

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI SILICA  
FUME TERHADAP KEKUATAN LENTUR DAN  
KORELASI KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC  
PULSE VELOCITY PADA *THIN BED* MORTAR SLAG  
YANG DIAKTIFKAN OLEH MAGNESIUM OKSIDA**



**CHRISTIANO BENEDICTUS TJAHDADI  
NPM: 6102001167**

**PEMBIMBING: Herry Suryadi, Ph.D.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI SILICA  
FUME TERHADAP KEKUATAN LENTUR DAN  
KORELASI KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC  
PULSE VELOCITY PADA *THIN BED* MORTAR SLAG  
YANG DIAKTIFKAN OLEH MAGNESIUM OKSIDA**



**CHRISTIANO BENNEDICTUS TJAHHADI  
NPM: 6102001167**

**BANDUNG, 24 JULI 2024**

**PEMBIMBING:**



**Herry Suryadi, Ph.D.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

## SKRIPSI

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI SILICA FUME TERHADAP KEKUATAN LENTUR DAN KORELASI KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA *THIN BED* MORTAR SLAG YANG DIAKTIFKAN OLEH MAGNESIUM OKSIDA



**CHRISTIANO BENNEDICTUS TJAHHADI**  
NPM: 6102001167

**PEMBIMBING:** Herry Suryadi, Ph.D.

**PENGUJI 1:** Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

**PENGUJI 2:** Nenny Samudra. Ir., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
**BANDUNG**  
**JULI 2024**

# LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Christiano Benedictus Tjahjadi

NPM : 6102001167

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis~~ / ~~disertasi~~ <sup>\*)</sup> dengan judul:

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI SILICA FUME TERHADAP KEKUATAN LENTUR DAN KORELASI KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA THIN BED MORTAR SLAG YANG DIAKTIFKAN OLEH MAGNESIUM OKSIDA

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 8 Juli 2024



Christiano Benedictus Tjahjadi

---

\*) coret yang tidak perlu

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI SILICA FUME TERHADAP KEKUATAN LENTUR DAN KORELASI KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA *THIN BED* MORTAR SLAG YANG DIAKTIFKAN OLEH MAGNESIUM OKSIDA

CHRISTIANO BENNEDICTUS TJAHHADI  
NPM: 6102001167

Pembimbing: Herry Suryadi, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)

BANDUNG  
JULI 2024

ABSTRAK

Dengan meningkatnya jumlah penduduk Indoensia setiap tahunnya membuat peningkatan dalam pembangunan infrastruktur. Pembangunan infrastruktur secara umum meliputi material seperti mortar. Bahan perekat yang umum digunakan mortar merupakan semen, tetapi produksi semen menjadi penyumbang emisi karbon dioksida sebesar 8% di dunia. Oleh karena itu, digunakan material alternatif yang lebih ramah lingkungan yaitu *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) dan *silica fume*. GGBFS mempunyai waktu hidrasi awal yang lambat, sehingga membutuhkan suatu aktivator alkali yang dapat mempercepat proses itu, seperti magnesium oksida. Studi eksperimental ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi *silica fume* dalam *thin bed* mortar slag yang diaktifkan oleh MgO terhadap kekuatan lentur dan korelasi kekuatan tekan dan *ultrasonic pulse velocity*. Pengujian ini dilakukan pada umur mortar 7; 14; 28; dan 56 hari dengan kadar variasi *silica fume* sebesar 5%; 10%; 15%; dan 20% terhadap *binder*, menggunakan rasio *water to binder* sebesar 0,45, dan kadar MgO sebesar 7,5% sebagai aktivator slag. Hasil pengujian menunjukkan pada hari ke-56 nilai kekuatan lentur secara berurutan pada variasi *silica fume* 5%; 10%; 15%; dan 20% sebesar 1,65 MPa; 1,65 MPa; 1,24 MPa; dan 1,47 MPa, untuk pengujian tekan sebesar 2,88 MPa; 3,66 MPa; 2,18 MPa; dan 2,31 MPa, dan untuk pengujian UPV sebesar 2004,09 m/s; 2009,16 m/s; 1769,44 m/s; dan 1785,46 m/s. Berdasarkan hasil pengujian juga mendapatkan bahwa pada umur benda uji ke-56 hari, kadar *silica fume* yang optimum merupakan 10% untuk mendapatkan nilai kekuatan tekan, lentur, dan UPV tertinggi.

