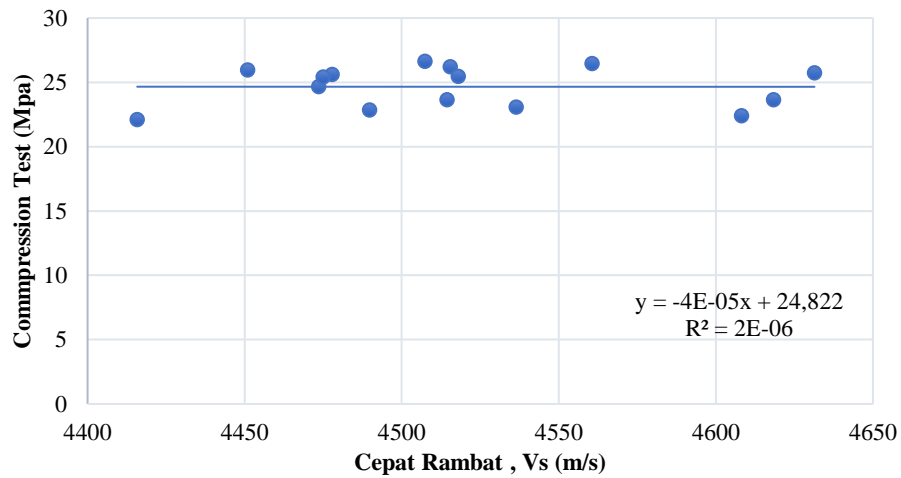
Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi ( $R^2$ )
F'c 14.5 MPa	$Y = -1,2141x + 49,133$	0,3524
F'c 21 MPa	$Y = 0,9179x + 0,02025$	0,1353
F'c 25 MPa	$Y = 0,171x + 22,675$	0,0085
F'c 30 MPa	$Y = 0,2157x + 25,824$	0,0138
Gabungan	$Y = 1,8592x - 24,34$	0,5802

Berdasarkan Tabel 5.27 didapatkan hasil nilai korelasi/hubungan yang diperoleh menggunakan *trendline linier* tertinggi ada pada seluruh data yaitu sebesar 0,5802. Sesuai dengan interval korelasi memiliki tingkat hubungan sedang.

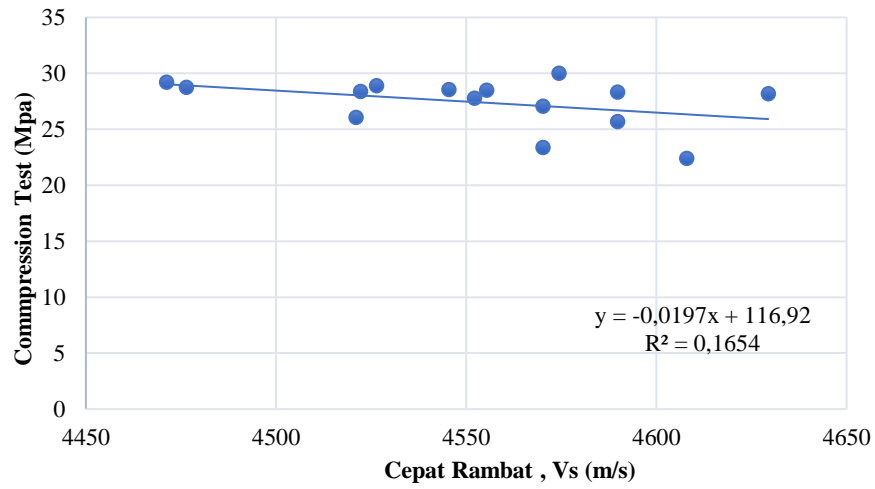
2. Analisis Regresi *Linier Sederhana* Antara *UPV Test* dan *Compression Test*



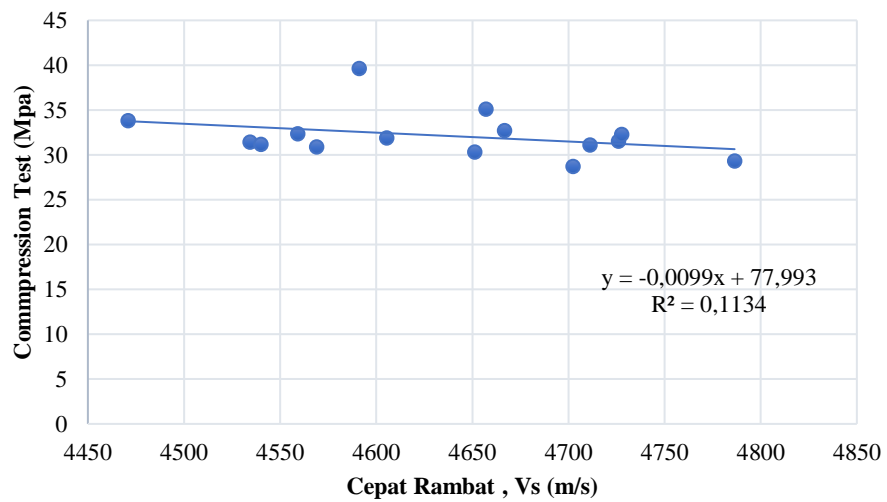
**Gambar 5.23** Grafik Regresi *Linier Sederhana* Antara *UPV Test* dan *Compression Test*  $f'c$  14,5 MPa



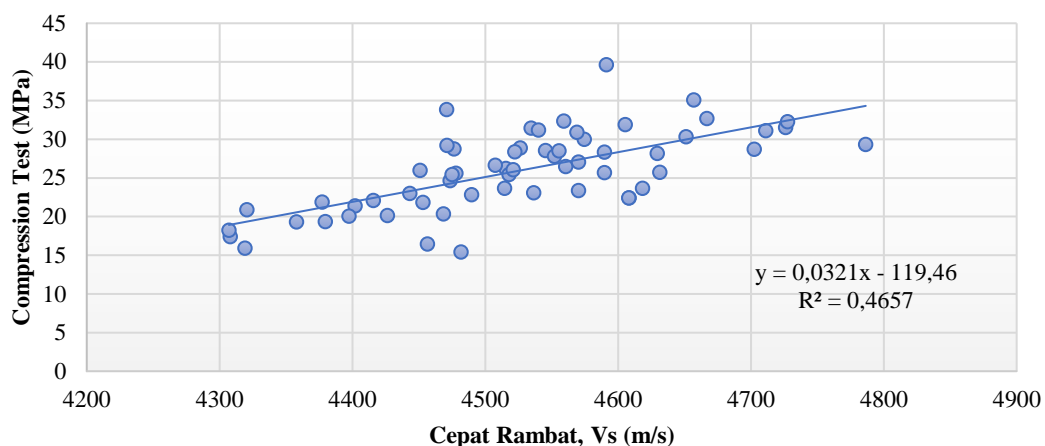
**Gambar 5.24** Grafik Regresi *Linier Sederhana* Antara *UPV Test* dan *Compression Test*  $f'c$  21 MPa



**Gambar 5.25** Grafik Regresi *Linier* Sederhana Antara UPV Test dan *Compression Test*  $f'c$  25 MPa



**Gambar 5.26** Grafik Regresi *Linier* Sederhana Antara UPV Test dan *Compression Test*  $f'c$  30 MPa



**Gambar 5.27 Grafik Regresi *Linier* Sederhana Gabungan Antara UPV Test dan *Compression Test***

Gambar 5.23 s/d 5.27 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline linier* dengan UPV test (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian sebesar 0,4567, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.28 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline linier*.

**Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Linier* Sederhana Antara UPV Test dan *Compression Test***

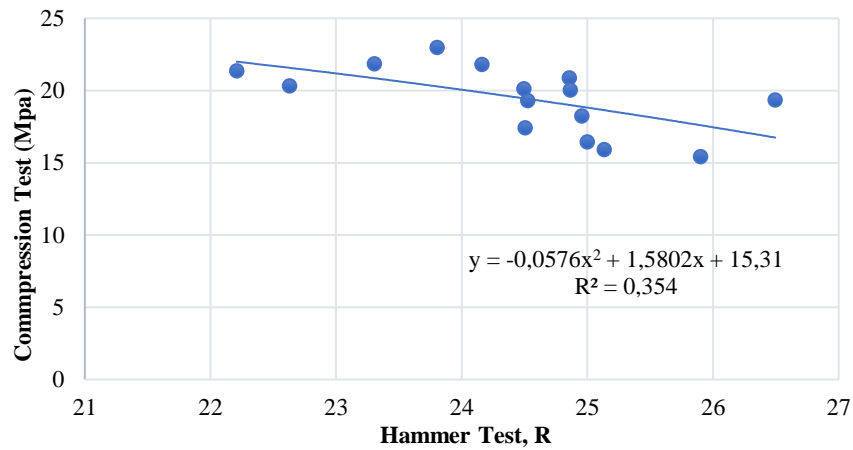
Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi ( $R^2$ )
F'c 14.5 MPa	$Y = 0,0054x - 4,3231$	0,0204
F'c 21 MPa	$Y = -0,00004x + 24,822$	0,000002
F'c 25 MPa	$Y = -0,0197x + 116,92$	0,1654
F'c 30 MPa	$Y = -0,0099x + 77,993$	0,1134
Gabungan	$Y = 0,321x - 119,46$	0,4657

### 5.5.2 Hasil Analisis Regresi Menggunakan *Trendline Polynomial*

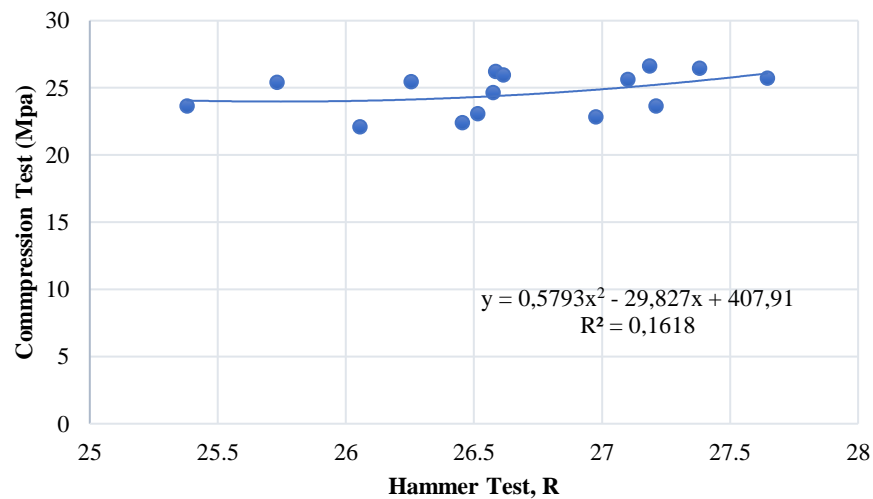
Analisis regresi menggunakan *trendline polynomial* adalah salah satu jenis analisis regresi yang digunakan ketika data fluktuasi. Regresi *polynomial* digunakan ketika hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat tidak linier, regresi *polynomial* dapat digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua

variabel dengan persamaan *polynomial*. Berikut hasil regresi menggunakan *trendline* regresi *polynomial*.

1. Analisa Regresi *Polynomial* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*

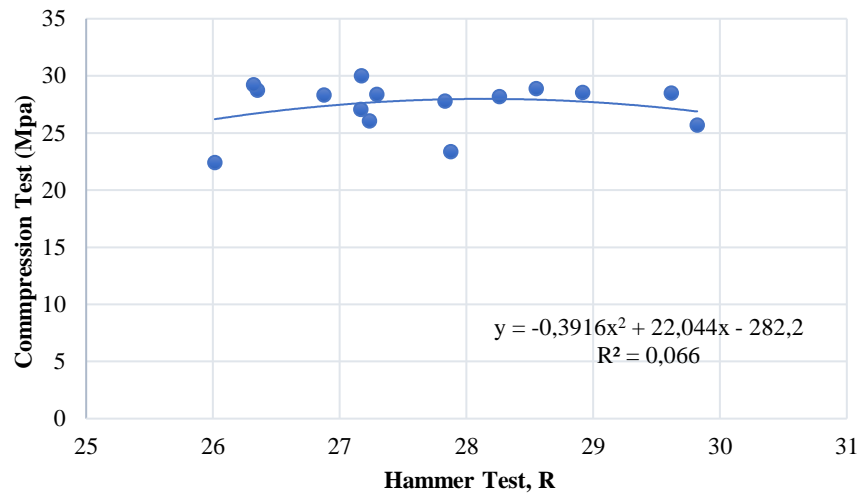


**Gambar 5.28** Grafik Regresi *Polynomial* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test* f'c 14,5 MPa

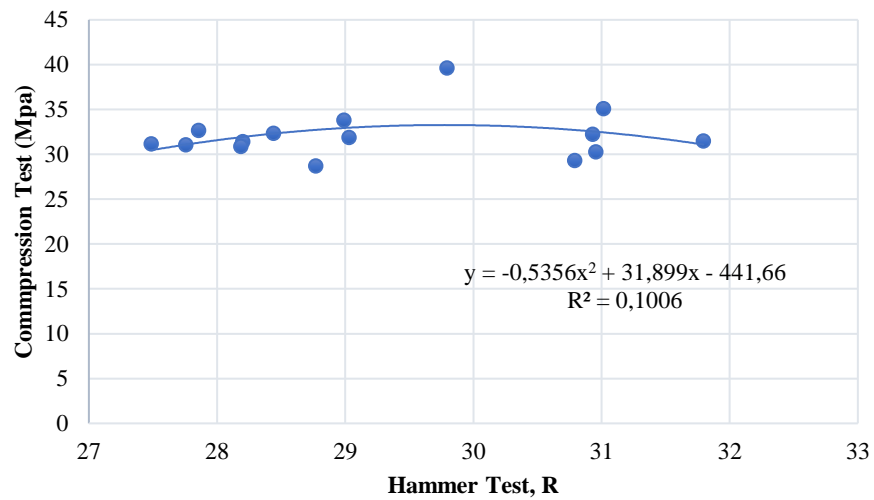


**Gambar 5.29** Grafik Regresi *Polynomial* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test* f'c 21 MPa

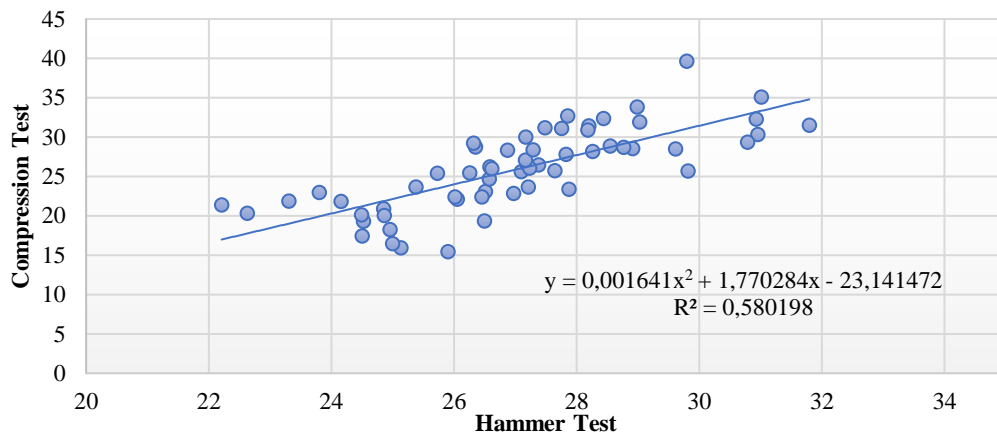




**Gambar 5.30 Grafik Regresi *Polynomial* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 25 MPa***



**Gambar 5.31 Grafik Regresi *Polynomial* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 30 MPa***



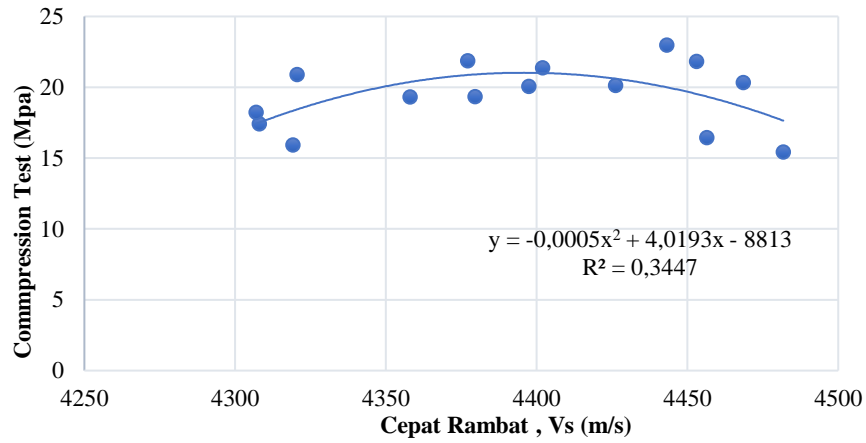
**Gambar 5.32** Grafik Regresi *Polynomial* Gabungan Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*

Gambar 5.28 s/d 5.43 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline polynomial* dengan *hammer test* (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian dengan nilai tertinggi sebesar 0,5802, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.29 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline polynomial*.

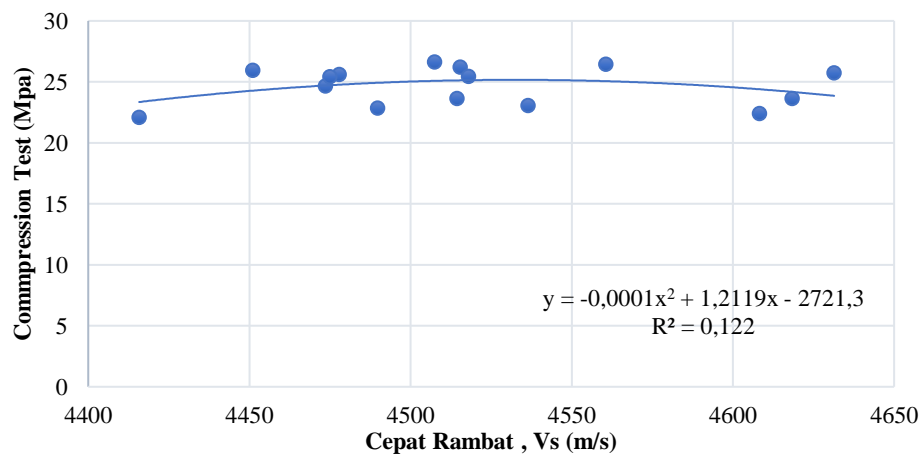
**Tabel 5.29** Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Polynomial* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*

Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi ( $R^2$ )
F'c 14.5 MPa	$Y = -0,0576x^2 + 1,5802x + 15,31$	0,354
F'c 21 MPa	$Y = 0,5793x^2 - 29,827x + 407,91$	0,1618
F'c 25 MPa	$Y = -0,3916x^2 + 22,044x - 282,2$	0,066
F'c 30 MPa	$Y = -0,5356x^2 + 31,899x - 441,66$	0,1006
Gabungan	$Y = 0,0016x^2 + 1,7703x - 23,141$	0,5802

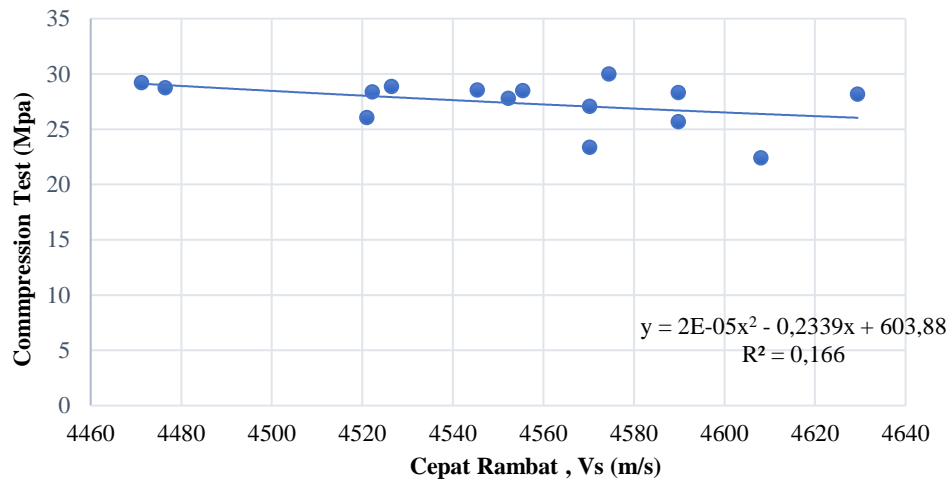
2. Analisis Regresi *Polynomial* Antara UPV Test dan *Compression Test*



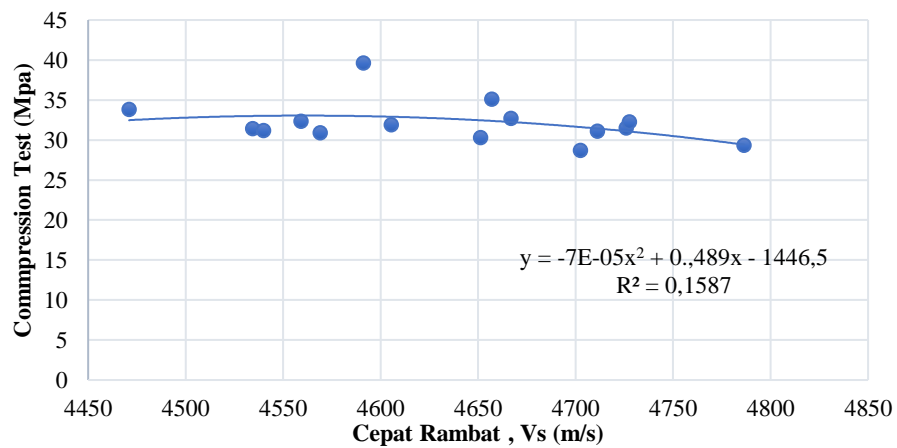
**Gambar 5.33 Grafik Regresi *Polynomial* Antara UPV Test dan *Compression Test***  
**Test f'c 14,5 MPa**



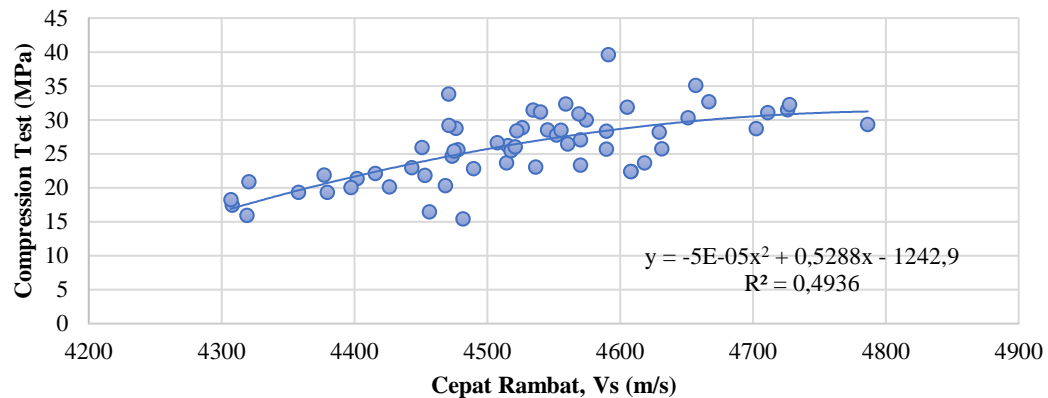
**Gambar 5.34 Grafik Regresi *Polynomial* Antara UPV Test dan *Compression Test***  
**Test F'c 21 MPa**



**Gambar 5.35 Grafik Regresi *Polynomial* Antara UPV Test dan Compression**  
**Test f'c 25 MPa**



**Gambar 5.36 Grafik Regresi *Polynomial* Antara UPV Test dan Compression**  
**Test f'c 30 MPa**



**Gambar 5.37 Grafik Regresi *Polynomial* Gabungan Antara *UPV Test* dan *Compression Test***

Gambar 5.33 s/d 5.37 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline polynomial* dengan *UPV test* (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian dengan nilai tertinggi sebesar 0,4936, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.30 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline polynomial*.

**Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Polynomial* Antara *UPV Test* dan *Compression Test***

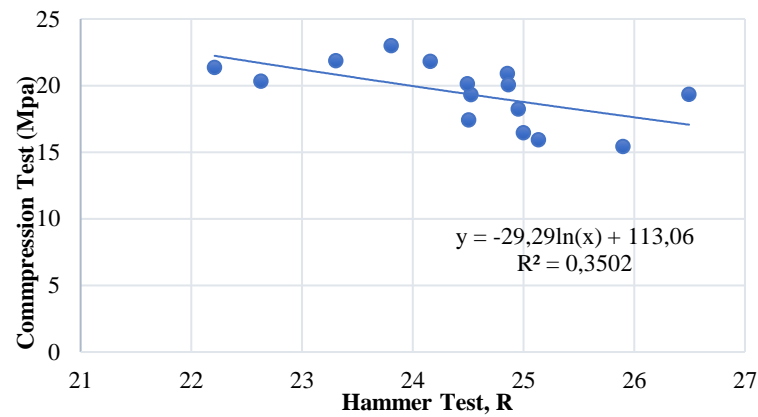
Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi ( $R^2$ )
F'c 14.5 MPa	$Y = -0,0005x^2 + 4,0193x - 8813$	0,3447
F'c 21 MPa	$Y = -0,00001x^2 + 1,2119x - 2721,3$	0,122
F'c 25 MPa	$Y = 2E-05x^2 - 0,2339x + 603,88$	0,166
F'c 30 MPa	$Y = -7E-05x^2 + 0,6489x - 1446,5$	0,1587
Gabungan	$Y = -5E-05x^2 + 0,5288x - 1242,9$	0,4936

### 5.5.3 Hasil Analisis Regresi Menggunakan *Trendline Logarithmic*

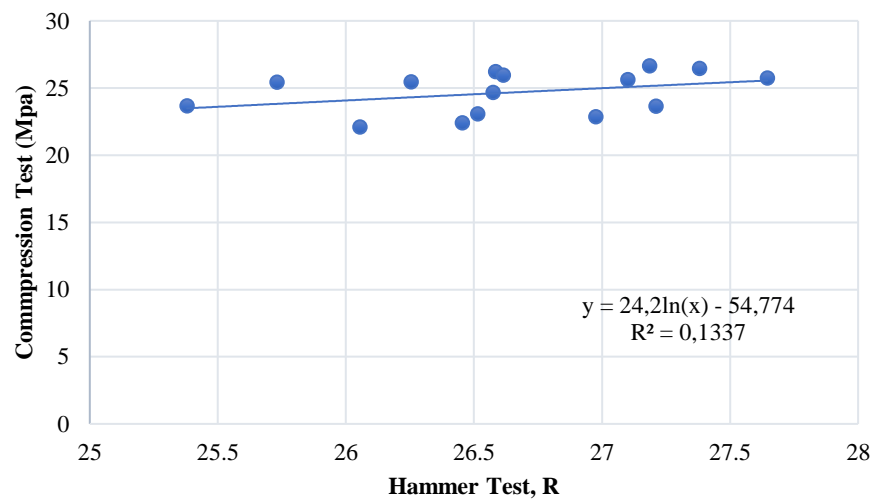
Garis *trendline* logaritmik (*logarithmic trendline*) dalam *Microsoft Excel* digunakan untuk menunjukkan hubungan logaritmik antara dua set data. *Trendline* ini adalah alat yang berguna ketika data tumbuh atau menurun dengan laju yang

tidak konstan. Garis *trendline* logaritmik dalam *excel* adalah bentuk persamaan matematika yang digunakan untuk memodelkan tren *logarithmic*.

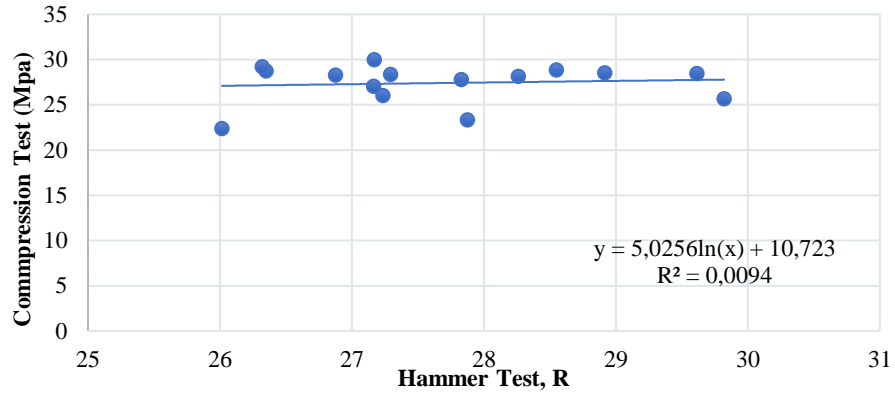
1. Analisa Regresi *Logarithmic* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*



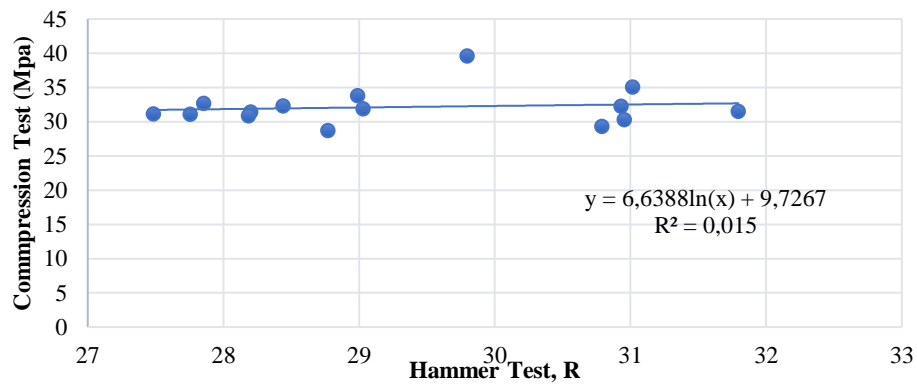
**Gambar 5.38** Grafik Regresi *Logarithmic* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test* f'c 14,5 MPa



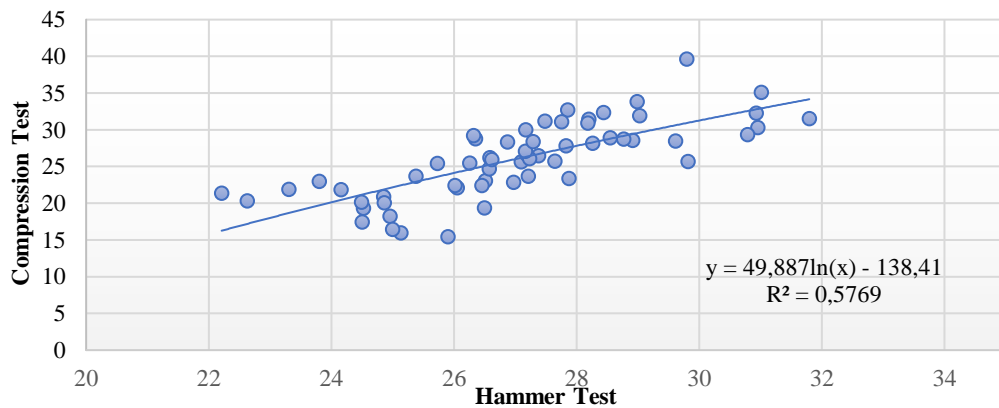
**Gambar 5.39** Grafik Regresi *Logarithmic* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test* f'c 21 MPa



**Gambar 5.40** Grafik Regresi *Logarithmic* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 25 MPa*



**Gambar 5.41** Grafik Regresi *Logarithmic* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 30 MPa*



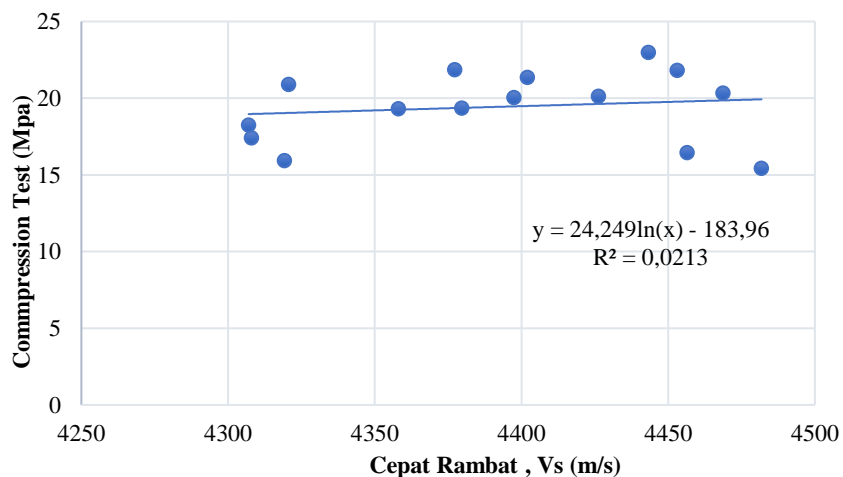
**Gambar 5.42** Grafik Regresi *Logarithmic* Gabungan Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*

Gambar 5.38 s/d 5.42 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline logarithmic* dengan *hammer test* (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian dengan nilai tertinggi sebesar 0,5769, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.31 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline logarithmic*.

**Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Analisa Regresi *Logarithmic* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test***

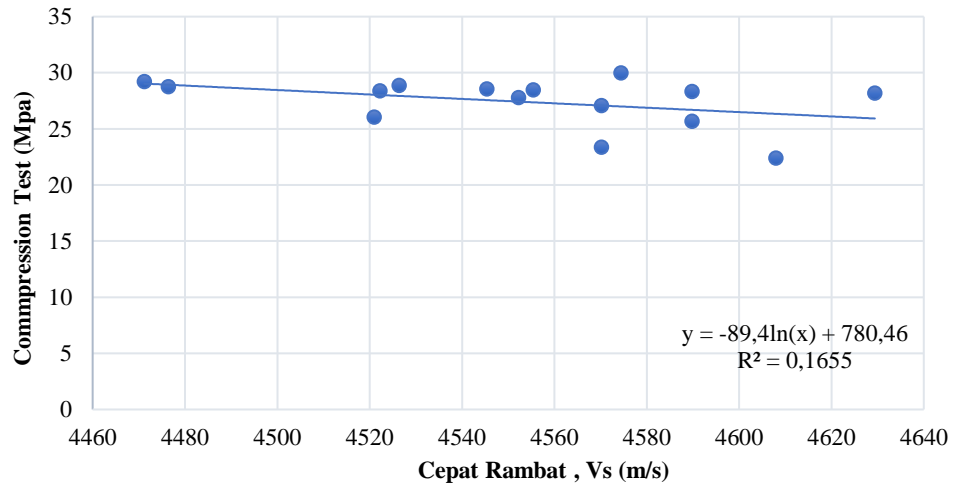
Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )
F'c 14.5 MPa	$Y = -29,29\ln(x) + 113,06$	0,3502
F'c 21 MPa	$Y = 24,2\ln(x) - 54,774$	0,1337
F'c 25 MPa	$Y = 5,0256\ln(x) + 10,723$	0,0094
F'c 30 MPa	$Y = 6,6388\ln(x) + 9,7267$	0,015
Gabungan	$Y = 49,887\ln(x) - 138,41$	0,5769

2. Analisis Regresi *Polynomial* Antara *UPV Test* dan *Compression Test*

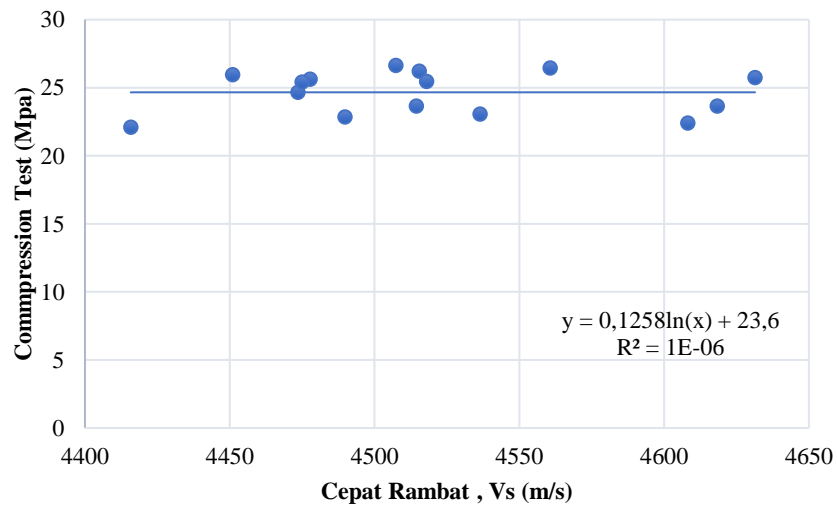


**Gambar 5.43 Grafik Regresi *Logarithmic* Antara *UPV Test* dan *Compression Test* f'c 14,5 MPa**

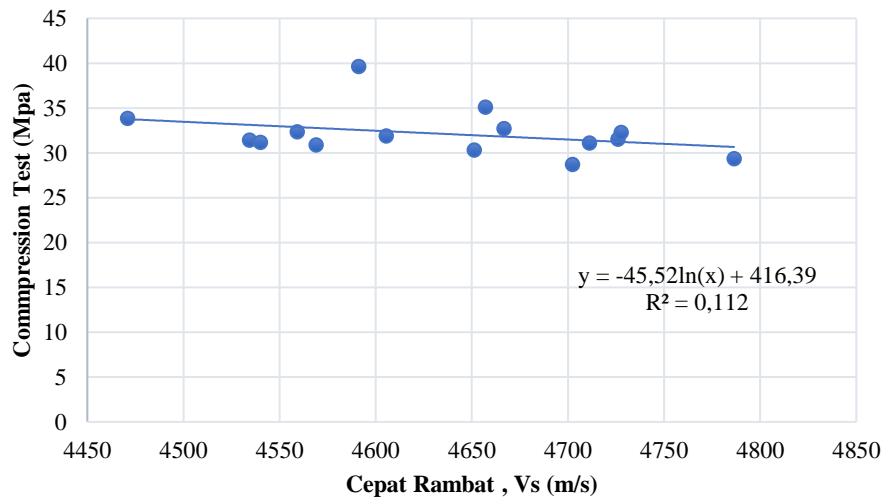




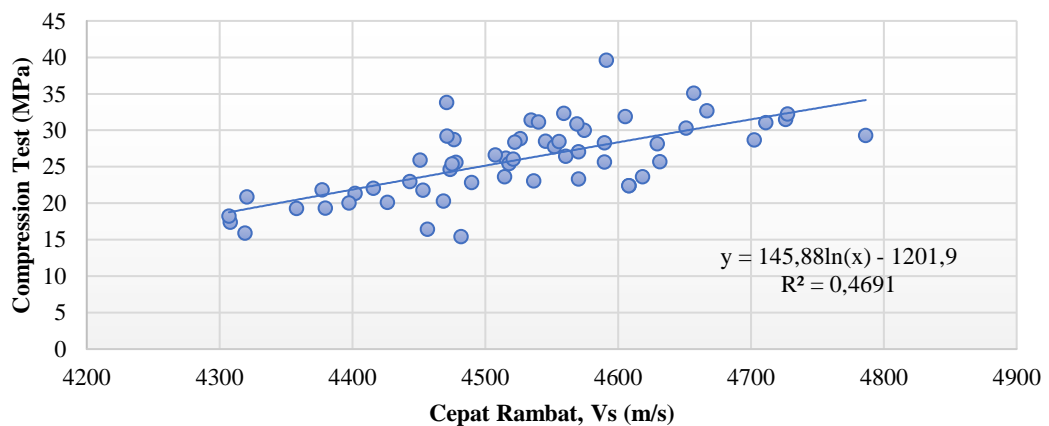
**Gambar 5.44 Grafik Regresi *Logarithmic* Antara UPV Test dan Compression Test  $f'c$  21 MPa**



**Gambar 5.45 Grafik Regresi *Logarithmic* Antara UPV Test dan Compression Test  $f'c$  25**



**Gambar 5.46 Grafik Regresi *Logarithmic* Antara UPV Test dan Compression Test  $f'c$  30 MPa**



**Gambar 5.47 Grafik Regresi *Logarithmic* Gabungan Antara UPV Test dan Compression Test**

Gambar 5.43 s/d 5.47 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline logarithmic* dengan UPV test (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian dengan nilai tertinggi sebesar 0,4691, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.32 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline logarithmic*.