**Kata Kunci:** *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS), kekuatan lentur, Magnesium Oksida, *Silica Fume*, *Ultrasonic pulse velocity*.

# **EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF SILICA FUME VARIATION ON THE FLEXURAL STRENGTH AND CORRELATION BETWEEN COMPRESSIVE STRENGTH AND ULTRASONIC PULSE VELOCITY OF MAGNESIUM OXIDE ACTIVATED THIN BED SLAG MORTAR**

**CHRISTIANO BENEDICTUS TIAHJADI**  
**NPM: 6102001167**

**Advisor: Herry Suryadi, Ph.D.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**  
**BACHELOR PROGRAM**

**(Accredited by SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)**

**BANDUNG**  
**JULI 2024**

## **ABSTRACT**

With the increasing population in Indonesia every year, there is a need for infrastructure development. Infrastructure development generally includes materials such as mortar. The commonly used binding material in mortar is cement, but cement production contributes to 8% of the world's carbon dioxide emissions. Therefore, alternative materials that are more environmentally friendly, such as Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) and silica fume, are being utilized. GGBFS has a slow initial hydration time and requires an alkali activator to accelerate the process, such as magnesium oxide. This experimental study was conducted to determine the effect of varying silica fume content in thin bed mortar slag activated by MgO on flexural strength and the correlation between compressive strength and ultrasonic pulse velocity. The tests were conducted at mortar ages of 7, 14, 28, and 56 days with silica fume content variations of 5%, 10%, 15%, and 20% relative to the binder, using a water-to-binder ratio of 0.45, and 7.5% MgO as the slag activator. The test results showed that on day 56, the flexural strength values for silica fume variations of 5%, 10%, 15%, and 20% were 1.65 MPa, 1.65 MPa, 1.24 MPa, and 1.47 MPa, the compressive strength tests yielded values of 2.88 MPa, 3.66 MPa, 2.18 MPa, and 2.31 MPa, and the ultrasonic pulse velocity tests resulted in values of 2004.09 m/s, 2009.16 m/s, 1769.44 m/s, and 1785.46 m/s. Based on the test results, it was found that at a specimen age of 56 days, the optimum silica fume content was 10% to achieve the highest compressive strength, flexural strength, and UPV values.

**Keywords:** Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), Flexural strength, Magnesium Oxide, Silica Fume, ultrasonic pulse velocity.



## PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, perlindungan, dan penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI SILICA FUME TERHADAP KEKUATAN LENTUR DAN KORELASI KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA *THIN BED* MORTAR SLAG YANG DIAKTIFKAN OLEH MAGNESIUM OKSIDA” dengan baik dan tepat waktu

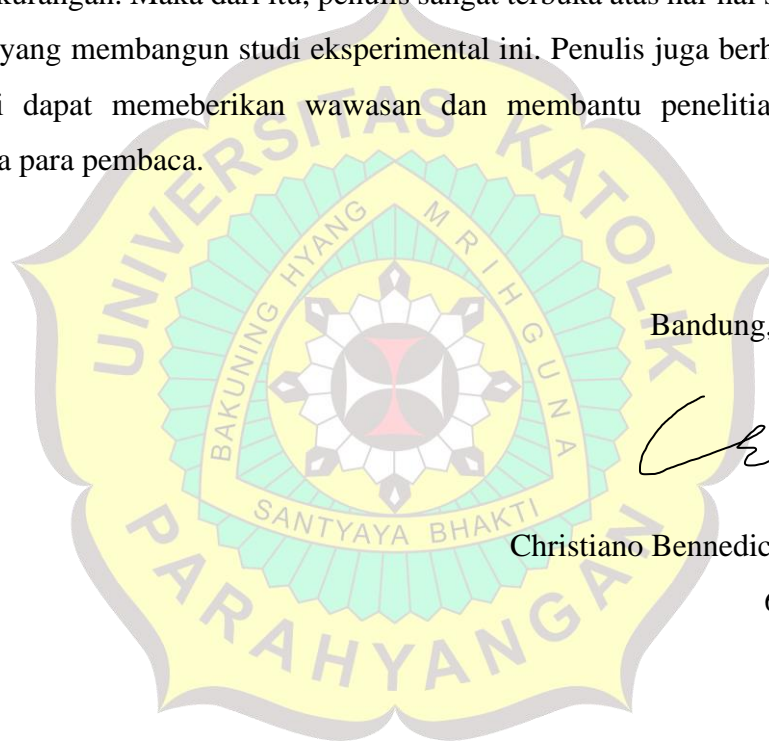
Penulis sadar bahwa penyusunan skripsi ini berjalan dengan lancar tidak terlepas dari dukungan, bantuan, saran, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin memebrikan rasa terimakasih sebesar-besarnya dan sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam proses penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Tuhan yang Maha Esa atas segala berkat, hikmat, perlindungan, dan penyertaan-Nya yang diberikan kepada penulis
2. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan saran, arahan, wawasan, bimbingan, serta waktunya selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T. dan Bapak Markus Didi G. Yang telah memberikan wawasan, arahan, dan saran selama proses eksperimen pengerjaan skripsi ini.
4. Alya Aurellia Putri Ryan, selaku rekan seperjuangan mulai dari mempersiapkan material, membuat benda uji, hingga proses pengujian benda uji serta memberikan dorongan dan membantu penulis selama proses eksperimen dan pengerjaan skripsi ini.
5. Keluarga Penulis yang selalu mendoakan yang terbaik selama proses pengerjaan skripsi ini.
6. Tim penghuni lab yaitu Alditio Manalu, Christian Vieri, Kendra Nathanael, Fioni Citra Effendi, Alfando Santosa, dan Kelvin Hassanudin