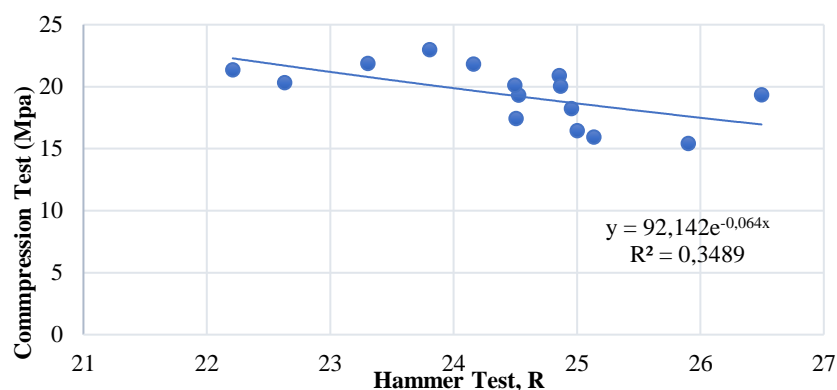
**Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Logarithmic* Antara UPV  
*Test* dan *Compression Test***

Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )
F'c 14.5 MPa	$Y = 24,249\ln(x) - 183,96$	0,0213
F'c 21 MPa	$Y = 0,1258\ln(x) + 23,6$	$1 \times 10^{(-0,6)}$
F'c 25 MPa	$Y = -89,4\ln(x) + 780,46$	0,1655
F'c 30 MPa	$Y = -45,52\ln(x) + 416,39$	0,112
Gabungan	$Y = 145,88\ln(x) - 1201,9$	0,4691

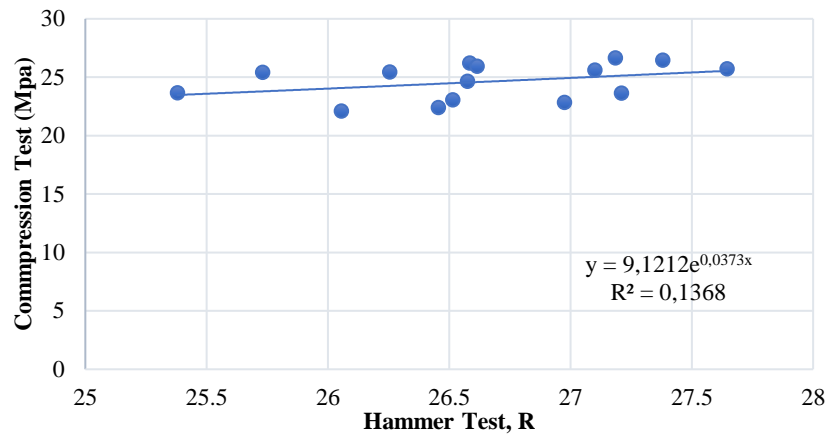
#### 5.5.4 Hasil Analisis Regresi Menggunakan *Trendline Exponential*

Garis *trendline* eksponensial (*exponential trendline*) dalam *Microsoft Excel* digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua set data yang tumbuh atau menurun dengan laju eksponensial. Dalam konteks ini, "eksponensial" merujuk pada pertumbuhan atau penurunan yang sangat cepat atau lambat seiring berjalannya waktu. Garis *trendline exponential* digunakan untuk memvisualisasikan tren eksponensial ini dalam data.

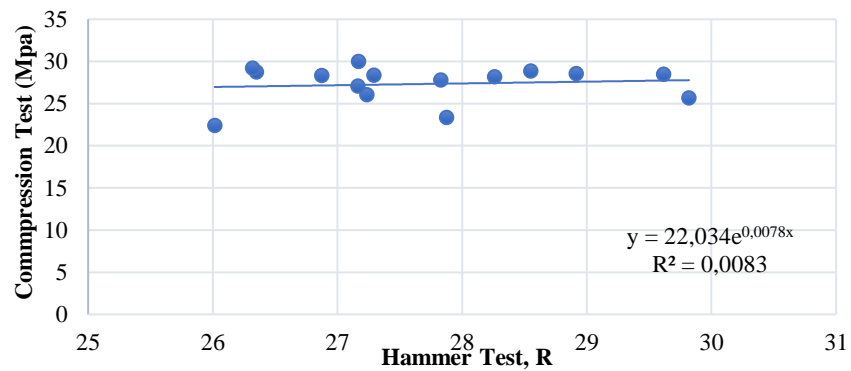
##### 1. Analisis Regresi *Exponential* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*



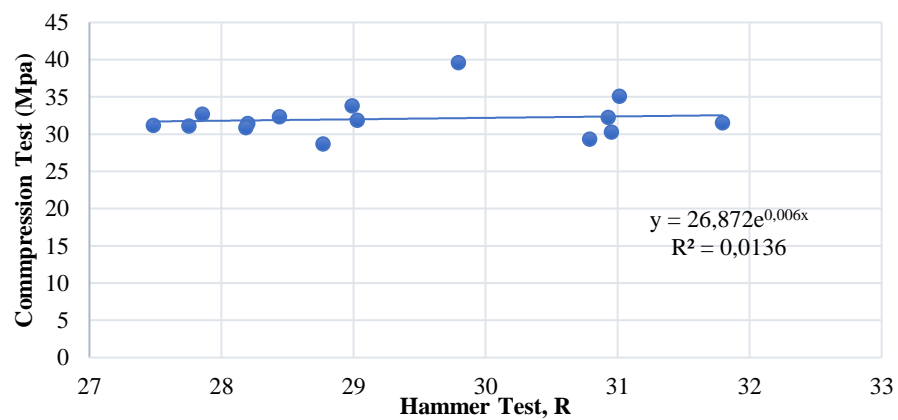
**Gambar 5.48 Grafik Regresi *Exponential* Antara *Hammer Test* dan  
*Compression Test* f'c 14,5 MPa**



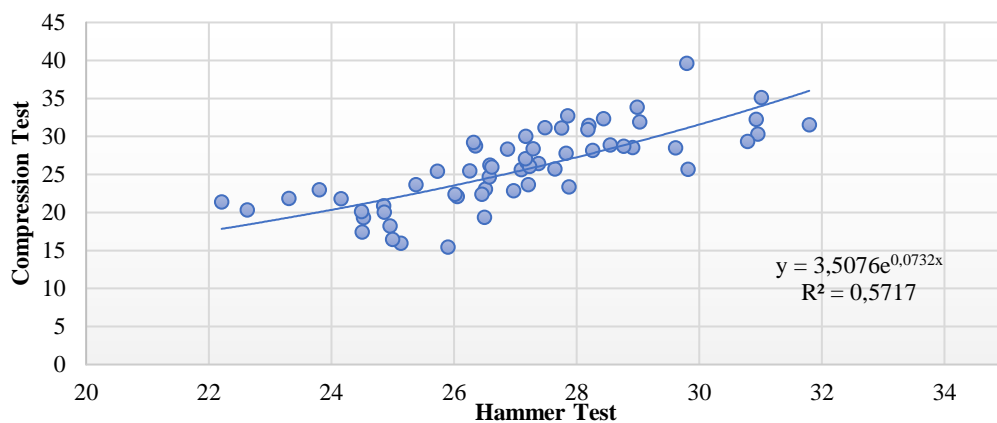
**Gambar 5.49** Grafik Regresi *Exponential* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*  $f'c$  21 MPa



**Gambar 5.50** Grafik Regresi *Exponential* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*  $f'c$  25 MPa



**Gambar 5.51** Grafik Regresi *Exponential* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*  $f'c$  30 MPa



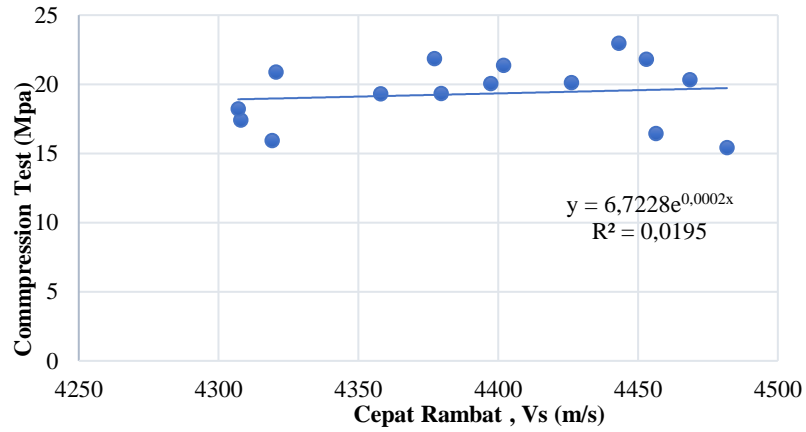
**Gambar 5.52 Grafik Regresi *Exponential* Gabungan Antara *Hammer Test* dan *Compression Test***

Gambar 5.48 s/d 5.52 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline exponential* dengan *hammer test* (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian dengan nilai tertinggi sebesar 0,5717, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.33 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline exponential*.

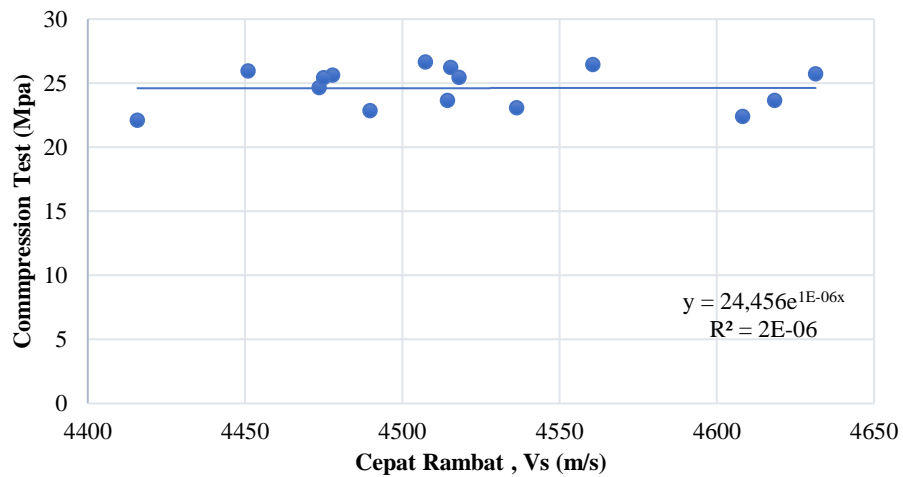
**Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Exponential* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test***

Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )
F'c 14.5 MPa	$Y=92,142e^{0,064X}$	0,3489
F'c 21 MPa	$Y=9,1212e^{0,0373X}$	0,1368
F'c 25 MPa	$Y=22,034e^{0,0,078X}$	0,0083
F'c 30 MPa	$Y=26,872e^{0,006X}$	0,0136
Gabungan	$Y=3,5076e^{0,00732X}$	0,5717

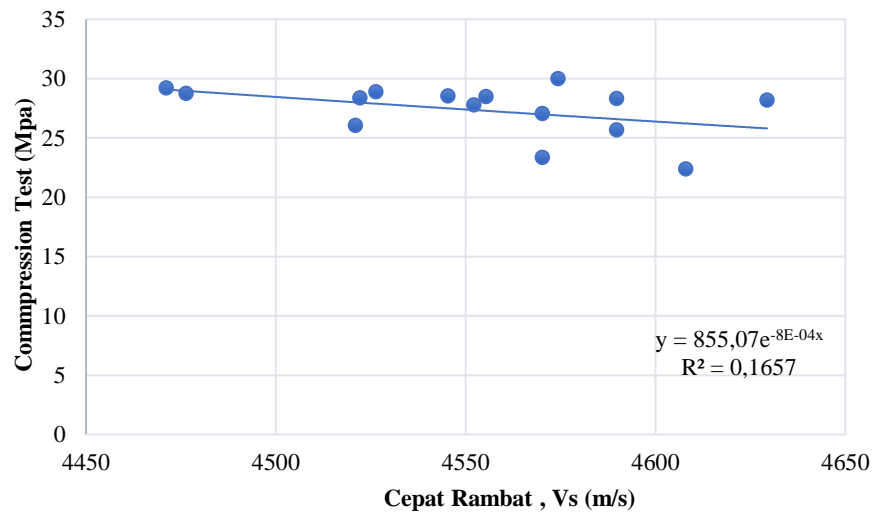
2. Analisis Regresi *Exponential* Antara UPV Test dan *Compression Test*



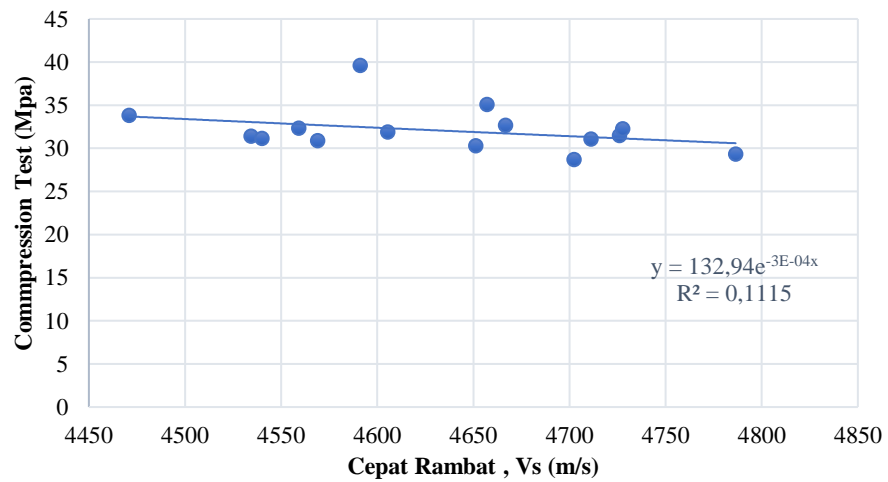
**Gambar 5.53** Grafik Regresi *Exponential* Antara UPV Test dan *Compression*  
*Test f'c 14,5 MPa*



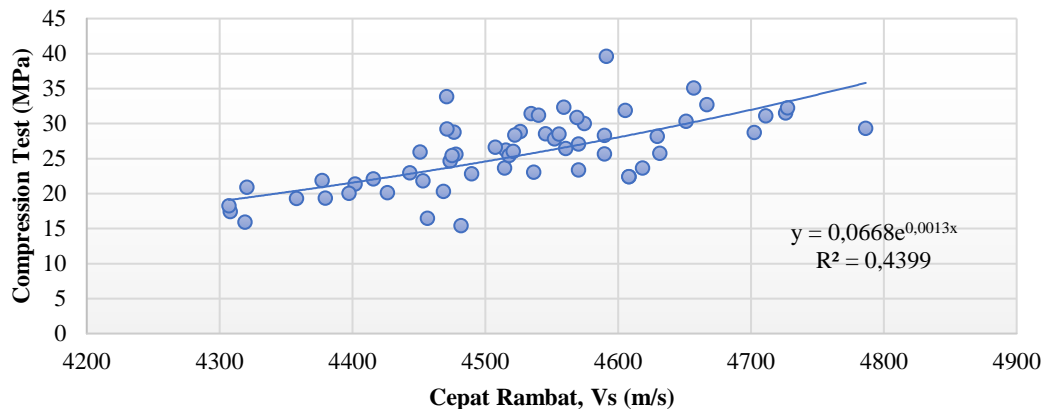
**Gambar 5.54** Grafik Regresi *Exponential* Antara UPV Test dan *Compression*  
*Test f'c 21 MPa*



**Gambar 5.55 Grafik Regresi *Exponential* Antara UPV Test dan Compression Test  $f'_c$  25 MPa**



**Gambar 5.56 Grafik Regresi *Exponential* Antara UPV Test dan Compression Test  $f'_c$  30 MPa**



**Gambar 5.57 Grafik Regresi *Exponential* Gabungan Antara UPV Test dan Compression Test**

Gambar 5.53 s/d 5.57 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline exponential* dengan UPV test (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian dengan nilai tertinggi sebesar 0,4399, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.34 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline exponential*.

**Tabel 5.34 Rekapitulasi Hasil Analisa Regresi *Exponential* Antara UPV Test dan Compression Test**

Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )
F'c 14.5 MPa	$Y = 6,7228e^{0,0002x}$	0,0195
F'c 21 MPa	$Y = 24,456e^{1E-06x}$	2E-06
F'c 25 MPa	$Y = 855,07e^{-8E-04x}$	0,1657
F'c 30 MPa	$Y = 132,94e^{-3E-04x}$	0,1134
Gabungan	$Y = 0,0668e^{0,0013x}$	0,4399

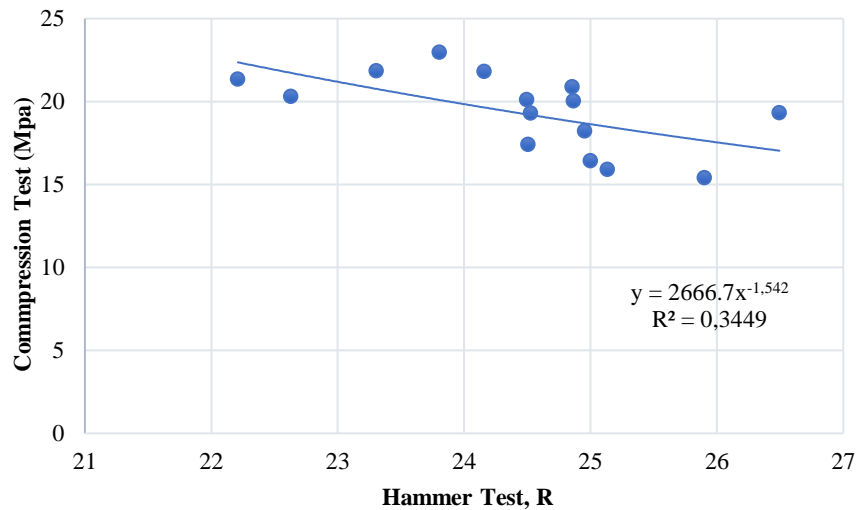
#### 5.5.5 Hasil Analisis Regresi Menggunakan *Trendline Power*

Garis *trendline power* dalam *Microsoft Excel* digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua set data yang memiliki pola pertumbuhan atau penurunan yang mirip dengan fungsi daya (*power function*). Fungsi daya adalah fungsi matematika

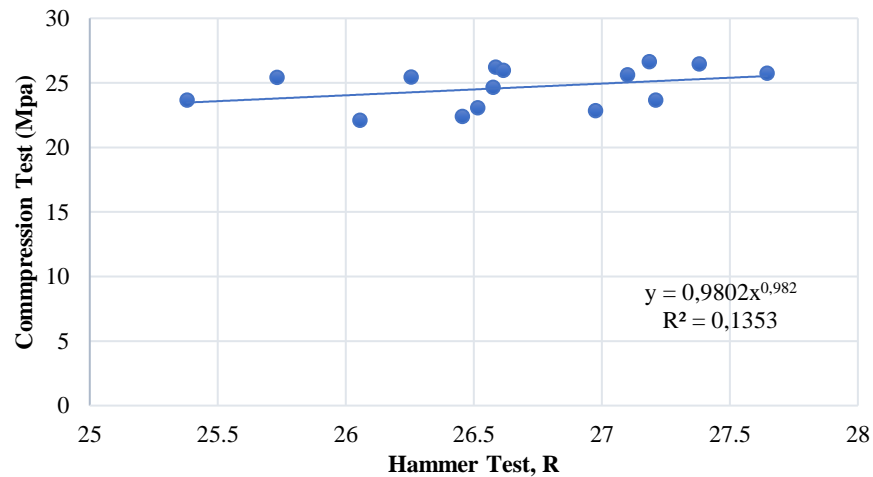


yang ditentukan oleh persamaan  $Y = a * X^b$ , di mana "a" dan "b" adalah konstanta yang disesuaikan dan "X" adalah variabel independen.

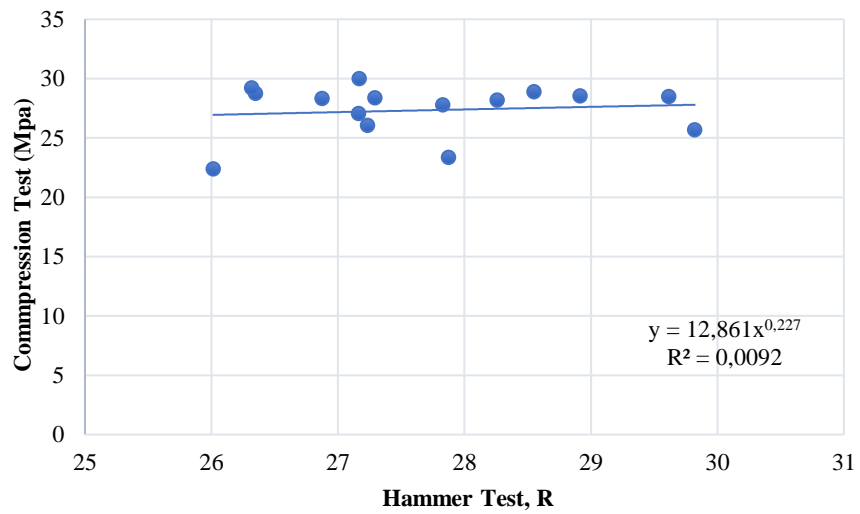
1. Analisa Regresi *Power* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*



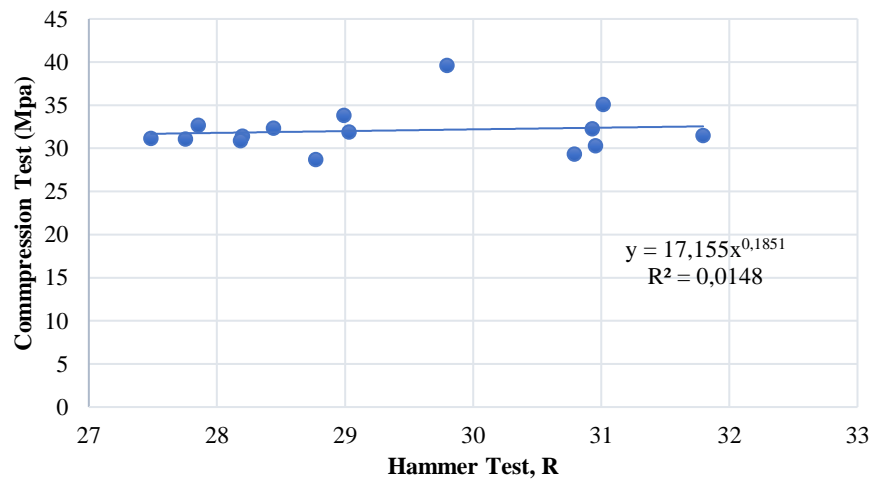
**Gambar 5.58 Grafik Regresi *Power* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*  $f'c$  14,5 MPa**



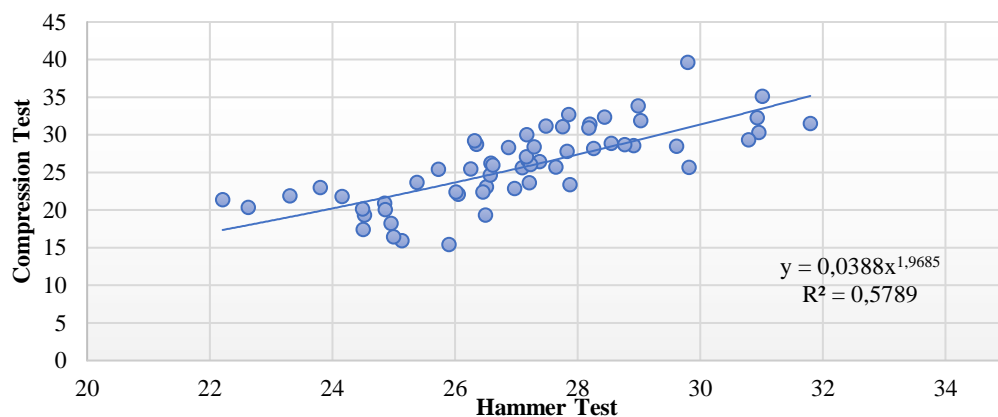
**Gambar 5.59 Grafik Regresi *Power* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test*  $f'c$  21 MPa**



**Gambar 5.60 Grafik Regresi *Power* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test f'c 25 MPa***



**Gambar 5.61 Grafik Regresi *Power* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test F'c 30 MPa***



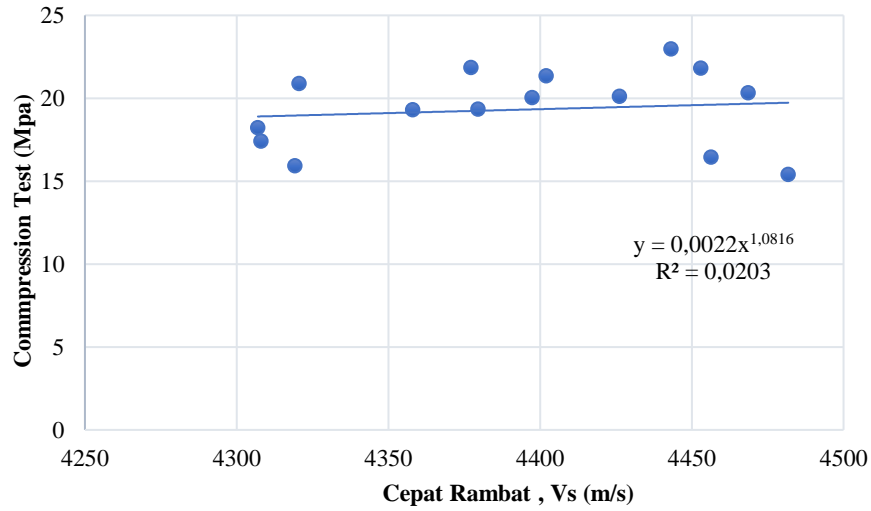
**Gambar 5.62 Grafik Regresi *Power* Gabungan Antara *Hammer Test* dan *Compression Test***

Gambar 5.58 s/d 5.62 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline power* dengan *hammer test* (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian dengan nilai tertinggi sebesar 0,5789, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.35 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline exponential*.

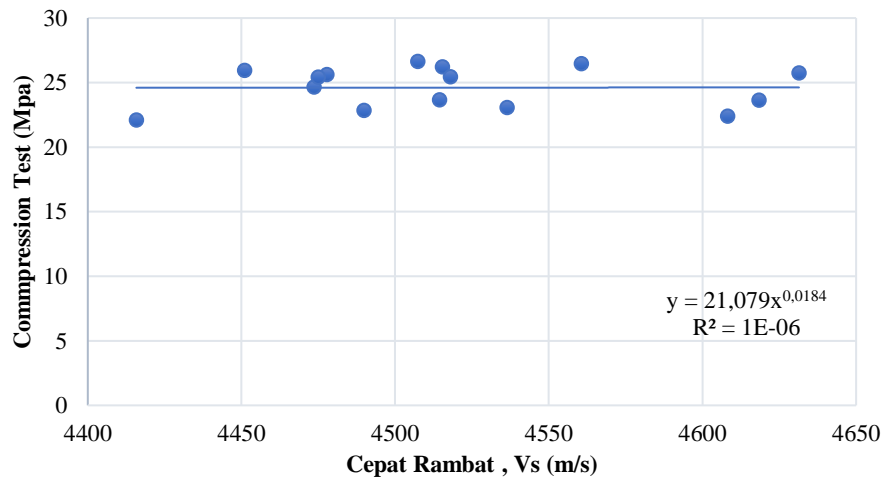
**Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Power* Antara *Hammer Test* dan *Compression Test***

Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi ( $R^2$ )
F'c 14.5 MPa	$Y = 2666,7x^{-1.542}$	0,3449
F'c 21 MPa	$Y = 0,9802x^{0.982}$	0,1353
F'c 25 MPa	$Y = 12,861x^{0.227}$	0,0092
F'c 30 MPa	$Y = 17,155x^{0.1851}$	0,0148
Gabungan	$Y = 0,0388x^{1.9685}$	0,5796

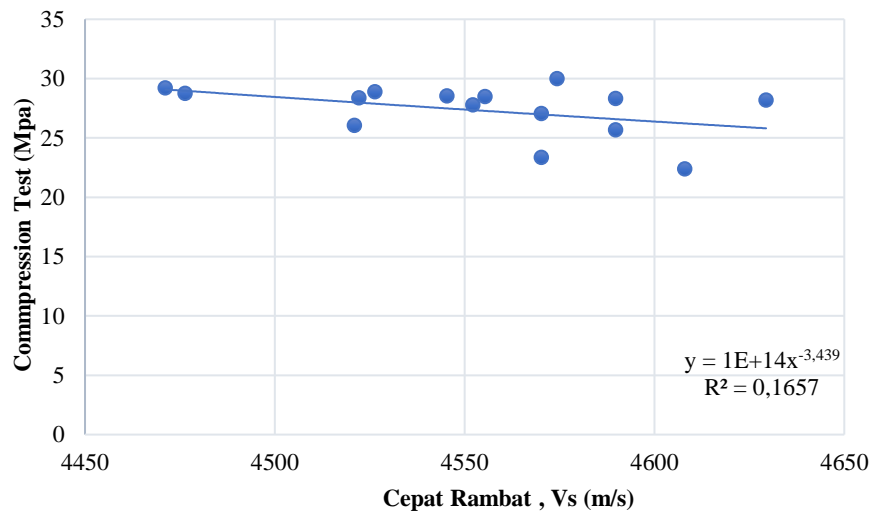
2. Analisa Regresi *Power* Antara *UPV Test* dan *Compression Test*



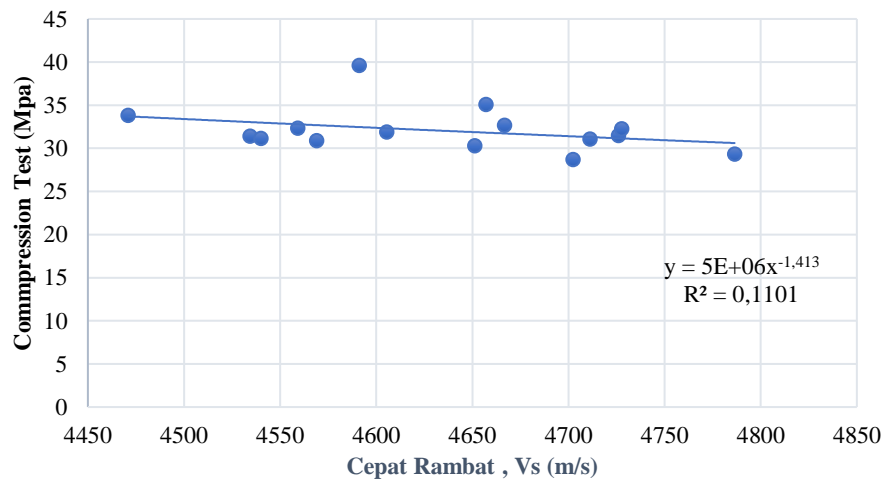
**Gambar 5.63 Grafik Regresi *Power* Antara *UPV Test* dan *Compression Test*  
f'c 14,5 MPa**



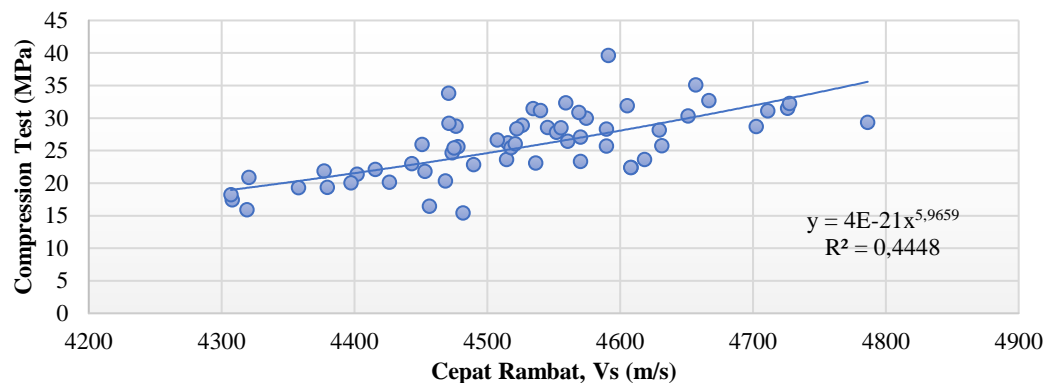
**Gambar 5.64 Grafik Regresi *Power* Antara *UPV Test* dan *Compression Test*  
f'c 21 MPa**



**Gambar 5.65 Grafik Regresi Power Antara UPV Test dan Compression Test  
 $f'c$  25 MPa**



**Gambar 5.66 Grafik Regresi Power Antara UPV Test dan Compression Test  
 $f'c$  30 MPa**



**Gambar 5.67 Grafik Regresi *Power* Gabungan Antara *UPV Test* dan *Compression Test***

Gambar 5.63 s/d 5.67 merupakan hasil analisis menggunakan *trendline power* dengan *UPV test* (variabel x) dan *compression test* (variabel y). Dari gambar diatas didapatkan nilai persamaan dan nilai korelasi hubungan antar kedua pengujian dengan nilai tertinggi sebesar 0,4448, dimana nilai ini termasuk dalam kategori sedang. Tabel 5.34 merupakan hasil rekap analisis regresi menggunakan *trendline power*.

**Tabel 5.36 Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi *Power* Antara *UPV Test* dan *Compression Test***

Kode Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi ( $R^2$ )
F'c 14.5 MPa	$Y = 0,0022x^{1,0816}$	0,0203
F'c 21 MPa	$Y = 21,079x^{0,0184}$	1E-06
F'c 25 MPa	$Y = 1E+14x^{-3,439}$	0,1657
F'c 30 MPa	$Y = 5E+06x^{-1,413}$	0,1101
Gabungan	$Y = 4E-21x^{5,9659}$	0,4448

#### 5.5.6 Hasil Pembahasan Analisis Regresi Sederhana

Berdasarkan hasil analisis regresi sederhana menggunakan 5 jenis *trendline* yang berbeda pada *Microsoft Excel*, diperoleh hasil persamaan regresi dan koefisien determinasi ( $R^2$ ). Menurut Ghazali (2016) koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah kemampuan mengukur model dalam menjelaskan pengaruh variabel *independent* secara bersama-sama mempengaruhi variabel dependen yang dinyatakan dalam

bentuk *R-Squared*. Berikut hasil rekapitulasi hasil analisis regresi dari ke-5 *trendline*.

**Tabel 5.37 Rekapitulasi Hasil *Trendline* Regresi antara *Hammer Test* dan *Compression Test* Menggunakan Microsoft Excel**

<b><i>Tredline</i> Regresi</b>	<b>Persamaan Regresi (Gabungan F'c 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa)</b>	<b>Koefisien Determinasi (R<sup>2</sup>)</b>
<i>Linier</i>	$Y = 1,8592x - 24,34$	0,5802
<i>Polynomial</i>	$Y = 0,0016x^2 + 1,7703x - 23,141$	0,5802
<i>Logarithmic</i>	$Y = 49,887\ln(x) - 138,41$	0,5769
<i>Exponential</i>	$Y = 3,5076e^{0,00732X}$	0,5717
<i>Power</i>	$Y = 0,0388x^{1,9685}$	0,5796

Berdasarkan Tabel 5.38 diperoleh hasil korelasi antara *hammer test* dan *compression test* dengan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) tertinggi yaitu pada regresi *polynomial* sebesar 0,5802, sesuai dengan klasifikasi nilai koefisien korelasi pada Tabel 5.26 menunjukkan hubungan yang sedang. Nilai (R<sup>2</sup>) sebesar 0,5802 dapat disimpulkan bahwa model regresi *polynomial* ini dapat menjelaskan sekitar 58,02% dari variasi hasil *compression test* (Y) dijelaskan dalam variasi *hammer test* (X), ini berarti sebagian besar variasi dalam hasil *compression test* masih ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi hasil *compression test* yang tidak dimasukkan ke dalam analisis ini. Sesuai dengan grafik hubungan regresi antara *hammer test* dengan *compression test* memiliki hubungan yang berbanding lurus (gradien X bernilai positif). Artinya, semakin tinggi nilai *rebound hammer* yang didapatkan dari pengujian *hammer*, maka semakin tinggi juga nilai kuat tekan aktual yang didapatkan dari pengujian *compression test*

$$Y = 0,0016x^2 + 1,7703x - 23,141 \quad (5.1)$$

Keterangan :

X = Nilai *rebound hammer*

Y = Nilai kuat tekan beton

**Tabel 5.38 Rekapitulasi Hasil *Trendline* Regresi antara UPV *Test* dan *Compression Test* Menggunakan Microsoft Excel**

<i>Tredline</i> Regresi	Persamaan Regresi (Gabungan F'c 14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa)	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )
<i>Linier</i>	$Y = 0,321x - 119,46$	0,4657
<i>Polynomial</i>	$Y = -5E-05x^2 + 0,5288x - 1242,9$	0,4936
<i>Logarithmic</i>	$Y = 145,88\ln(x) - 1201,9$	0,4691
<i>Exponential</i>	$Y = 0,0668e^{0,0013x}$	0,4399
<i>Power</i>	$Y = 4E-21x^{5,9659}$	0,4448

Berdasarkan Tabel 5.39 diperoleh hasil korelasi antara UPV *test* dan *compression test* dengan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) tertinggi yaitu pada regresi *polynomial* yaitu sebesar 0,4936 sesuai dengan klasifikasi nilai koefisien korelasi pada Tabel 5.26 menunjukkan hubungan yang sedang. Nilai (R<sup>2</sup>) sebesar 0,4936 dapat disimpulkan bahwa model regresi *polynomial* ini dapat menjelaskan sekitar 49,36% dari variasi hasil *compression test* (Y) dapat dijelaskan oleh variasi UPV *test* (X), hasil tersebut menunjukkan sebagian besar variasi dalam hasil *compression test* masih ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi hasil *compression test* yang tidak dimasukkan ke dalam analisis ini. Sesuai dengan grafik hubungan regresi antara UPV *test* dengan *compression test* dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai cepat rambat, maka semakin tinggi juga nilai kuat tekan aktual yang didapatkan. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Rizkiasari (2020), mengindikasikan bahwa terdapat korelasi positif antara nilai cepat rambat dan tingkat kekuatan beton yang semakin tinggi seiring dengan peningkatan nilai cepat rambat.

$$Y = -5E-05x^2 + 0,5288x - 1242,9 \quad (5.2)$$

Keterangan :

X = Nilai cepat rambat (m/s)

Y = Nilai kuat tekan beton



## 5.6 Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Berganda

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

Dalam penelitian ini, digunakan dua jenis *software*, yaitu IBM SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*) dan MATLAB (*Matrix Laboratory*). IBM SPSS digunakan untuk melakukan analisis regresi dengan tujuan untuk menemukan hubungan antara *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Sementara itu, MATLAB adalah *software* yang digunakan untuk menganalisis dan mengolah data numerik. Dengan memasukkan data hasil pengujian ke dalam MATLAB, dapat menghasilkan grafik yang memvisualisasikan korelasi antara ketiga metode pengujian yang disebutkan di atas.

### 5.6.1 Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Menggunakan *Software* IBM SPSS

Analisis data menggunakan *Software* IBM SPSS dibagi menjadi lima kelompok, yaitu: 14,5 MPa, 21 Mpa, 25 Mpa 30 MPa, dan gabungan variasi mutu beton. Asumsi dalam analisis ini adalah bahwa pengukuran pada *compression test* dianggap sebagai variabel terikat (*dependent variable*), sementara pengukuran dari *hammer test* dan *UPV test* dianggap sebagai variabel bebas (*independent variable*).

1. Hasil Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Menggunakan *Software* IBM SPSS F'c 14,5 MPa

**Tabel 5.39 Model Summary Pada Benda Uji F'c 14,5 MPa**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.594 <sup>a</sup>	.353	.246	2.00297

a. Predictors: (Constant), Hammer Test, UPV Test

Dari tabel 5.40 diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,353 artinya sebesar 34,3% variasi variabel *dependent* Y (*compression test*) dipengaruhi oleh dua variabel

*independent* X1 dan X2. Sisanya, sekitar 65,7% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model regresi.

**Tabel 5.40 Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F'c 14,5 MPa**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	43.422	43.138		1.007	.334
	UPV Test	.001	.009	.032	.137	.893
	Hammer Test	-1.202	.483	-.588	-2.486	.029

a. Dependent Variable: Compression Test

Berdasarkan tabel 5.41, terlihat bahwa pengaruh variabel UPV dalam model ini tidak begitu signifikan. Nilai dari setiap koefisien penduga  $\beta$  telah ditemukan, yang membentuk model regresi linier berganda terbentuk adalah  $Y = 43.422 + 0.001X1 - 1.2202X2$

Interpretasi :

- 1)  $\beta_1 = 0,001$ , Ketika hasil uji UPV *test* mengalami peningkatan sebesar 1 MPa, maka dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji UPV *test* tetap konstan, akan menyebabkan peningkatan sebesar 0,001 Mpa pada nilai *compression test*.
  - 2)  $\beta_2 = -1,202$ , Ketika hasil uji *hammer test* menurunkan sebesar 1 m/s, maka diasumsikan bahwa akan terjadi penurunan sebesar 1,202 MPa pada nilai *compression test*, dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji *hammer* tetap konstan.
2. Hasil Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Menggunakan *Software* IBM SPSS F'c 21 MPa

**Tabel 5.41 Model Summary Pada Benda Uji F'c 21 MPa**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.418 <sup>a</sup>	.175	.037	1.52985

a. Predictors: (Constant), Hammer Test, UPV Test

Dari tabel 5.42 diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,175 artinya sebesar 17,5% variasi variabel *dependent* Y (*compression test*) dipengaruhi oleh dua variabel

*independent* X1 dan X2. Sisanya, sekitar 82,5% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model regresi.