selaku teman persejuangan yang telah membantu proses pengerjaan skripsi ini.

7. AOG 48 yaitu Graciella Angelica, Rayhan Reynaldi, Christian Vieri, dan Gabriel Imanuel yang selalu mendoakan hasil yang terbaik dan memberikan semangat yang penuh selama proses pengerjaan skripsi ini.
8. Teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat dapat ditulis satu per satu yang telah membantu penulis selama proses pengerjaan skripsi ini.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan. Maka dari itu, penulis sangat terbuka atas hal-hal seperti saran dan kritik yang membangun studi eksperimental ini. Penulis juga berharap bahwa skripsi ini dapat memeberikan wawasan dan membantu penelitian-penelitian selanjutnya para pembaca.



Bandung, 5 Juli 2024

Christiano Benedictus Tjahjadi

6102001167



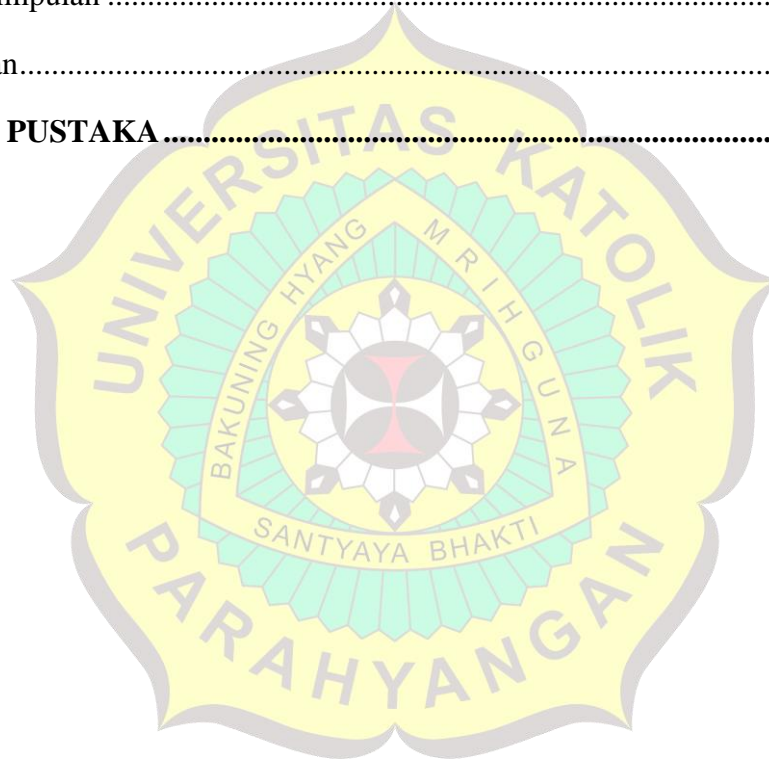
# DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Inti Permasalahan .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Pembatasan Masalah .....	3
1.5 Metode Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
1.7 Diagram Alir .....	6
<b>BAB 2 DASAR TEORI</b> .....	<b>8</b>
2.1 Mortar.....	8
2.2 Mortar <i>Thin Bed</i> .....	9
2.3 Material Campuran <i>Thin Bed</i> Mortar Slag.....	9
2.3.1 Agregat Halus.....	9
2.3.2 <i>Ground Granulated Blast Furnance Slag</i> (GGBFS) .....	10