**Tabel 5.42 Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F'c 21 MPa**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	18.611	29.877		.623	.545
	UPV Test	-.006	.007	-.226	-.759	.462
	Hammer Test	1.185	.743	.475	1.595	.137

a. Dependent Variable: Compression Test

Berdasarkan tabel 5.41, terlihat bahwa pengaruh variabel UPV dalam model ini tidak begitu signifikan. Nilai dari setiap koefisien penduga  $\beta$  telah ditemukan, yang membentuk model regresi linier berganda terbentuk adalah  $Y = 18.611 - 0.006x_1 + 1.185x_2$

Interpretasi :

- 1)  $\beta_1 = -0,006$ , Ketika hasil uji UPV *test* mengalami penurunan sebesar 1 MPa, maka dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji UPV *test* tetap konstan, akan menyebabkan penurunan sebesar 0,006 Mpa pada nilai *compression test*.
- 2)  $\beta_2 = 1,185$ , Ketika hasil uji *hammer test* peningkatan sebesar 1 m/s, maka diasumsikan bahwa akan terjadi peningkatan sebesar 1,185 MPa pada nilai *compression test*, dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji *hammer* tetap konstan.
3. Hasil Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Menggunakan *Software* IBM SPSS F'c 25 MPa

**Tabel 5.43 Model Summary Pada Benda Uji F'c 25 MPa**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.458 <sup>a</sup>	.209	.078	2.07326

a. Predictors: (Constant), Hammer Test, UPV Test

Dari tabel 5.44 diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,209 artinya sebesar 20,9% variasi variabel *dependent* Y (*compression test*) dipengaruhi oleh dua variabel

*independent* X1 dan X2. Sisanya, sekitar 79,1% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model regresi.

**Tabel 5.44 Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F’c 25 MPa**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	118.702	56.543		2.099	.058
	UPV Test	-.023	.013	-.466	-1.747	.106
	Hammer Test	.405	.495	.218	.818	.429

a. Dependent Variable: Compression Test

Berdasarkan tabel 5.45, terlihat bahwa pengaruh variabel UPV dalam model ini tidak begitu signifikan. Nilai dari setiap koefisien penduga  $\beta$  telah ditemukan, yang membentuk model regresi linier berganda terbentuk adalah  $Y = 118.702 - 0.023x_1 + 0.405x_2$

Interpretasi :

- 1)  $\beta_1 = - 0,023$ , Ketika hasil uji UPV *test* mengalami penurunan sebesar 1 MPa, maka dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji UPV *test* tetap konstan, akan menyebabkan penurunan sebesar 0,23 Mpa pada nilai *compression test*.
  - 2)  $\beta_2 = 0,405$ , Ketika hasil uji *hammer test* peningkatan sebesar 1 m/s, maka diasumsikan bahwa akan terjadi peningkatan sebesar 0,405 MPa pada nilai *compression test*, dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji *hammer* tetap konstan.
4. Hasil Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Menggunakan *Software* IBM SPSS F’c 30 MPa

**Tabel 5.45 Model Summary Pada Benda Uji F’c 30 MPa**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.482 <sup>a</sup>	.232	.104	2.47358

a. Predictors: (Constant), Hammer Test, UPV Test

Dari tabel 5.44 diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,232 artinya sebesar 23,2% variasi variabel *dependent* Y (*compression test*) dipengaruhi oleh dua variabel

*independent* X1 dan X2. Sisanya, sekitar 76,8% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model regresi.

**Tabel 5.46 Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji F'c 30 MPa**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	85.047	34.827		2.442	.031
UPV Test	-.016	.009	-.548	-1.848	.089
Hammer Test	.742	.544	.405	1.363	.198

a. Dependent Variable: Compression Test

Berdasarkan tabel 5.45, terlihat bahwa pengaruh variabel UPV dalam model ini tidak begitu signifikan. Nilai dari setiap koefisien penduga  $\beta$  telah ditemukan, yang membentuk model regresi linier berganda terbentuk adalah  $Y = 85.047 - 0.016x_1 + 0.742x_2$

Interpretasi :

- 1)  $\beta_1 = -0,016$ , Ketika hasil uji UPV *test* mengalami penurunan sebesar 1 MPa, maka dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji UPV *test* tetap konstan, akan menyebabkan penurunan sebesar 0,016 Mpa pada nilai *compression test*.
  - 2)  $\beta_2 = 0,742$ , Ketika hasil uji *hammer test* peningkatan sebesar 1 m/s, maka diasumsikan bahwa akan terjadi peningkatan sebesar 0,742 MPa pada nilai *compression test*, dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji *hammer* tetap konstan.
5. Hasil Analisis Regresi Berganda dan Korelasi Menggunakan *Software* IBM SPSS Gabungan Variasi Mutu Beton.

**Tabel 5.47 Model Summary Pada Benda Uji F'c Gabungan**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.776 <sup>a</sup>	.602	.588	3.27708

a. Predictors: (Constant), Hammer Test, UPV Test

Dari tabel 5.48 diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,602 artinya sebesar 60,2% variasi variabel *dependent* Y (*compression test*) dipengaruhi oleh dua variabel

*independent* X1 dan X2. Sisanya, sekitar 39,8% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model regresi.

**Tabel 5.48 Koefisien Alat Uji Pada Benda Uji Gabungan**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-62.102	22.032		-2.819	.007
	UPV Test	.011	.006	.233	1.771	.082
	Hammer Test	1.420	.321	.582	4.420	.000

a. Dependent Variable: Compression Test

Berdasarkan tabel 5.49, terlihat bahwa pengaruh variabel UPV dalam model ini tidak begitu signifikan. Nilai dari setiap koefisien penduga  $\beta$  telah ditemukan, yang membentuk model regresi linier berganda terbentuk adalah  $Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$

Interpretasi :

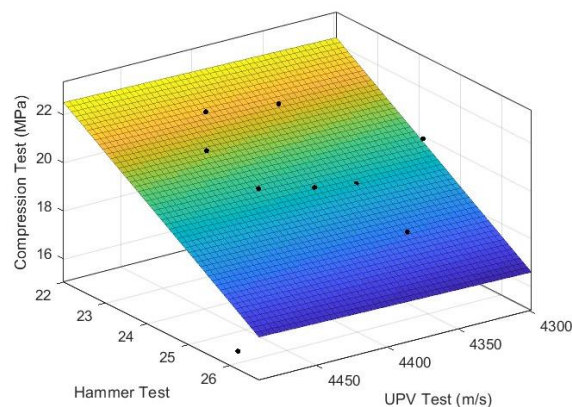
- 1)  $\beta_1 = 0,011$ , Ketika hasil uji UPV *test* mengalami peningkatan sebesar 1 MPa, maka dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji UPV *test* tetap konstan, akan menyebabkan peningkatan sebesar 0,016 Mpa pada nilai *compression test*.
- 2)  $\beta_2 = 1,420$ , Ketika hasil uji *hammer test* peningkatan sebesar 1 m/s, maka diasumsikan bahwa akan terjadi peningkatan sebesar 1,420 MPa pada nilai *compression test*, dengan asumsi bahwa variabel lain yaitu hasil uji *hammer* tetap konstan.

**Tabel 5.49 Rekapitulasi Hasil Analisa Regresi Ganda Antara UPV Test, Hammer Test, dan Compression Test Menggunakan IBM SPSS**

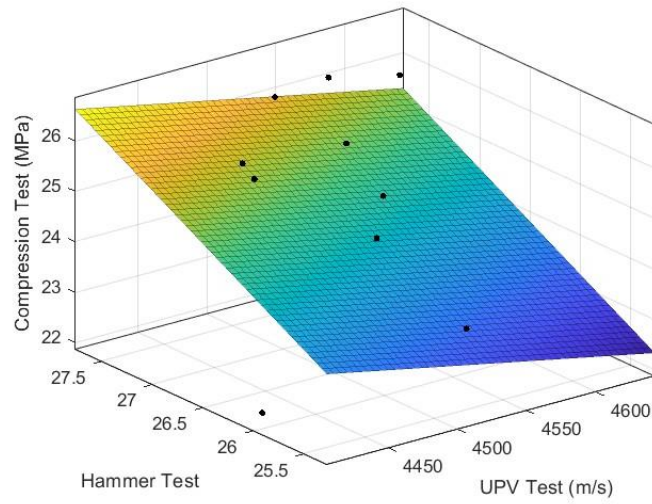
Benda Uji	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )
F'c 14.5 MPa	$Y = 43.422 + 0.001x_1 - 1.2202x_2$	0,353
F'c 21 MPa	$Y = 18.611 - 0.006x_1 + 1.185x_2$	0,176
F'c 25 MPa	$Y = 118.702 - 0.023x_1 + 0.405x_2$	0,209
F'c 30 MPa	$Y = 85.047 - 0.016x_1 + 0.742x_2$	0,232
Gabungan	$Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$	0,602

### 5.6.2 Grafik Hubungan Korelasi antara *UPV Test*, *Hammer Test*, dan *Compression Test* Menggunakan *Software* MATLAB

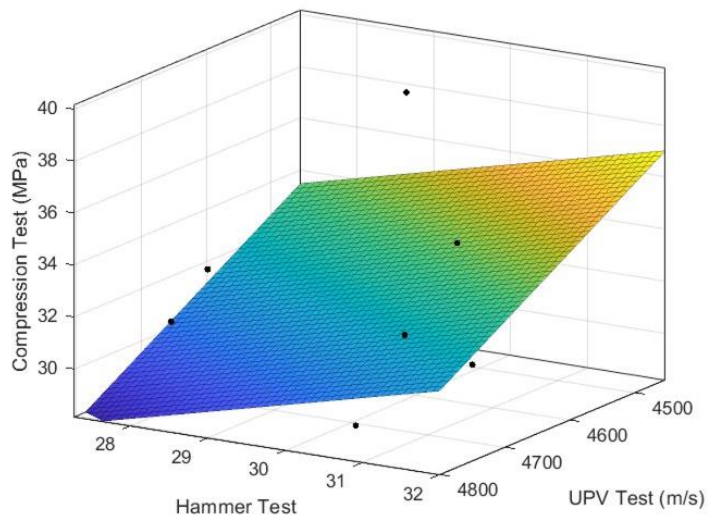
Penelitian ini penggunaan *software* MATLAB (*Matrix Laboratory*) bertujuan untuk menganalisis dan melakukan perhitungan pada data numerik. Data hasil penelitian dimasukkan ke dalam perangkat lunak ini untuk menciptakan grafik yang memvisualisasikan hubungan korelasi antara ketiga metode pengujian. Dengan memanfaatkan MATLAB, kita dapat menghasilkan grafik yang akan membantu kita memahami hubungan antara berbagai metode pengujian dengan cara yang lebih jelas dan mudah dimengerti. Grafik-grafik ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang korelasi antara *non-destructive test* dan *compression test*. Di bawah ini adalah grafik yang menggambarkan hubungan tersebut dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB.



**Gambar 5.68 Grafik Hubungan Korelasi *UPV Test*, *Hammer Test*, dan *Compression Test* Mutu Beton  $f'c$  14,5 MPa**

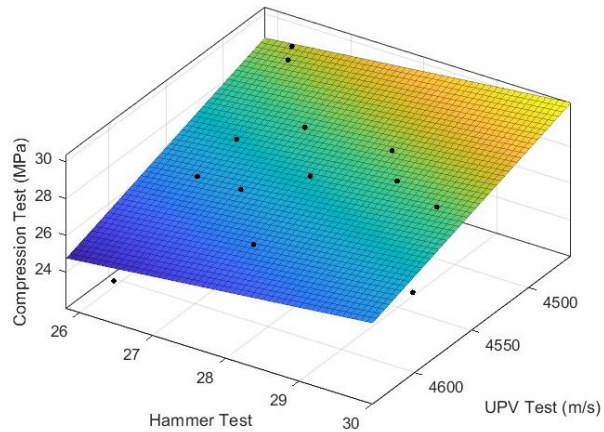


**Gambar 5.69 Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, Hammer Test, dan Compression Test Mutu Beton  $f'_c$  21 MPa**

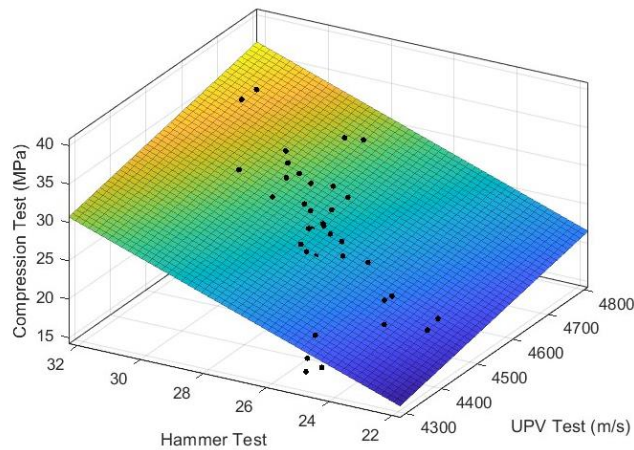


**Gambar 5.70 Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, Hammer Test, dan Compression Test Mutu Beton  $f'_c$  25 MPa**





**Gambar 5.71 Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, Hammer Test, dan Compression Test Mutu Beton  $f'_c$  30 MPa**



**Gambar 5.72 Grafik Hubungan Korelasi UPV Test, Hammer Test, dan Compression Test Mutu Beton Gabungan**

Secara keseluruhan, grafik yang menggambarkan hubungan antara pengujian *non-destructive test* dengan pengujian *compression test* menunjukkan bahwa pendekatan antara keduanya tidak memiliki kesesuaian yang signifikan. Hal ini juga diperkuat oleh hasil Tabel 5.50, di mana nilai koefisien determinasi (*R-squared*) yang diperoleh melalui analisis korelasi dan regresi menggunakan perangkat lunak IBM SPSS sebagian besar berada dalam kisaran 17% hingga 60%. Artinya, hubungan antara variabel dependent Y (*compressive test*) dengan dua variabel independent X1 (*Hammer test*) dan X2 (*UPV Test*) ini cukup erat, namun tidak cukup kuat untuk dianggap signifikan.

Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan besar dalam rentang nilai antara hasil pengujian *compression test* dan pengujian *non-destructive test* (*hammer test* dan *UPV test*), serta adanya perbedaan satuan dalam data yang digunakan dalam analisis. Rentang nilai yang bervariasi dalam kuat tekan beton ini mungkin disebabkan oleh variasi dalam kerapatan bahan yang digunakan dalam beton.

### 5.7 Kesalahan Relatif

Analisis kesalahan relatif bertujuan untuk menghitung akurasi atau ketepatan model regresi dalam mengestimasi nilai yang diinginkan. Dalam penelitian ini, persamaan regresi yang telah didapatkan antara *hammer test* dengan *compression test*, *UPV test* dengan *compression test*, dan *non destructive test* dengan *compression test* akan dilakukan validasi dengan membandingkan hasil prediksi dari kedua pengujian *non destructive test* dengan nilai kuat tekan yang direncanakan. Dengan demikian, peneliti dapat menilai sejauh mana akurasi nilai kuat tekan yang diperkirakan melalui pengujian *non-destructive* terhadap nilai kuat tekan yang seharusnya direncanakan.

#### 5.7.1 Kesalahan Relatif Menggunakan Persamaan Regresi Pengujian

Berikut ini adalah hasil persamaan regresi antara *hammer test* dan *UPV test* dengan hasil pengujian *compression test* dapat dilihat pada Tabel 5.51

**Tabel 5.50 Rekapitulasi Hasil Persamaan Regresi *Non Destructive Test* dengan *Compression test*.**

Pengujian yang dilakukan	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )
<i>UPV test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = -5E-05x^2 + 0,5288x - 1242,9$	0,4936
<i>Hammer test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = 0,0016x^2 + 1,7703x - 23,141$	0,5802
<i>Hammer test</i> , <i>UPV test</i> dengan <i>compression test</i>	$Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$	0,602

Berdasarkan data dari Tabel 5.51, persamaan regresi tersebut akan dianalisa untuk memperoleh nilai estimasi kuat tekan beton. Variabel yang dianalisis yaitu *hammer test* dan *UPV test* yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah didapatkan perkiraan nilai kuat tekan beton menggunakan variabel-variabel ini, selanjutnya

dilakukan validasi dengan nilai kuat tekan yang seharusnya direncanakan. Dalam penelitian akan menyajikan hasil validasi ini dalam bentuk persentase kesalahan relatif. Persentase kesalahan relatif dihitung menggunakan rumus berikut.

$$R = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\% \quad (5.3)$$

Dengan:  $X_1$  = Nilai kuat tekan beton rencana

$X_2$  = Hasil Kuat tekan beton dari persamaan regresi

Contoh perhitungan:

Nilai kuat tekan beton  $F'_c$  14,5 MPA : 14,5 MPA

Estimasi kuat tekan beton hasil *Hammer test* : 21,22 MPA

$$KR = \left| \frac{14,5 - 21,22}{14,5} \right| \times 100\% = 46,35\%$$

**Tabel 5.51 Kesalahan Relatif Antara Nilai Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Non-Destructive Test**

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Nilai Estimasi Kuat Tekan Beton Menggunakan NDT (MPa)					
	<i>Hammer test</i>	Kesalahan Relatif	UPV	Kesalahan Relatif	<i>Hammer test dan UPV test</i>	Kesalahan Relatif
14,5	21,225	46,38%	17,031	17,46%	19,950	37,58%
	22,391	54,42%	17,653	21,74%	20,967	44,60%
	21,262	46,63%	19,700	35,86%	20,526	41,56%
	22,058	52,12%	16,975	17,07%	20,578	41,91%
	24,914	71,82%	20,769	43,23%	23,561	62,49%
	22,141	52,70%	24,152	66,57%	22,280	53,66%
	19,930	37,45%	23,617	62,87%	20,439	40,96%
	21,873	50,85%	17,730	22,27%	20,585	41,96%
	20,587	41,98%	24,016	65,63%	21,050	45,18%

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

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Nilai Estimasi Kuat Tekan Beton Menggunakan NDT (MPa)					
	<i>Hammer test</i>	Kesalahan Relatif	UPV	Kesalahan Relatif	<i>Hammer test dan UPV test</i>	Kesalahan Relatif
14,5	21,206	46,25%	22,899	57,92%	21,232	46,43%
	19,006	31,08%	20,652	42,43%	19,005	31,07%
	17,760	22,49%	24,630	69,86%	19,049	31,37%
	16,986	17,15%	21,822	50,50%	17,722	22,22%
	23,810	64,21%	25,129	73,30%	23,837	64,39%
	21,891	50,97%	21,610	49,04%	21,441	47,87%
21	26,038	23,99%	24,980	18,95%	25,497	21,41%
	24,951	18,82%	26,988	28,52%	25,309	20,52%
	25,081	19,44%	26,312	25,29%	25,178	19,90%
	27,052	28,82%	29,445	40,21%	27,956	33,12%
	24,840	18,29%	28,936	37,79%	26,011	23,86%
	25,806	22,89%	25,422	21,06%	25,451	21,20%
	26,559	26,47%	27,708	31,94%	26,803	27,63%
	26,197	24,75%	26,041	24,01%	25,942	23,53%
	22,845	8,79%	26,278	25,14%	23,456	11,70%
	26,243	24,97%	29,167	38,89%	27,195	29,50%
25,063	19,35%	24,821	18,20%	24,705	17,64%	

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

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Nilai Estimasi Kuat Tekan Beton Menggunakan NDT (MPa)					
	<i>Hammer test</i>	Kesalahan Relatif	UPV	Kesalahan Relatif	<i>Hammer test dan UPV test</i>	Kesalahan Relatif
21	24,469	16,52%	26,398	25,71%	24,738	17,80%
	23,495	11,88%	24,874	18,45%	23,522	12,01%
	24,097	14,75%	22,444	6,88%	23,333	11,11%
	25,137	19,70%	23,935	13,98%	24,514	16,73%
25	28,738	14,95%	26,672	6,69%	28,089	12,35%
	24,645	1,42%	24,927	0,29%	24,417	2,33%
	27,480	9,92%	27,976	11,90%	27,611	10,44%
	26,169	4,67%	28,090	12,36%	26,656	6,62%
	31,108	24,43%	28,491	13,96%	30,587	22,35%
	24,589	1,64%	24,730	1,08%	24,317	2,73%
	29,418	17,67%	27,264	9,05%	28,815	15,26%
	28,197	12,79%	29,403	17,61%	28,807	15,23%
	24,023	3,91%	28,932	15,73%	25,385	1,54%
	27,397	9,59%	27,466	9,86%	27,349	9,40%
	26,290	5,16%	26,497	5,99%	26,162	4,65%
26,159	4,64%	27,976	11,90%	26,603	6,41%	

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

25	30,725	22,90%	27,559	10,24%	29,919	19,68%
	26,396	5,59%	26,536	6,15%	26,257	5,03%
	25,620	2,48%	28,491	13,96%	26,406	5,62%
30	29,148	2,84%	30,634	2,11%	30,332	1,11%
	27,443	8,52%	30,107	0,36%	28,642	4,53%
	33,230	10,77%	29,832	0,56%	32,873	9,58%
	34,804	16,01%	30,907	3,02%	34,886	16,29%
	32,921	9,74%	31,326	4,42%	34,121	13,74%
	27,257	9,14%	30,743	2,48%	28,987	3,38%
	33,343	11,14%	29,937	0,21%	33,021	10,07%
	31,061	3,54%	28,526	4,91%	30,567	1,89%
	28,533	4,89%	27,668	7,77%	28,292	5,69%
	33,183	10,61%	30,923	3,08%	33,675	12,25%
	29,558	1,47%	24,722	17,59%	28,106	6,31%
	28,086	6,38%	26,926	10,25%	27,680	7,73%
	29,633	1,22%	28,871	3,76%	29,637	1,21%
	26,755	10,82%	27,100	9,67%	26,726	10,91%
	28,058	6,47%	27,943	6,86%	28,038	6,54%
<b>Nilai Rata-Rata KR</b>	<b>20,69%</b>		<b>21,58%</b>		<b>20,20%</b>	

Berdasarkan Tabel 5.52, Hasil analisa kesalahan relatif dapat diamati bahwa estimasi nilai kuat tekan beton hasil gabungan pengujian antara *hammer test* dan *UPV test* memiliki tingkat kesalahan relatif yang lebih kecil dibandingkan dengan estimasi yang berasal dari *hammer* atau *UPV*. Hasil kesalahan relatif ini juga berkorelasi dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dalam persamaan regresi yang dianalisa sebelumnya. Kesalahan relatif yang lebih rendah cenderung dengan berdampingan dengan nilai ( $R^2$ ) yang lebih tinggi. Oleh karena itu, kesalahan relatif ini menunjukkan bahwa persamaan regresi dengan gabungan *hammer test* dan *UPV test* memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk mendekati nilai kuat tekan rencana dibandingkan dengan persamaan regresi yang menggunakan nilai *UPV* atau *hammer* dari pengujian tersebut.

#### 5.7.2 Kesalahan Relatif Dibandingkan Dengan Penelitian Terdahulu

Setelah menganalisis persamaan regresi yang dilakukan, baik dari *hammer test*, *UPV test*, maupun *compression test*. Langkah selanjutnya melakukan validasi persamaan regresi dengan nilai kuat tekan rencana, mengukur perbedaan antara hasil dari persamaan regresi dengan nilai kuat tekan yang seharusnya direncanakan dan hasil ini akan ditampilkan dalam bentuk persentase kesalahan relatif. Dalam, analisa ini akan membandingkan hasil persamaan regresi yang telah ada dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitian Manopo (2019) dan Wirata (2018), dengan persamaan regresi yang dihasilkan dengan persamaan regresi yang dilakukan. Persamaan-persamaan regres ini dapat dilihat pada Tabel 5.53 dibawah ini.

**Tabel 5.52 Persamaan Regresi yang dilakukan dengan Persamaan Regresi Penelitian Terdahulu**

Sumber Penelitian	Persamaan Regresi
Wirotnama (2018)	$Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021X_2$
Manopo (2019)	$Y = -44,42541145 + X_1 * 0,3643 + X_2 * 0,0161$
Widodo (2023)	$Y = -0,339X^2 + 16,087X - 163,05$
Penelitian Ini	$Y = -62.102 + 0.011X_1 + 1.420X_2$

Berdasarkan Tabel 5.53 ketiga persamaan regresi tersebut akan dihitung perbedaan antara hasil analisis nilai kuat tekan beton berdasarkan persamaan regresi dengan nilai kuat tekan yang direncanakan. Untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dari persamaan regresi menggunakan data dari hasil pengujian *hammer test* dan *UPV test* yang telah dilakukan. Peneliti akan mengukur perbedaan antara nilai kuat tekan beton yang dihasilkan oleh persamaan regresi dengan nilai kuat tekan yang seharusnya direncanakan, dan perbedaan ini akan diekspresikan dalam bentuk persentase kesalahan relatif. Persentase kesalahan relatif dihitung menggunakan rumus berikut.

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

Dengan: X1 = Nilai kuat tekan beton rencana

X2 = Hasil Kuat tekan beton dari persamaan regresi

Contoh perhitungan:

Nilai kuat tekan beton F'c 14,5 MPa : 14,5 MPa

Nilai kuat tekan beton hasil persamaan regresi penelitian Mussadat : 19,95 MPa

$$KR = \left| \frac{14,5 - 19,95}{14,5} \right| \times 100\% = 37,58 \%$$

Berikut merupakan hasil rekapitulasi tabel kesalahan relatif dengan penelitian - penelitian sebelumnya.



**Tabel 5.53 Kesalahan Relatif Antara Kuat Tekan Beton Rencana dengan Perkiraan Nilai Kuat Beton Hasil Regresi**

Kuat tekan beton rencana (MPa)	Kuat Tekan Beton Hasil Persamaan Regresi							
	Penelitian Ini		Manopo (2019)		Wirotama (2018)		Widodo (2023)	
	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)	Kesalahan Relatif (%)
14,5	19,95	37,58%	25,83	78,11%	18,21	25,61%	27,59	90,3%
	20,97	44,60%	26,03	79,51%	19,11	31,77%	27,13	87,1%
	20,53	41,56%	26,63	83,66%	19,71	35,96%	27,58	90,2%
	20,58	41,91%	25,83	78,11%	18,79	29,58%	27,29	88,2%
	23,56	62,49%	27,05	86,56%	20,84	43,71%	25,20	73,8%
	22,28	53,66%	28,23	94,71%	21,94	51,33%	27,25	87,9%

	20,44	40,96%	27,98	92,94%	21,99	51,62%	27,80	91,7%
	20,58	41,96%	26,04	79,59%	23,57	62,57%	27,37	88,7%
	21,05	45,18%	28,15	94,12%	22,90	57,90%	27,74	91,3%
	21,23	46,43%	27,73	91,23%	25,45	75,49%	27,60	90,3%
	19,00	31,07%	26,90	85,49%	19,70	35,88%	27,74	91,3%
	19,05	31,37%	28,34	95,47%	21,39	47,54%	27,39	88,9%
	17,72	22,22%	27,26	87,97%	19,85	36,91%	27,02	86,3%
	23,84	64,39%	28,67	97,75%	22,78	57,12%	26,20	80,7%
	21,44	47,87%	27,28	88,12%	20,66	42,47%	27,36	88,7%

21	25,50	21,41%	28,65	36,45%	24,01	14,35%	23,94	14,0%
	25,31	20,52%	29,58	40,84%	22,99	9,48%	25,16	19,8%
	25,18	19,90%	29,24	39,24%	24,49	16,63%	25,03	19,2%
	27,96	33,12%	31,15	48,32%	26,52	26,27%	22,60	7,6%
	26,01	23,86%	30,73	46,33%	25,62	22,02%	25,28	20,4%
	25,45	21,20%	28,84	37,34%	24,69	17,59%	24,22	15,3%
	26,80	27,63%	30,00	42,84%	24,94	18,76%	23,28	10,8%
	25,94	23,53%	29,13	38,73%	23,76	13,13%	23,75	13,1%
	23,46	11,70%	29,18	38,95%	27,24	29,70%	26,87	28,0%

	27,20	29,50%	30,92	47,24%	27,11	29,11%	23,69	12,8%
	24,71	17,64%	28,57	36,03%	26,57	26,52%	25,05	19,3%
	24,74	17,80%	29,27	39,38%	28,03	33,48%	25,63	22,1%
	23,52	12,01%	28,56	35,99%	29,12	38,67%	26,44	25,9%
	23,33	11,11%	27,62	31,51%	27,65	31,68%	25,96	23,6%
	24,51	16,73%	28,20	34,31%	19,61	6,62%	24,97	18,9%
25	28,09	12,35%	29,49	17,96%	23,54	5,84%	19,91	20,3%
	24,42	2,33%	28,60	14,42%	22,12	11,50%	25,47	1,9%
	27,61	10,44%	30,17	20,68%	27,34	9,35%	21,97	12,1%

	26,66	6,62%	30,21	20,85%	26,77	7,08%	23,78	4,9%
	30,59	22,35%	30,56	22,22%	29,24	16,97%	15,21	39,1%
	24,32	2,73%	28,52	14,08%	29,32	17,28%	25,52	2,1%
	28,82	15,26%	29,81	19,23%	21,21	15,17%	18,68	25,3%
	28,81	15,23%	31,14	24,55%	23,31	6,77%	20,83	16,7%
	25,38	1,54%	30,71	22,84%	21,15	15,42%	26,02	4,1%
	27,35	9,40%	29,88	19,51%	22,83	8,67%	22,09	11,6%
	26,16	4,65%	29,35	17,42%	21,56	13,76%	23,63	5,5%
	26,60	6,41%	30,14	20,57%	22,61	9,57%	23,79	4,8%

	29,92	19,68%	29,99	19,98%	22,27	10,91%	16,05	35,8%
	26,26	5,03%	29,38	17,50%	22,98	8,09%	23,49	6,0%
	26,41	5,62%	30,45	21,79%	23,11	7,55%	24,44	2,2%
30	30,33	1,11%	32,33	7,77%	28,39	5,37%	19,18	36,1%
	28,64	4,53%	31,72	5,75%	27,33	8,89%	22,02	26,6%
	32,87	9,58%	31,59	5,29%	28,06	6,47%	10,09	66,4%
	34,89	16,29%	32,82	9,40%	29,91	0,29%	5,73	80,9%
	34,12	13,74%	33,76	12,52%	30,84	2,80%	10,89	63,7%
	28,99	3,38%	32,44	8,12%	28,23	5,90%	22,30	25,7%

	33,02	10,07%	31,68	5,60%	28,20	6,00%	9,79	67,4%
	30,57	1,89%	30,58	1,92%	26,40	11,99%	15,32	48,9%
	28,29	5,69%	30,01	0,04%	25,27	15,76%	20,27	32,4%
	33,68	12,25%	32,81	9,38%	29,65	1,15%	10,21	66,0%
	28,11	6,31%	28,61	4,62%	18,21	25,61%	18,41	38,6%
	27,68	7,73%	29,60	1,32%	19,11	31,77%	21,02	29,9%
	29,64	1,21%	30,78	2,59%	19,71	35,96%	18,27	39,1%
	26,73	10,91%	29,67	1,10%	18,79	29,58%	23,01	23,3%
	28,04	6,54%	30,16	0,54%	20,84	43,71%	21,06	29,8%
<b>Nilai Rata-Rata KR</b>	<b>20,20%</b>		<b>37,94%</b>		<b>22,92%</b>		<b>40,9%</b>	

Dari Tabel 5.54 dapat dilihat bahwa persentase kesalahan relatif rata-rata yang paling kecil diperoleh dari persamaan regresi yang dikembangkan oleh peneliti, yaitu sebesar 20,20%. Namun, penting untuk diingat bahwa hasil ini tidak dapat menjadi satu-satunya acuan dalam menentukan kesesuaian persamaan regresi peneliti dengan kuat tekan rencana. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa nilai-nilai *hammer test* dan *UPV test* yang digunakan dalam analisis berasal dari variabel yang sama yang digunakan dalam pembuatan persamaan regresi peneliti. Selain itu, komposisi beton dan dimensi benda uji yang digunakan dalam penelitian juga mendukung hasil tersebut.

Meskipun demikian, dengan membandingkan persentase kesalahan relatif ini, dapat disimpulkan bahwa persamaan regresi yang dihasilkan dari pengujian yang dilakukan oleh peneliti telah berhasil dalam memprediksi nilai kuat tekan beton dengan tingkat kesalahan yang relatif rendah.



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya, kami menyimpulkan hal-hal berikut ini:

1. Hasil pengujian beton menggunakan *compression test*, *hammer test*, dan *UPV test* pada  $f'c$  14,5 MPa, 21 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa adalah sebagai berikut.
  - a. Nilai rata-rata hasil kuat tekan yang diperoleh pada *compression test* berturut-turut adalah 19,44 MPa, 24,66 MPa, 27,41 MPa, dan 32,15 MPa.
  - b. Nilai rata-rata nilai *rebound hammer* diperoleh pada *hammer test* berturut-turut adalah 24,456, 26,64, 27,68, dan 29,33.
  - c. Nilai rata-rata cepat rambat gelombang yang diperoleh pada *UPV test* berturut-turut adalah 4393,21 m/s, 4519,55 m/s, 4553,47 m/s, dan 4633,25 m/s.
2. Dari hasil analisis regresi ditemukan hubungan/korelasi antara pengujian sebagai berikut.
  - a. Adanya 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 adalah  $Y = 0,0016x^2 + 1,7703x - 23,141$  dengan tingkat hubungan korelasi sedang ( $R^2 = 0,5802$ )
  - b. 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 regresi yang terbentuk adalah  $Y = -5E-05x^2 + 0,5288x - 1242,9$  dengan tingkat hubungan korelasi sedang ( $R^2 = 0,4936$ )

- c. Persamaan regresi antara *hammer test* dan *UPV test* dengan *compression test* adalah  $Y = -62.102 + 0.011x_1 + 1.420x_2$  dengan tingkat hubungan korelasi kuat ( $R^2 = 0,602$ )

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diatas, ada beberapa hal yang bisa dijadikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya tentang korelasi *UPV test*, *hammer test*, dan *compression test* sebagai berikut.

1. Perlu meningkatkan jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian guna mencakup beragam variasi dan berbagai kondisi beton. Dengan mengumpulkan lebih banyak data, hasil korelasi dapat menjadi lebih akurat dan dapat diandalkan.
2. Untuk penelitian selanjutnya, jika masih ingin meneliti beton *fly ash* perlu menambahkan beton normal untuk melihat perbandingan pengaruh *fly ash* terhadap beton normal pada pengujian *UPV test*, *hammer test*, dan *compression test*.
3. Untuk penelitian selanjutnya, pembuatan benda uji menggunakan berbagai dimensi beton yang berbeda termasuk benda uji beton bertulang serta menggali variasi dalam tebal selimut beton dan jarak sengkang. Dengan demikian, dapat mengetahui pengaruh dimensi beton, keberadaan tulangan, tebal selimut beton, dan jarak Sengkang terhadap hubungan uji *non-destructive test* dan *destructive test* sesuai dengan kondisi lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, F., Suhelmidawati, E. and Zade, A.A.M., 2018. *Eksperimen beton mutu tinggi berbahan fly ash sebagai pengganti sebagian semen*. Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil, 15(1), pp.11-16.
- Ahmad, H.H., Yanuar, S.F. and Hamduwibawa, R.B., 2022. *Studi Pengaruh Jenis Semen Pada Campuran Beton 1: 2: 3*. Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon, 7(2), pp.74-77.
- 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.
- Ichsan, M., Tanjung, D. and Hasibuan, M.H.M., 2021. *Analisa Perbandingan Hammer Test dan Compression Testing Machine terhadap Uji Kuat Tekan Beton*. Buletin Utama Teknik, 17(1), pp.41-45.
- International Atomic Energy Agency, Vienna. 2002. *Guidebook on non des-truective testing of concrete structures*. Training Course Series No. 17.
- Klarens, K., Indranata, M., Antoni, A. and Hardjito, D., 2016. *Pemanfaatan Bottom Ash dan Fly ash Tipe C sebagai Bahan Pengganti dalam pembuatan paving block*. Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil, 5(2).
- Kuncoro, F.B., 2021. *Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Pengganti Semen Fly Ash Kadar 15%, 30%, dan 40% Terhadap Beton Normal*.
- Kushariyanto, K., Nainggolan, C.R. and Nurlina, S., 2019. *Pengaruh Variasi Mutu Beton Pada Benda Uji Balok Beton Normal Dengan menggunakan Metode Non Destructive Test*. Rekayasa Sipil, 13(3), pp.225-233.
- Manado, Tribunnews. 2022. *PLN Memanfaatkan FABA, Limbah PLTU Amurang Sebagai Material Gedung PLTA Tanggari*. <https://manado.tribunnews.com/2022/03/31/pln-memanfaatkan-faba-limbah-pltu-amurang-sebagai-material-gedung-plta-tanggari>. (Diakses pada 12 Juni 2023).
- Manopo, M.H. 2019. *Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Dari Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), Hammer Test, dan Compression Test Pada Beton Mutu Sedang*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Marthinus, A.P., Sumajouw, M.D. and Windah, R.S., 2015. *Pengaruh penambahan abu terbang (Fly Ash) terhadap kuat tarik belah beton*. Jurnal Sipil Statik, 3(11).

- Muhammady, E., 2022. *Analisis Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan Fly Ash Sebagai Bahan Substitusi Parsial (Analysis Of Increasing The Compressive Strength Of Concrete On The Age Of Concrete Using Fly Ash As A Partial Substitution Material)*.
- Mulyono, 2005. *Teknologi Beton*. First Ed. Andi. Yogyakarta
- PBI 1971 N.I.-2, 1979. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Badan Standarisasi Nasional.
- Setiawati, M., 2018. *Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton*. Prosiding Semnastek.
- SNI ASTM C597:2012. *Metode Uji Kecepatan Rambat Gelombang Melalui Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI ASTM C805:2012. *Metode Uji Angka Pantul Beton Keras*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-4804-1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-6468-2000. *Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abuterbang*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1969:2008. *Cara uji Berat Jenis dan Penyerapan Ai Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1971:2011. *Cara Uji Kadar Air Total Agergat Dengan Pengeringan*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1972:2008. *Cara Uji Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1974:2011. *Cara Uji Kuat tekan Beton Dengan Benda uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2460:2014. *Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah Atau yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 7394:2008. *Pekerjaan Beton*. Badan Standarisasi Nasional

- Suprpto, H. and Mardiono, M., 2013. *Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Flyash) Dalam Beton Mutu Tinggi*. Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi, 9(1).
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1992. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Fakultas Teknik UGM.
- Tjokrodinuljo, 2007. *Teknologi Beton*. Biro penerbit: Yogyakarta
- Vairagade, V.S., Parbat, D.K. and Dhale, S.A., 2015. Fly ash as sustainable material for green concrete-A state of art. *Int. J. Res. Eng. Sci. Technol*, 1(2), pp.17-24.
- Wigati TeknikIndo, 2018. *Inspeksi dan Evaluasi Struktur Indo*. <https://www.wigatiteknikindo.com/our-services/inspeksi-dan-evaluasi-struktur-bangunan/>. (Diakses pada 11 Juli 2023)
- Winarsih, T., 2010. *Asesmen kekuatan struktur bangunan Gedung*. Universitas Sebelas Maret
- Wirotnama, I, N, G. 2018. *Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Non- Destructive Test Dan Destructive Test. Tugas Akhir*. Universitas Brawijaya, Malang. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/9327>

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Surat Permohonan Penggunaan Laboratorium



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Nomor : 104/Sek. Prodi PSTS/20/TA/V/2023  
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

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

*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : MUHAMMAD ARKAM MUSSADAT  
NIM : 19511060  
PROGRAM STUDI : TEKNIK SIPIL  
JUDUL TUGAS AKHIR : KORELASI ANTARA HASIL PENGUJIAN HAMMER DAN UPV DENGAN HASIL  
PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON DENGAN FLY ASH MUTU SEDANG  
DOSEN PEMBIMBING : MALIK MUSHTHOFA, S.T., M. ENG

Sehubungan dengan penelitian yang kami lakukan untuk proses pendukung penyelesaian penyusunan Proposal Tugas Akhir, melalui surat ini kami mengajukan permohonan izin meminjamkan 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.*



Yogyakarta, 31 Mei 2023


Pemohon

MUHAMMAD ARKAM MUSSADAT

NIM. 19511060

No.WA : 0822 2536 1313

## Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium


**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
Jalan Sekeloa Utara No. 1, Yogyakarta 55146 Telp. (0271) 886111, 886112

---

**SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM**

Nomor : 238/Ka.Lab/60/1.BK/TSX/2023

Bismillahirrahmanirrahim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Malik Mushthofa, S.T., M.Eng  
 NIK : 185111302  
 Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :


Nama : MUHAMMAD ARKAM MUSSADAT  
 NIM : 19511060  
 Program Studi : SI Teknik Sipil  
 Dosen Pembimbing TA : Malik Mushthofa, S.T., M.Eng  
 Instansi : Universitas Islam Indonesia

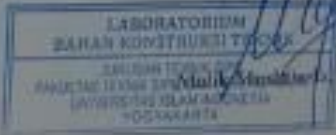
Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir "KORELASI ANTARA HASIL PENGUJIAN HAMMER DAN UPV DENGAN HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON FLY ASH MUTU SEDANG" serta sudah menyelesaikan semua administrasinya \*).