2.3.3 Magnesium Oksida (MgO) .....	10
2.3.4 <i>Silica Fume</i> (SF) .....	11
2.3.5 Air .....	11
2.3.6 <i>Superplasticizer</i> (SP).....	12
2.4 Uji Flowability .....	12
2.5 Perencanaan Mix Design .....	13
2.6 Uji Kekuatan Lentur.....	16
2.7 Uji Kekuatan Tekan .....	16
2.8 Uji <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	17
2.9 Hubungan Kuat Tekan dengan UPV.....	18
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
3.1 Material Penyusun Campuran Mortar.....	19
3.1.1 Agregat Halus.....	19
3.1.2 <i>Ground Granulated Blast Furnance Slag</i> (GGBFS) .....	19
3.1.3 Magnesium Oksida (MgO) .....	20
3.1.4 <i>Silica Fume</i> (SF) .....	20
3.1.5 Air .....	21
3.1.6 <i>Superplasticizer</i> .....	21
3.2 Pengujian Material Campuran Mortar .....	22
3.2.1 Pengujian <i>Spesific Gravity</i> GGBFS dan MgO.....	22
3.2.2 Pengujian <i>Spesific Gravity Silica Fume</i> .....	23
3.2.3 Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....	25
3.2.4 Pengujian Absorpsi Agregat Halus .....	26
3.2.5 Pengujian <i>Finess Modulus</i> Agregat Halus .....	26
3.3 Komposisi Campuran Mortar.....	29
3.4 Pembuatan Benda Uji Mortar.....	30

3.5 Pengujian <i>Flowability</i> Mortar .....	31
3.6 Perawatan Benda Uji Mortar.....	33
3.7 Pengujian Kekuatan Lentur Mortar.....	33
3.8 Pengujian Kekuatan Tekan Mortar .....	34
3.9 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Mortar .....	35
<b>BAB 4 ANALISIS DATA .....</b>	<b>37</b>
4.1 Analisis <i>Flowability</i> Campuran Mortar Segar .....	37
4.2 Analisis Pengujian Kekuatan Lentur Mortar.....	39
4.2.1 Kekuatan Lentur Mortar SF 5% .....	39
4.2.2 Kekuatan Lentur Mortar SF 10% .....	41
4.2.3 Kekuatan Lentur Mortar SF 15% .....	42
4.2.4 Kekuatan Lentur Mortar SF 20% .....	43
4.2.5 Perbandingan Hasil Uji Kekuatan Lentur Antar Variasi.....	45
4.3 Analisis Pengujian Kekuatan Tekan Mortar .....	46
4.3.1 Kekuatan Tekan Mortar SF 5% .....	46
4.3.2 Kekuatan Tekan Mortar SF 10% .....	48
4.3.3 Kekuatan Tekan Mortar SF 15% .....	49
4.3.4 Kekuatan Tekan Mortar SF 20% .....	51
4.3.5 Perbandingan Hasil Uji Kekuatan Tekan Antar Variasi .....	52
4.4 Analisis Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Mortar .....	53
4.4.1 UPV Mortar SF 5% .....	54
4.4.2 UPV Mortar SF 10% .....	55
4.4.3 UPV Mortar SF 15% .....	56
4.4.4 UPV Mortar SF 20% .....	58
4.4.5 Perbandingan Hasil UPV Antar Variasi.....	59
4.5 Analisis Hubungan Kuat Tekan dengan UPV .....	60

4.5.1 Analisis Hubungan Kuat Tekan dengan UPV Mortar 5% .....	61
4.5.2 Analisis Hubungan Kuat Tekan dengan UPV Mortar 10% .....	61
4.5.3 Analisis Hubungan Kuat Tekan dengan UPV Mortar 15% .....	62
4.5.4 Analisis Hubungan Kuat Tekan dengan UPV Mortar 20% .....	63
4.6 Analisis Perkembangan UPV Mortar.....	63
4.7 Perbandingan Kekuatan Lentur dengan Kekuatan Tarik Belah Mortar.....	68
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>70</b>
5.1 Kesimpulan .....	70
5.2 Saran.....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>72</b>



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$D_0$	: Diameter flow awal [mm]
$D_{avg}$	: Rata-rata diameter flow akhir [mm]
$M_a$	: Massa Labu + Minyak Tanah [g]
$M_b$	: Massa Labu + Minyak Tanah + GGBFS/MgO [g]
$V_{fa}$	: Volume Agregat Halus [m <sup>3</sup> ]
$V_{ggbfs}$	: Volume <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i> [m <sup>3</sup> ]
$V_{mgo}$	: Volume Magnesium Oksida [m <sup>3</sup> ]
$V_{sf}$	: Volume <i>Silica Fume</i> [m <sup>3</sup> ]
$V_w$	: Volume Air [m <sup>3</sup> ]
$W_{OD}$	: Massa Agregat Halus Kondisi OD [g]
$W_{PA}$	: Massa <i>Piknometer</i> + Air [g]
$W_{PFW}$	: Massa <i>Piknometer</i> + Agregat Halus + Air [g]
$W_{SSD}$	: Massa Agregat Halus Kondisi SSD [g]
$W_a$	: Massa <i>Piknometer</i> + <i>Silica Fume</i> [g]
$W_f$	: Massa <i>Piknometer</i> [g]
$W_{ggbfs}$	: Massa <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i> [kg]
$W_{mgo}$	: Massa Magnesium Oksida [kg]
$W_s$	: Massa <i>Piknometer</i> + <i>Silica Fume</i> + air [g]
$W_{sf}$	: Massa <i>Silica Fume</i> [kg]
$W_t$	: Massa <i>Piknometer</i> + air [g]
$W_w$	: Massa Air [kg]
$f_m$	: Kekuatan Tekan [MPa]
$f_r$	: Kekuatan Lentur [MPa]
$\rho_{fa}$	: Massa Jenis Agregat Halus [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{fa}$	: Massa Jenis Agregat Halus [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{ggbfs}$	: Massa Jenis <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i> [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{mgo}$	: Massa Jenis Magnesium Oksida [kg/m <sup>3</sup> ]

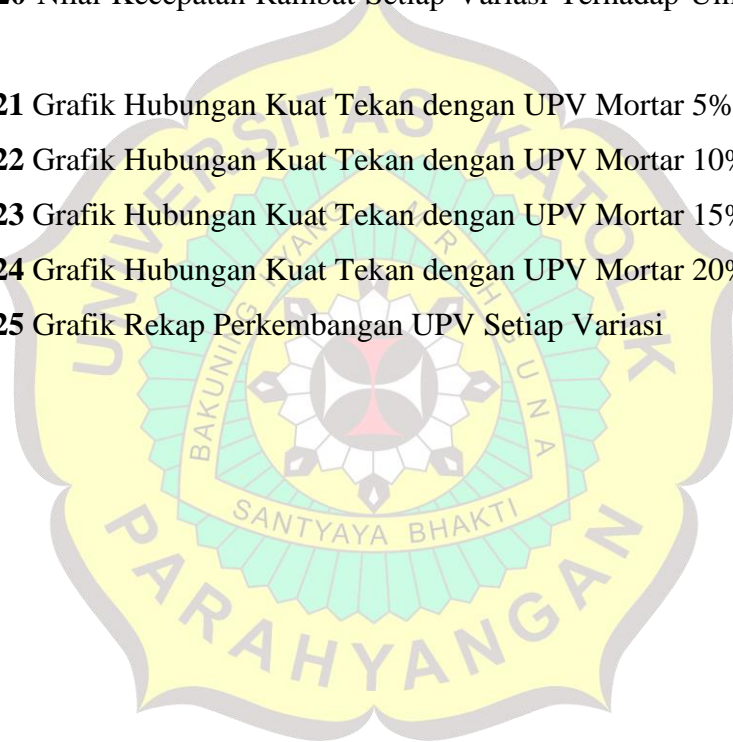
$\rho_{sf}$	: Massa Jenis <i>Silica Fume</i> [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	: Massa Jenis Air [kg/m <sup>3</sup> ]
$\Sigma$ Berat Tertahan:	Berat Tertahan Kumulatif [%]
ACI	: <i>American Concrete Institute</i>
ASTM	: <i>American Society of Testing Materials</i>
PUNDIT	: <i>Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester</i>
SF	: <i>Silica Fume</i>
SF-10	: <i>Silica Fume</i> dengan konsentrasi 10%
SF-15	: <i>Silica Fume</i> dengan konsentrasi 15%
SF-20	: <i>Silica Fume</i> dengan konsentrasi 20%
SF-5	: <i>Silica Fume</i> dengan konsentrasi 5%
SNI	: Standar Nasional Indonesia
UTM	: <i>Universal Testing Machine</i>
$A$	: Luas Bidang Tertekan [mm <sup>2</sup> ]
$B, C$	: Koefisien
$Abs$	: Absropsi [%]
$L$	: Panjang Balok [m]
$P$	: Beban Maksimum [N]
$SG$	: Specific Gravity
$T$	: Waktu Tempuh [s]
$V$	: Kecepatan Rambat Gelombang Ultrasonik [m/s]
$V'$	: Perpindahan Volume Minyak Tanah [cm <sup>3</sup> ]
$Vol$	: Volume [m <sup>3</sup> ]
$W$	: Massa [kg]
$b$	: Lebar Balok [mm]
$d$	: Tinggi Balok [mm]
$e$	: Eksponensial
$fm$	: <i>Finess Modulus</i>
$\rho$	: Massa Jenis [kg/m <sup>3</sup> ]