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 1 September 2023  
Kepala Laboratorium BKT.

Administrasi Laboratorium

  
Daru Salam, AMd

  
 Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.

\* Nota Kwitansi terlampir



### Lampiran 3 Laporan Hasil Perencanaan Campuran

#### Perencanaan Campuran $f'c$ 14,5 MPa

PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, $f'c$	14.5	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13.32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, $f'cr$	27.82	Mpa
5	Jenis semen Portland (tipe I, II, III, IV, atau V)	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS, (tabel 3 dan grafik 1)	0.62	
8	Faktor air semen, FAS maksimum, (tabel 4)	0.6	
	FAS yang digunakan	0.60	
9	Nilai slump (bila tidak diketahui, tabel 6)	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20 mm	
11	Nilai kadar air bebas (tabel 7)	205	liter
12	Jumlah semen	342	kg
13	Jumlah semen minimum (tabel 4)	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	342	kg
15	FAS yang disesuaikan	0.60	
16	Zona gradasi agregat halus (grafik 2)	Zona II	
17	Persentase ag. halus dalam campuran (grafik 4)	54.00	
18	Berat jenis relatif agregat	2.55	kg/m <sup>3</sup>
19	Berat jenis beton (grafik 5)	2314	kg/m <sup>3</sup>
20	Kadar agregat campuran	1767	kg/m <sup>3</sup>
21	Kadar agregat halus	954	kg/m <sup>3</sup>
22	Kadar agregat kasar	813	kg/m <sup>3</sup>

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m<sup>3</sup> :

1	Air	205	liter
2	Semen	342	kg
3	Agregat halus (Pasir)	954	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	813	kg
	Total	2314	kg

**Perencanaan Campuran f'c 21 MPa**

PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, f <sub>c</sub>	21	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13.32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, f <sub>cr</sub>	34.32	Mpa
5	Jenis semen Portland (tipe I, II, III, IV, atau V)	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS, (tabel 3 dan grafik 1)	0.53	
8	Faktor air semen, FAS maksimum, (tabel 4)	0.6	
	FAS yang digunakan	0.53	
9	Nilai slump (bila tidak diketahui, tabel 6)	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20	mm
11	Nilai kadar air bebas (tabel 7)	205	liter
12	Jumlah semen	384	kg
13	Jumlah semen minimum (tabel 4)	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	384	kg
15	FAS yang disesuaikan	0.53	
16	Zona gradasi agregat halus (grafik 2)	Zona II	
17	Persentase ag. halus dalam campuran (grafik 4)	52.36	
18	Berat jenis relatif agregat	2.55	kg/m <sup>3</sup>
19	Berat jenis beton (grafik 5)	2314	kg/m <sup>3</sup>
20	Kadar agregat campuran	1725	kg/m <sup>3</sup>
21	Kadar agregat halus	903	kg/m <sup>3</sup>
22	Kadar agregat kasar	822	kg/m <sup>3</sup>

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m<sup>3</sup> :

1	Air	205	liter
2	Semen	384	kg
3	Agregat halus (Pasir)	903	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	822	kg
	Total	2314	kg

### Perencanaan Campuran Beton $f'c$ 25 MPa

PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, $f_c$	25	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13.32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, $f_{cr}$	38.32	Mpa
5	Jenis semen Portland (tipe I, II, III, IV, atau V)	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS, (tabel 3 dan grafik 1)	0.49	
8	Faktor air semen, FAS maksimum, (tabel 4)	0.6	
	FAS yang digunakan	0.49	
9	Nilai slump (bila tidak diketahui, tabel 6)	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20	mm
11	Nilai kadar air bebas (tabel 7)	205	liter
12	Jumlah semen	420	kg
13	Jumlah semen minimum (tabel 4)	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	420	kg
15	FAS yang disesuaikan	0.49	
16	Zona gradasi agregat halus (grafik 2)	Zona II	
17	Persentase ag. halus dalam campuran (grafik 4)	51.20	
18	Berat jenis relatif agregat	2.55	$\text{kg/m}^3$
19	Berat jenis beton (grafik 5)	2314	$\text{kg/m}^3$
20	Kadar agregat campuran	1689	$\text{kg/m}^3$
21	Kadar agregat halus	865	$\text{kg/m}^3$
22	Kadar agregat kasar	824	$\text{kg/m}^3$

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per- $\text{m}^3$  :

1	Air	205	liter
2	Semen	420	kg
3	Agregat halus (Pasir)	865	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	824	kg

**Perencanaan Campuran f'c 30 MPa**

<b>PERANCANGAN CAMPURAN BETON DENGAN METODE STANDAR NASIONAL INDONESIA (SNI 03-2834-2000)</b>			
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan, f'c	30	Mpa
	Umur beton	28	hari
2	Deviasi standar, S	7	
3	Nilai tambah, m	13.32	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata rencana, f'cr	43.32	Mpa
5	Jenis semen Portland (tipe I, II, III, IV, atau V)	tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
7	Faktor air semen, FAS, (tabel 3 dan grafik 1)	0.44	
8	Faktor air semen, FAS maksimum, (tabel 4)	0.6	
	FAS yang digunakan	0.44	
9	Nilai slump (bila tidak diketahui, tabel 6)	10	cm
10	Ukuran maksimum agregat	20	mm
11	Nilai kadar air bebas (tabel 7)	205	liter
12	Jumlah semen	463	kg
13	Jumlah semen minimum (tabel 4)	275	kg
14	Jumlah semen yang digunakan	463	kg
15	FAS yang disesuaikan	0.44	
16	Zona gradasi agregat halus (grafik 2)	Zona II	
17	Persentase ag. halus dalam campuran (grafik 4)	50.07	
18	Berat jenis relatif agregat	2.55	kg/m <sup>3</sup>
19	Berat jenis beton (grafik 5)	2314	kg/m <sup>3</sup>
20	Kadar agregat campuran	1646	kg/m <sup>3</sup>
21	Kadar agregat halus	824	kg/m <sup>3</sup>
22	Kadar agregat kasar	822	kg/m <sup>3</sup>

Kebutuhan bahan-bahan campuran beton per-m<sup>3</sup> :

1	Air	205	liter
2	Semen	463	kg
3	Agregat halus (Pasir)	824	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	822	kg
	Total	2314	kg



## Lampiran 4 Laporan Hasil Pengujian UPV *Test*

### Hasil Pengujian UPV *Test*

Nama : Muhammad Arkam M  
 NIM : 19511060  
 Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia  
 Keperluan : Tugas Akhir

#### 1. Pengujian UPV *Test* $f'c$ 14,5 MPa

No.	Kode Benda Uji		Pengujian UPV Metode <i>Direct Transmission</i>					Nilai Rata-Rata
			1	2	3	4	5	
1.	BFA 1 - 1	m/s	4274	4286	4335	4310	4335	4308,00
2.	BFA 1 - 2	m/s	4292	4354	4354	4292	4304	4319,20
3.	BFA 1 - 3	m/s	4354	4323	4354	4386	4373	4358,00
4.	BFA 1 - 4	m/s	4292	4367	4310	4274	4292	4307,00
5.	BFA 1 - 5	m/s	4354	4399	4373	4399	4373	4379,60
6.	BFA 1 - 6	m/s	4471	4438	4471	4451	4451	4456,40
7.	BFA 1 - 7	m/s	4438	4471	4405	4464	4438	4443,20
8.	BFA 1 - 8	m/s	4280	4323	4323	4342	4335	4320,60
9.	BFA 1 - 9	m/s	4438	4451	4471	4532	4373	4453,00
10.	BFA 1 - 10	m/s	4438	4471	4405	4399	4418	4426,20
11.	BFA 1 - 11	m/s	4342	4373	4386	4386	4399	4377,20
12.	BFA 1 - 12	m/s	4438	4498	4405	4484	4518	4468,60
13.	BFA 1 - 13	m/s	4418	4418	4484	4386	4304	4402,00
14.	BFA 1 - 14	m/s	4451	4451	4518	4471	4518	4481,80
15.	BFA 1 - 15	m/s	4386	4405	4373	4405	4418	4397,40
Rata-Rata Total								4393,21

2. Pengujian UPV *Test f'c* 21 MPa

No.	Kode Benda Uji		Pengujian UPV Metode <i>Direct Transmission</i>					Nilai Rata-Rata
			1	2	3	4	5	
1.	BFA 2 - 1	m/s	4451	4518	4464	4451	4505	4477,80
2.	BFA 2 - 2	m/s	4608	4484	4552	4587	4451	4536,40
3.	BFA 2 - 3	m/s	4552	4484	4505	4518	4518	4515,40
4.	BFA 2 - 4	m/s	4552	4644	4637	4680	4644	4631,40
5.	BFA 2 - 5	m/s	4601	4622	4658	4573	4587	4608,20
6.	BFA 2 - 6	m/s	4464	4552	4498	4484	4451	4489,80
7.	BFA 2 - 7	m/s	4552	4539	4573	4587	4552	4560,60
8.	BFA 2 - 8	m/s	4532	4532	4518	4484	4471	4507,40
9.	BFA 2 - 9	m/s	4518	4552	4518	4418	4566	4514,40
10.	BFA 2 - 10	m/s	4637	4644	4601	4573	4637	4618,40
11.	BFA 2 - 11	m/s	4498	4484	4484	4451	4451	4473,60
12.	BFA 2 - 12	m/s	4552	4518	4484	4518	4518	4518,00
13.	BFA 2 - 13	m/s	4498	4464	4498	4431	4484	4475,00
14.	BFA 2 - 14	m/s	4484	4418	4405	4418	4354	4415,80
15.	BFA 2 - 15	m/s	4438	4418	4484	4464	4451	4451,00
Rata-Rata Total							4519,55	

3. Pengujian UPV *Test f'c* 25 MPa

No.	Kode Benda Uji		Pengujian UPV Metode <i>Direct Transmission</i>					Nilai Rata-Rata
			1	2	3	4	5	
1.	BFA 3 - 1	m/s	4532	4532	4552	4532	4484	4526,40
2.	BFA 3 - 2	m/s	4518	4431	4498	4484	4451	4476,40
3.	BFA 3 - 3	m/s	4552	4601	4573	4573	4552	4570,20
4.	BFA 3 - 4	m/s	4552	4608	4552	4608	4552	4574,40
5.	BFA 3 - 5	m/s	4622	4601	4622	4552	4552	4589,80
6.	BFA 3 - 6	m/s	4451	4518	4451	4498	4438	4471,20
7.	BFA 3 - 7	m/s	4552	4518	4587	4552	4518	4545,40
8.	BFA 3 - 8	m/s	4644	4622	4658	4622	4601	4629,40
9.	BFA 3 - 9	m/s	4622	4601	4622	4573	4622	4608,00
10.	BFA 3 - 10	m/s	4552	4573	4552	4552	4532	4552,20
11.	BFA 3 - 11	m/s	4532	4552	4505	4484	4532	4521,00
12.	BFA 3 - 12	m/s	4587	4573	4587	4552	4552	4570,20
13.	BFA 3 - 13	m/s	4622	4532	4539	4532	4552	4555,40
14.	BFA 3 - 14	m/s	4505	4552	4518	4518	4518	4522,20
15.	BFA 3 - 15	m/s	4601	4573	4601	4587	4587	4589,80
Rata-Rata Total								4533,47

4. Pengujian UPV *Test f'c* 30 MPa

No.	Kode Benda Uji		Pengujian UPV Metode <i>Direct Transmission</i>					Nilai Rata-Rata
			1	2	3	4	5	
1.	BFA 4 - 1	m/s	4695	4695	4695	4695	4732	4702,40
2.	BFA 4 - 2	m/s	4695	4622	4685	4637	4695	4666,80
3.	BFA 4 - 3	m/s	4673	4644	4622	4695	4622	4651,20
4.	BFA 4 - 4	m/s	4732	4717	4732	4754	4695	4726,00
5.	BFA 4 - 5	m/s	4769	4754	4832	4808	4769	4786,40
6.	BFA 4 - 6	m/s	4658	4754	4769	4680	4695	4711,20
7.	BFA 4 - 7	m/s	4658	4637	4637	4695	4658	4657,00
8.	BFA 4 - 8	m/s	4573	4601	4622	4587	4573	4591,20
9.	BFA 4 - 9	m/s	4552	4552	4573	4532	4587	4559,20
10.	BFA 4 - 10	m/s	4747	4695	4732	4754	4710	4727,60
11.	BFA 4 - 11	m/s	4451	4451	4484	4505	4464	4471,00
12.	BFA 4 - 12	m/s	4518	4518	4552	4566	4518	4534,40
13.	BFA 4 - 13	m/s	4622	4573	4658	4587	4587	4605,40
14.	BFA 4 - 14	m/s	4518	4532	4518	4566	4566	4540,00
15.	BFA 4 - 15	m/s	4518	4552	4601	4601	4573	4569,00
Rata-Rata Total								4633,25





## Lampiran 5 Laporan Hasil Pengujian *Hammer Test*

### Hasil Pengujian *Hammer Test*

Nama : Muhammad Arkam M  
 NIM : 19511060  
 Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia  
 Keperluan : Tugas Akhir

#### 1. Pengujian *Hammer Test* f'c 14,5 MPa

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
1	BFA 1 - 1	1	23.3	26.7
		2	22.6	28.1
		3	21.7	27.5
		4	22.4	24.6
		5	24.8	28.4
		6	18.8	26.1
		7	20.9	26.5
		8	23.1	28.5
		9	18.8	29.5
		10	20.9	26.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			21.73	27.28
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
2	BFA 1 - 2	1	23.3	28
		2	22.5	25.5
		3	24.6	26.2
		4	22.5	26.7
		5	22.8	25.4
		6	21.3	29.7
		7	24	29.1
		8	22.2	26.9
		9	22.8	28.9
		10	23.5	26.8
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			22.95	27.32
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
3	BFA 1 - 3	1	26.4	27.2
		2	25.5	23.8
		3	24.4	23.5
		4	25.5	22.8
		5	23.5	25.9
		6	26.4	24.6
		7	26.8	25.2
		8	24	24.3
		9	23.1	22.8
		10	23.2	21.6
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			24.88	24.17
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
4	BFA 1 - 4	1	23.8	26
		2	25.5	27.6
		3	26.6	26.5
		4	22.6	26.5
		5	24.2	25.5
		6	25.8	25.4
		7	23.3	22.9
		8	24.6	24.1
		9	24	25.4
		10	26	22.8
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			24.64	25.27
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
5	BFA 1 - 5	1	25.4	26.1
		2	25	27.9
		3	26	27.4
		4	24.3	26.1
		5	25.9	26.3
		6	24.9	28.5
		7	25.8	27.7
		8	26.7	29
		9	24.1	27.6
		10	27.1	28.1
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			25.52	27.47
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
6	BFA 1 - 6	1	23.9	24.9
		2	26.1	25.9
		3	24.4	25.4
		4	26.3	24.2
		5	26.5	23.5
		6	25.4	26.2
		7	25.3	24.1
		8	23.8	27.1
		9	24.1	26.1
		10	25.9	20.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			25.17	24.83
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
7	BFA 1 - 7	1	23.5	24.2
		2	21.9	24.3
		3	23.9	23.4
		4	22.8	22
		5	23.8	23.7
		6	22.2	22
		7	24.4	25.2
		8	23.2	25.1
		9	23.8	24.1
		10	29.2	23.4
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			23.87	23.74
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
8	BFA 1 - 8	1	26.3	26.9
		2	25.4	25.5
		3	24.5	21.1
		4	25.5	25.4
		5	23.9	22.2
		6	24.8	23.1
		7	23.4	23.5
		8	26.4	26.6
		9	26.3	26.5
		10	25.9	23.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			25.24	24.47
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
9	BFA 1 - 9	1	25.1	23.6
		2	23.4	24.2
		3	23.3	24.4
		4	25.8	22.6
		5	26	21.9
		6	25.6	24.5
		7	24.1	22.6
		8	26.4	24.4
		9	23.9	21.5
		10	27.3	22.6
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			25.09	23.23
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
10	BFA 1 - 10	1	25.1	22.5
		2	25.5	24.3
		3	27.5	28.5
		4	28.1	20.5
		5	23.6	24.5
		6	22	25.1
		7	24.4	20.7
		8	25.6	24.3
		9	25.5	23.5
		10	23.4	25.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			25.07	23.92
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
11	BFA 1 - 11	1	24.3	22.8
		2	24.9	20.4
		3	23.6	24.3
		4	23.2	23
		5	23.5	21
		6	21.5	21.6
		7	22.5	24.3
		8	25.1	23.5
		9	24	23.3
		10	24.3	25
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			23.69	22.92
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
12	BFA 1 - 12	1	22.9	24.1
		2	23.3	26.1
		3	22.2	22.9
		4	22.2	21.3
		5	22.1	22.5
		6	23.3	21.2
		7	21.8	25.3
		8	21.5	23.9
		9	21.2	23.5
		10	20.5	20.8
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			22.1	23.16
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