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Diagram Alir	7
<b>Gambar 2.1</b> Diagram Proses Produksi GGBFS (Euroslag, 2003)	10
<b>Gambar 2.2</b> Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan (ASTM C349)	17
<b>Gambar 3.1</b> Agregat Halus	19
<b>Gambar 3.2</b> GGBFS	20
<b>Gambar 3.3</b> Magnesium Oksida (MgO)	20
<b>Gambar 3.4</b> Silica Fume	21
<b>Gambar 3.5</b> Air	21
<b>Gambar 3.6</b> Superplasticizer	22
<b>Gambar 3.7</b> Grafik Gradasi Agregat Halus	28
<b>Gambar 3.8</b> Mesin Shieve Shaker	29
<b>Gambar 3.9</b> Cetakan Benda Uji 40x40x160 mm	31
<b>Gambar 3.10</b> Mixer	31
<b>Gambar 3.11</b> Electric Flow Table	32
<b>Gambar 3.12</b> Slump Cone dan Tumbukan	32
<b>Gambar 3.13</b> Pengukuran Diameter Mortar Flow	33
<b>Gambar 3.14</b> Perawatan Benda Uji dengan Metode Air Curing	33
<b>Gambar 3.15</b> Pengujian Kekuatan Lentur Mortar	34
<b>Gambar 3.16</b> Pengujian Kekuatan Tekan Mortar	35
<b>Gambar 3.17</b> Pengujian UPV Mortar	36
<b>Gambar 4.1</b> Flowability Setiap Variasi Mortar	37
<b>Gambar 4.2</b> Pengukuran Diameter Flow SF-05	38
<b>Gambar 4.3</b> Pengukuran Diameter Flow SF-10	38
<b>Gambar 4.4</b> Pengukuran Diameter Flow SF-15	38
<b>Gambar 4.5</b> Pengukuran Diameter Flow SF-20	39
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Nilai Kuat Lentur SF 5% Terhadap Umur Pengujian	40
<b>Gambar 4.7</b> Nilai Kuat Lentur SF 10% Terhadap Umur Pengujian	41
<b>Gambar 4.8</b> Nilai Kuat Lentur SF 15% Terhadap Umur Pengujian	43
<b>Gambar 4.9</b> Nilai Kuat Lentur SF 20% Terhadap Umur Pengujian	44
<b>Gambar 4.10</b> Nilai Kuat Lentur Setiap Variasi Terhadap Umur Pengujian	45