2. Pengujian *Hammer Test*  $f'_c$  21 MPa

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
1	BFA 2 - 1	1	24.3	26.1
		2	26.5	29.8
		3	26.5	27.3
		4	27.5	29.7
		5	26.7	27.5
		6	28.1	28.9
		7	28.1	29.1
		8	29.1	24.8
		9	24	27.6
		10	22	28.4
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.28	27.92
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
2	BFA 2 - 2	1	27.3	25.6
		2	25.4	28.3
		3	26.7	22.5
		4	26.3	28.4
		5	26.3	28.1
		6	26.4	24.9
		7	27.5	27.3
		8	26.3	26.1
		9	27.6	28.6
		10	24.3	26.4
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.41	26.62
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
3	BFA 2 - 3	1	28.2	28.8
		2	29	28.3
		3	22.9	26.5
		4	26.6	26.5
		5	24.4	27.2
		6	27.9	27.4
		7	25.1	27.4
		8	25.4	27.6
		9	21.5	27.8
		10	27.8	25.4
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			25.88	27.29
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
4	BFA 2 - 4	1	28.1	29.5
		2	27.7	26.5
		3	28.3	31.3
		4	23	28
		5	27.7	30
		6	27.6	24.6
		7	25.9	28.3
		8	27.4	29.3
		9	28.5	24
		10	27.4	29.8
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.16	28.13
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
5	BFA 2 - 5	1	22.5	24.8
		2	25.4	25.3
		3	25.8	28.8
		4	27.4	27.5
		5	23.2	26.3
		6	27	26.1
		7	28.8	26.2
		8	28.6	28.4
		9	23.8	28
		10	28.8	26.4
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.13	26.78
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
6	BFA 2 - 6	1	26.7	27.1
		2	26.8	28.7
		3	25.4	24.1
		4	26.1	28.3
		5	26.6	28.8
		6	27.6	27.8
		7	27.5	28.8
		8	22.9	28.7
		9	26.8	26.1
		10	28.7	26
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.51	27.44
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
7	BFA 2 - 7	1	25	29.8
		2	28.2	27.8
		3	28.3	27.3
		4	28	26.3
		5	27.1	26.4
		6	29.3	26.3
		7	26.6	27.9
		8	25.5	28.7
		9	26.1	26.7
		10	27.5	28.8
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.16	27.6
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
8	BFA 2 - 8	1	25.4	26.4
		2	28.3	29.1
		3	25.5	28
		4	27.9	27.4
		5	26.3	26
		6	27.1	27.1
		7	26.1	28.1
		8	28.4	26.3
		9	26.5	26.6
		10	28.9	28.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.04	27.33
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
9	BFA 2 - 9	1	22.8	26.4
		2	24.1	27.9
		3	25.4	24.2
		4	25.1	25.6
		5	25.4	27.2
		6	21.8	28
		7	26.3	24.1
		8	23.2	26.4
		9	23.2	27.9
		10	24.5	28.1
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			24.18	26.58
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
10	BFA 2 - 10	1	27.4	26.1
		2	27.4	28.3
		3	28.2	25.2
		4	26.4	25.6
		5	28.2	27.7
		6	26.3	26.7
		7	27	29.3
		8	27.7	27.7
		9	25.3	28.3
		10	27.1	28.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.1	27.32
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
11	BFA 2 - 11	1	29.5	25.5
		2	20.2	28.6
		3	29.9	26.3
		4	26.9	26.8
		5	27.4	26
		6	22.3	27.1
		7	27.7	27.1
		8	24.2	28.9
		9	27.1	23.9
		10	27.8	28.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.3	26.85
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
12	BFA 2 - 12	1	23.6	27.5
		2	23.9	29.2
		3	24.8	27
		4	25.2	27.6
		5	25	28.5
		6	25.9	26.8
		7	22	26.5
		8	23.7	29.7
		9	24.6	29.7
		10	24.6	29.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			24.33	28.18
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
13	BFA 2 - 13	1	21.7	27.9
		2	23.6	30.6
		3	23.1	29.6
		4	24.1	29.5
		5	25.1	27.8
		6	26	27
		7	23.6	27.9
		8	19.6	28.9
		9	20.8	29.8
		10	24.9	22.7
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			23.25	28.21
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
14	BFA 2 - 14	1	26.2	28.5
		2	26	24.4
		3	23.1	27.4
		4	22.2	23.1
		5	24.8	27.1
		6	28	28
		7	25.1	27.1
		8	23.6	27.1
		9	25.2	28.3
		10	22.7	33.2
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			24.69	27.42
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
15	BFA 2 - 15	1	21.5	26.7
		2	24.7	24.5
		3	23.8	29.6
		4	23.4	27
		5	28	25
		6	27.7	25.3
		7	28.8	33.5
		8	25.8	29.1
		9	22.7	35.7
		10	22.4	27.1
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			24.88	28.35
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

3. Pengujian *Hammer Test*  $f'_c$  25 MPa

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
1	BFA 3 - 1	1	27.2	29.8
		2	30.2	28.6
		3	27.5	27.2
		4	24.9	30.8
		5	28.4	29.5
		6	29.7	29.3
		7	27.6	25
		8	28.7	25.9
		9	27.9	31
		10	32.1	29.7
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			28.42	28.68
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
2	BFA 3 - 2	1	28.6	25.6
		2	24.6	24.7
		3	26.9	24.3
		4	23.8	29.4
		5	29.9	26.6
		6	24.5	28.7
		7	27.1	24.2
		8	29.9	26.6
		9	23.9	24.8
		10	27.7	25.2
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.69	26.01
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
3	BFA 3 - 3	1	28.9	28.2
		2	28.4	26.1
		3	29.5	27.1
		4	25.5	28.4
		5	26.7	29.1
		6	27.7	28.3
		7	28.1	27.1
		8	26.3	28.4
		9	26.4	29.4
		10	29.3	28.6
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.68	28.07
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
4	BFA 3 - 4	1	23.4	28.4
		2	28.4	24.8
		3	26.1	27.9
		4	27.9	25.8
		5	28.5	30.5
		6	23.2	28.4
		7	24.1	27.5
		8	25.1	27.8
		9	27.5	30.8
		10	28.2	29.1
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.24	28.1
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				



No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
5	BFA 3 - 5	1	29.8	30.7
		2	28.4	31.3
		3	26.6	31.1
		4	28.9	32
		5	29.6	29.5
		6	29.3	29.3
		7	29.4	29.2
		8	29.8	29.6
		9	30.2	31.1
		10	29.7	30.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			29.17	30.47
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
6	BFA 3 - 6	1	23.7	23
		2	25.8	28.4
		3	28.3	30.5
		4	27	25.3
		5	25.6	30.3
		6	25.5	27.2
		7	29	27.8
		8	25.6	24.9
		9	23	26.1
		10	23.5	25.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			25.7	26.94
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
7	BFA 3 - 7	1	24.8	34.1
		2	29.5	32.7
		3	23.6	33.9
		4	26.4	30.8
		5	26.6	31.9
		6	25.8	31.9
		7	21.4	35.2
		8	27.5	32.3
		9	23.5	31.2
		10	22.1	33.1
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			25.12	32.71
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
8	BFA 3 - 8	1	25.2	25.1
		2	26.4	29.1
		3	28.8	27.8
		4	30.4	28.9
		5	29	29.6
		6	27.1	29.7
		7	30.5	30
		8	30.5	24.4
		9	29.3	30.7
		10	27.9	24.8
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			28.51	28.01
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
9	BFA 3 - 9	1	24.7	25.4
		2	26.8	27.1
		3	24.7	26.8
		4	27.7	28
		5	24.2	24.5
		6	28.1	25.3
		7	28.9	25.5
		8	23.7	25.9
		9	24.8	27.2
		10	27.4	23.6
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.1	25.93
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
10	BFA 3 - 10	1	25.8	24.1
		2	25.7	28.7
		3	28	28.3
		4	27.2	30.6
		5	28.1	26.2
		6	25.7	26.8
		7	26.8	29.6
		8	30.2	29.6
		9	25.8	31
		10	27.5	30.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.08	28.58
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
11	BFA 3 - 11	1	29.5	29
		2	27.4	25.3
		3	25.7	29.7
		4	25.6	28
		5	27.5	26
		6	25.3	30.1
		7	28	28.3
		8	28.9	24.2
		9	26.2	29
		10	26	25
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.01	27.46
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
12	BFA 3 - 12	1	29.9	32.1
		2	25.8	26
		3	27.4	29
		4	24.1	29
		5	27.9	26
		6	27.6	25
		7	29.1	25.4
		8	30.4	26.2
		9	24.4	26.5
		10	27.1	24.4
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.37	26.96
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
13	BFA 3 - 13	1	29.1	29.2
		2	30.4	30.4
		3	27.8	31.2
		4	27.2	30.9
		5	31.9	31.1
		6	27.4	33.7
		7	28.1	32.2
		8	27.8	31.1
		9	25.6	32.4
		10	25.5	29.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			28.08	31.15
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
14	BFA 3 - 14	1	26.6	26.6
		2	29.1	29.3
		3	27.7	29
		4	26.3	28.55
		5	28.1	25.1
		6	27.5	26.4
		7	27	27.5
		8	28.4	24.5
		9	29.4	24.9
		10	26.7	27.2
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.68	26.91
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
15	BFA 3 - 15	1	29	30
		2	27.8	24
		3	24.5	23.4
		4	27	26.2
		5	27.4	29.6
		6	25.6	27.8
		7	23.4	29.3
		8	25.5	26.1
		9	28.7	28.2
		10	27.2	26.8
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.61	27.14
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

#### 4. Pengujian *Hammer Test* $f'_c$ 30 MPa

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
1	BFA 4 - 1	1	30.1	29.1
		2	28.3	28.4
		3	27.6	30.2
		4	29.4	31.4
		5	26.4	32.2
		6	25.8	27.4
		7	30	29.2
		8	28	30.3
		9	28.2	28.4
		10	26.3	28.7
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			28.01	29.53
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
2	BFA 4 - 2	1	29.8	26.8
		2	25.8	27.1
		3	26.7	25
		4	25.9	30.9
		5	24.6	26
		6	27	30
		7	27.3	30
		8	26.2	30.8
		9	33.4	30.6
		10	25.9	27.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			27.26	28.45
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
3	BFA 3 - 3	1	30.5	33.2
		2	31.4	31.6
		3	29.3	33.2
		4	28.7	29.5
		5	29.6	36.1
		6	27.5	29.7
		7	29.2	28.3
		8	27.5	33
		9	32.9	33.4
		10	30.3	34.2
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			29.69	32.22
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
4	BFA 3 - 4	1	30.3	30.7
		2	33.5	31.7
		3	32.7	26.8
		4	32.1	34.4
		5	32.3	31.6
		6	31.5	31.4
		7	30.4	33.2
		8	32.7	30.9
		9	29.4	32.3
		10	34.8	33.2
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			31.97	31.62
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
5	BFA 4 - 5	1	32.4	28.4
		2	31.4	30.7
		3	29.6	32.1
		4	27	27.7
		5	30.5	33.5
		6	31.3	32.9
		7	26.5	32.1
		8	31.1	34.3
		9	27.5	32.6
		10	31	33.2
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			29.83	31.75
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
6	BFA 4 - 6	1	29.7	30.1
		2	28.3	25.7
		3	26.6	29.8
		4	25.8	26.5
		5	28	30.3
		6	27.1	31
		7	26.4	30
		8	25.2	28.9
		9	24.2	27.7
		10	24.9	28.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.62	28.89
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
7	BFA 4 - 7	1	30	35.9
		2	28.4	34.4
		3	29.4	34.3
		4	30.7	30.1
		5	31	30.5
		6	31	32.6
		7	28.1	31.8
		8	30.4	34
		9	30.4	28.8
		10	29.6	28.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			29.9	32.13
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
8	BFA 4 - 8	1	27.6	30.9
		2	30.6	33.7
		3	27.9	31.6
		4	30	30.8
		5	27.6	30.9
		6	28.6	29.6
		7	28.8	29.9
		8	27.2	25.5
		9	30.6	33.5
		10	27.5	33.1
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			28.64	30.95
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
9	BFA 4 - 9	1	30.3	29.5
		2	27	29.3
		3	26.4	28.4
		4	27.4	28.2
		5	26.4	27.6
		6	26.8	28.7
		7	27.8	28.6
		8	26.7	30.8
		9	28.3	27.6
		10	35	28
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			28.21	28.67
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
10	BFA 4 - 10	1	30.5	31
		2	29.9	29.1
		3	31	31.7
		4	31.3	34.6
		5	30	34.5
		6	31.8	32.5
		7	30.7	30.6
		8	26.7	31.4
		9	32.3	33.2
		10	28.7	27.1
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			30.29	31.57
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
11	BFA 4 - 11	1	27.3	31.3
		2	30	30.4
		3	28	29.6
		4	24.4	27.8
		5	28.5	27.6
		6	27.4	31
		7	29.8	29.8
		8	28.4	30.9
		9	29.1	29.3
		10	27.8	31.4
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			28.07	29.91
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
12	BFA 4 - 12	1	30.2	30.6
		2	25.9	31.7
		3	25.9	29.9
		4	24.5	27.6
		5	27.3	30.4
		6	28.1	32.2
		7	23.6	28.5
		8	28.9	26.9
		9	24.1	28.7
		10	28.1	30.9
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)			26.66	29.74
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
13	BFA 4 - 13	1	28.5	30.1
		2	26.7	29.2
		3	26	30.1
		4	29.5	30.4
		5	27.7	28.1
		6	28.9	29.8
		7	27.9	31.8
		8	28	29.3
		9	28.6	29.1
		10	29.7	31.2
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)		28.15	29.91	
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
14	BFA 4 - 14	1	23.4	28.6
		2	24.5	30.3
		3	25.2	28.7
		4	24.8	30.9
		5	25.4	29.2
		6	24.3	28.4
		7	26.3	28.9
		8	27.2	29.9
		9	24.3	28.3
		10	26.9	34.2
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)		25.23	29.74	
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
15	BFA 4 - 15	1	27.2	29.1
		2	26.3	28.2
		3	28.2	28.7
		4	29.1	26.5
		5	30.1	27.7
		6	28	26.5
		7	26.5	29.4
		8	27.4	28.7
		9	30.2	27.5
		10	29.1	29.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)		28.21	28.16	
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
13	BFA 1 - 13	1	22.3	22.4
		2	23.3	21.2
		3	22.1	20.9
		4	20.2	22.5
		5	20.7	24.1
		6	21.5	23.7
		7	21.5	23.2
		8	22.2	22.3
		9	21.6	24.5
		10	20.9	23.1
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)		21.63	22.79	
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
14	BFA 1 - 14	1	26.6	24.7
		2	26.8	23.4
		3	27.6	25.4
		4	24.9	23.5
		5	27.3	24.6
		6	28	25.2
		7	26.9	25
		8	26.7	26.3
		9	26.5	24.1
		10	26.2	28.3
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)		26.75	25.05	
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				

No	Kode Benda Uji	Posisi Titik	Nilai Rebound	
			Posisi	
			B	C
15	BFA 1 - 15	1	27.7	21.4
		2	27.2	20.2
		3	28.5	22.8
		4	26.2	23.9
		5	23.9	20.5
		6	26.9	24.1
		7	27.5	26.2
		8	26.5	23.4
		9	27	22.9
		10	26.9	23.6
R (Minimum)				
R (Maksimum)				
R (Rata-rata)		26.83	22.9	
Perkiraan Nilai Kuat Tekan				



## Lampiran 6 Laporan Hasil Pengujian *Compression Test*

### Hasil Pengujian *Compression Test*

Nama : Muhammad Arkam M  
 NIM : 19511060  
 Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia  
 Keperluan : Tugas Akhir

#### 1. Pengujian *Compression Test* $f'_c$ 14,5 MPa

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat (kg)	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi (cm)	Diameter (cm)			MPa	kN
1.	BFA 1 - 1	30	15	12,38	28	17,43	307,94
2.	BFA 1 - 2	30	15	12,52	28	15,93	281,56
3.	BFA 1 - 3	30	15	12,73	28	19,32	341,42
4.	BFA 1 - 4	30	15	12,55	28	18,24	334,70
5.	BFA 1 - 5	29,8	15	12,40	28	19,35	341,91
6.	BFA 1 - 6	29,8	15	12,27	28	16,46	290,83
7.	BFA 1 - 7	30	15	12,48	28	22,98	406,16
8.	BFA 1 - 8	30	15	12,41	28	20,90	369,27
9.	BFA 1 - 9	30	14,9	12,40	28	21,82	385,65
10.	BFA 1 - 10	30	14,9	12,46	28	20,13	355,69
11.	BFA 1 - 11	30	15	12,63	28	21,87	386,47
12.	BFA 1 - 12	29,9	14,9	12,17	28	20,34	359,36
13.	BFA 1 - 13	30	14,9	12,46	28	21,37	371,63
14.	BFA 1 - 14	30	15	12,55	28	15,43	275,93
15.	BFA 1 - 15	30	15	12,55	28	20,06	354,39
Nilai Rata-Rata Total						19,44	344,19



2. Pengujian *Compression Test*  $f'_c$  21 MPa

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi	Diameter			MPa	kN
		(cm)	(cm)	(kg)			
1.	BFA 2 - 1	30	15	12,70	28	25,62	452,77
2.	BFA 2 - 2	29,8	15	12,13	28	23,07	407,67
3.	BFA 2 - 3	30	15	12,34	28	26,22	463,26
4.	BFA 2 - 4	30	15	12,43	28	25,74	454,81
5.	BFA 2 - 5	30	14,8	12,48	28	22,41	395,94
6.	BFA 2 - 6	30	14,8	12,33	28	22,85	403,73
7.	BFA 2 - 7	30	14,9	12,48	28	26,46	467,50
8.	BFA 2 - 8	30	15	12,74	28	26,64	470,80
9.	BFA 2 - 9	29,9	15	12,44	28	23,66	418,56
10.	BFA 2 - 10	30	15	12,51	28	23,65	418,56
11.	BFA 2 - 11	30	15	12,51	28	24,66	435,81
12.	BFA 2 - 12	30	15	12,55	28	25,46	449,87
13.	BFA 2 - 13	30	15	12,44	28	25,42	449,70
14.	BFA 2 - 14	30	14,9	12,76	28	22,10	390,41
15.	BFA 2 - 15	29,9	14,9	12,43	28	25,96	454,06
Nilai Rata-Rata Total						24,66	435,56

3. Pengujian *Compression Test*  $f'_c$  25 MPa

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi	Diameter			MPa	kN
		(cm)	(cm)	(kg)			
1.	BFA 3 - 1	30	14,9	12,56	28	28,88	510,37
2.	BFA 3 - 2	30	14,9	12,41	28	28,76	506,16
3.	BFA 3 - 3	29,9	15	12,65	28	23,36	412,88
4.	BFA 3 - 4	30	14,8	12,28	28	30,00	530,13
5.	BFA 3 - 5	30	15	12,62	28	25,69	453,90
6.	BFA 3 - 6	30	15	12,69	28	29,21	516,20
7.	BFA 3 - 7	30	15	12,55	28	28,55	504,61
8.	BFA 3 - 8	30	15	12,42	28	28,18	497,98
9.	BFA 3 - 9	30	14,8	12,48	28	22,41	395,94
10.	BFA 3 - 10	30	15	12,48	28	27,79	491,15
11.	BFA 3 - 11	30	15	12,64	28	26,05	460,38
12.	BFA 3 - 12	30	15	12,54	28	27,07	478,37
13.	BFA 3 - 13	30	15	12,63	28	28,49	503,36
14.	BFA 3 - 14	30	15	12,48	28	28,38	501,54
15.	BFA 3 - 15	30	14,9	12,58	28	28,32	500,48
Nilai Rata-Rata Total						27,41	484,23

4. Pengujian *Compression Test*  $f'_c$  30 MPa

No.	Kode Benda Uji	Ukuran		Berat	Umur	Nilai Kuat Tekan	
		Tinggi	Diameter			MPa	kN
		(cm)	(cm)	(kg)			
1.	BFA 4 - 1	30	14,9	12,67	28	28,71	507,42
2.	BFA 4 - 2	30	15	12,53	28	32,70	577,79
3.	BFA 4 - 3	30	15	12,57	28	30,31	533,80
4.	BFA 4 - 4	30	14,8	12,46	28	31,52	556,94
5.	BFA 4 - 5	30	15	12,49	28	29,34	519,29
6.	BFA 4 - 6	30	14,8	12,47	28	31,10	549,52
7.	BFA 4 - 7	30	14,9	12,53	28	35,10	620,29
8.	BFA 4 - 8	30	14,8	12,50	28	39,63	700,38
9.	BFA 4 - 9	30	15	12,48	28	32,35	571,75
10.	BFA 4 - 10	30	14,8	12,73	28	32,27	570,22
11.	BFA 4 - 11	30	15	12,65	28	33,83	597,87
12.	BFA 4 - 12	30	15	12,59	28	31,43	555,47
13.	BFA 4 - 13	30	15	12,57	28	31,90	563,69
14.	BFA 4 - 14	30	15	12,68	28	31,18	550,93
15.	BFA 4 - 15	30	15	12,44	28	30,89	540,32
Nilai Rata-Rata Total						32,15	567,71

## Lampiran 7 Dokumentasi Pengujian



**Gambar L-7.1** Persiapan Pengujian *UPV Test*



**Gambar L-7.2** Proses Pengujian *UPV Test*



**Gambar L-7.3 Penjepitan Benda Uji Menggunakan Clem F**



**Gambar L-7.4 Proses Pengujian *Hammer Test***



**Gambar L-7.5** Proses Pembuatan *Caping* Beton



**Gambar L-7.6** Proses Pengujian *Compression Test*

## Lampiran 8 Surat Keterangan Bebas Plagiasi



Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia  
Gedung Moh. Hatta  
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext.2301  
F. (0274) 898444 psw.2091  
E. perpustakaan@uii.ac.id  
W. library.uui.ac.id

### SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 2220352481/Perpus./10/Dir.Perpus/IX/2023

*Bismillaahirrahmaanirrahiim*

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : MUHAMMAD ARKAM MUSSADAT  
Nomor Mahasiswa : 19511060  
Pembimbing : Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.  
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ TEKNIK SIPIL  
Judul Karya Ilmiah : KORELASI ANTARA HASIL PENGUJIAN HAMMER DAN UPV  
DENGAN HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON FLY ASH  
MUTU SEDANG

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **10 (Sepuluh) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 11/7/2023

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.