<b>Gambar 4.11</b> Nilai Kuat Tekan SF 5% Terhadap Umur Pengujian	47
<b>Gambar 4.12</b> Nilai Kuat Tekan SF 10% Terhadap Umur Pengujian	49
<b>Gambar 4.13</b> Nilai Kuat Tekan SF 15% Terhadap Umur Pengujian	50
<b>Gambar 4.14</b> Nilai Kuat Tekan SF 20% Terhadap Umur Pengujian	52
<b>Gambar 4.15</b> Nilai Kuat Tekan Setiap Variasi Terhadap Umur Pengujian	53
<b>Gambar 4.16</b> Nilai Kecepatan Rambat SF 5% Terhadap Umur Pengujian	54
<b>Gambar 4.17</b> Nilai Kecepatan Rambat SF 10% Terhadap Umur Pengujian	56
<b>Gambar 4.18</b> Nilai Kecepatan Rambat SF 15% Terhadap Umur Pengujian	57
<b>Gambar 4.19</b> Nilai Kecepatan Rambat SF 20% Terhadap Umur Pengujian	59
<b>Gambar 4.20</b> Nilai Kecepatan Rambat Setiap Variasi Terhadap Umur Pengujian	60
<b>Gambar 4.21</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan UPV Mortar 5%	61
<b>Gambar 4.22</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan UPV Mortar 10%	61
<b>Gambar 4.23</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan UPV Mortar 15%	62
<b>Gambar 4.24</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan UPV Mortar 20%	63
<b>Gambar 4.25</b> Grafik Rekap Perkembangan UPV Setiap Variasi	68



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Rekapitulasi Benda Uji Kuat Lentur .....	4
<b>Tabel 1.2</b> Rekapitulasi Benda Uji UPV .....	5
<b>Tabel 2.1</b> Persentase Lolos Agregat Halus (ASTM C33) .....	9
<b>Tabel 3.1</b> <i>Spesific Gravity</i> GGBFS .....	23
<b>Tabel 3.2</b> <i>Spesific Gravity</i> MgO .....	23
<b>Tabel 3.3</b> <i>Spesific Gravity Silica Fume</i> .....	24
<b>Tabel 3.4</b> <i>Spesific Gravity</i> Agregat Halus .....	25
<b>Tabel 3.5</b> Absorpsi Agregat Halus .....	26
<b>Tabel 3.6</b> <i>Finess Modulus</i> Sampel 1 .....	27
<b>Tabel 3.7</b> <i>Finess Modulus</i> Sampel 2 .....	28
<b>Tabel 3.8</b> Proporsi Campuran Mortar .....	29
<b>Tabel 4.1</b> <i>Flowability</i> Setiap Variasi Mortar .....	37
<b>Tabel 4.2</b> Kekuatan Lentur Mortar SF 5% .....	40
<b>Tabel 4.3</b> Kekuatan Lentur Mortar SF 10% .....	41
<b>Tabel 4.4</b> Kekuatan Lentur Mortar SF 15% .....	42
<b>Tabel 4.5</b> Kekuatan Lentur Mortar SF 20% .....	44
<b>Tabel 4.6</b> Rekapitulasi Kekuatan Lentur Setiap Variasi .....	45
<b>Tabel 4.7</b> Kekuatan Mortar SF 5% .....	47
<b>Tabel 4.8</b> Kekuatan Mortar SF 10% .....	48
<b>Tabel 4.9</b> Kekuatan Mortar SF 15% .....	50
<b>Tabel 4.10</b> Kekuatan Mortar SF 20% .....	51
<b>Tabel 4.11</b> Rekapitulasi Kekuatan Mortar Setiap Variasi .....	52
<b>Tabel 4.12</b> UPV Mortar SF 5% .....	54
<b>Tabel 4.13</b> UPV Mortar SF 10% .....	55
<b>Tabel 4.14</b> UPV Mortar SF 15% .....	57
<b>Tabel 4.15</b> UPV Mortar SF 20% .....	58
<b>Tabel 4.16</b> Rekapitulasi UPV Setiap Variasi Mortar .....	59
<b>Tabel 4.17</b> Perkembangan UPV SF 5% .....	64
<b>Tabel 4.18</b> Perkembangan UPV SF 10% .....	65
<b>Tabel 4.19</b> Perkembangan UPV SF 15% .....	66

**Tabel 4.20** Perkembangan UPV SF 20% ..... 67  
**Tabel 4.21** Rekap Perkembangan UPV Setiap Variasi ..... 67  
**Tabel 4.22** Perbandingan Kekuatan Lentur dengan Kekuatan Tarik Belah ..... 68



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PENGUJIAN SPESIFIC GRAVITY GGBFS.....	74
LAMPIRAN 2 PENGUJIAN SPESIFIC GRAVITY MgO.....	75
LAMPIRAN 3 PENGUJIAN SPESIFIC GRAVITY SF .....	76
LAMPIRAN 4 PENGUJIAN SPESIFIC GRAVITY AGREGAT HALUS ..	78
LAMPIRAN 5 PENGUJIAN ABSORPSI AGREGAT HALUS .....	79
LAMPIRAN 6 PENGUJIAN FM AGREGAT HALUS .....	80
LAMPIRAN 7 PERHITUNGAN MIX DESIGN SF-5 .....	82
LAMPIRAN 8 PERHITUNGAN MIX DESIGN SF-10 .....	87
LAMPIRAN 9 PERHITUNGAN MIX DESIGN SF-15 .....	92
LAMPIRAN 10 PERHITUNGAN MIX DESIGN SF-20 .....	97





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jumlah penduduk di Indonesia tiap tahunnya semakin meningkat. Dengan jumlah penduduk yang semakin banyak membuat peningkatan dalam jumlah pembangunan infrastruktur seperti bangunan gedung, perumahan, sekolah, dan seterusnya untuk mengimbangi pertumbuhan sektor ekonomi terhadap pertumbuhan penduduk. Pembangunan infrastruktur secara umum meliputi material-material pembangunan seperti mortar, beton, dan juga semen. Definisi mortar dalam SNI 03-6825-2002 merupakan campuran material yang terdiri dari agregat halus, bahan perekat, dan air dengan komposisi tertentu. Mortar sendiri merupakan salah satu material yang sering dipakai sebagai pengikat dalam pembangunan infrastruktur. Kegunaan mortar juga bermacam-macam, bisa untuk sebagai penutup lantai, melapisi dinding, serta perekat pekerjaan pasangan dinding bata atau *masonry works*.

Umumnya, semen merupakan material yang digunakan sebagai bahan perekat dalam campuran mortar. Jenis semen yang sering dipakai untuk penggunaan umum merupakan semen jenis 1, yaitu semen portland yang menurut SNI 15- 2049-2004 dipakai untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus. Dengan pembangunan infrastruktur yang terus meningkat membuat permintaan produksi semen portland yang juga meningkat. Produksi semen meliputi penggunaan bahan bakar untuk memproduksi clinker yang membutuhkan temperatur kurang lebih mencapai 1500°C. Hal tersebut membuat semen menjadi salah satu sumber penyumbang emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Menurut lembaga penelitian Chatham House, semen merupakan sumber dari sekitar 8% CO<sub>2</sub> di dunia (Rodgers Lucy, 2018). Peningkatan CO<sub>2</sub> yang bertebaran di udara akan menimbulkan efek rumah kaca dan juga pemanasan global. Maka dari itu, terdapat material-material pengganti semen yang dipakai untuk bersifat lebih ramah lingkungan seperti *fly ash*, metakaolin, silica fume, dan *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS).



*Ground Granulated Blast Furnace Slag* atau GGBFS merupakan hasil dari limbah dari suatu material setelah pembakaran pada tanur tinggi yang diperoleh dengan cara penggilingan kerak (Nursyafril dan Taufan, 2020). Penggunaan GGBFS sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton dan mortar menjadi salah satu alternatif pergerakan yang bersifat lebih ramah lingkungan. Menurut Turuallo (2013), GGBFS sendiri mempunyai bahan penyusun yang serupa dengan semen. Hal tersebut membuat GGBFS bisa dijadikan pengganti semen sebagai salah satu opsi yang lebih ramah lingkungan. Akan tetapi, GGBFS mempunyai sifat hidrasi awal yang lebih lambat dari semen sehingga membutuhkan sebuah aktivator untuk meningkatkan reaksi tersebut. Terdapat beberapa aktivator yang sering dipakai untuk membantu hidrasi GGBFS, seperti sodium hidroksida, natrium silikat, magnesium oksida, dan lain-lain. Dari tahun-tahun sekarang, Magnesium Oksida (MgO) menjadi salah satu aktivator slag yang sering dipertimbangkan untuk digunakan. Hal tersebut disebabkan MgO yang bisa mengurangi penyusutan, mengaktifkan slag secara efektif dan mempercepat reaksi hidrasi awal dari slag (Hwang et al., 2018).

*Silica Fume* merupakan hasil sampingan dari pembuatan *silikon* atau *ferrosilicon* (Safwan A. Khedr, 1994). Terdapat beberapa kelebihan dari penggunaan *silica fume* yaitu meningkatkan meningkatkan properti mekanis dan durabilitas dari beton. Salah satu faktor penyebab hal tersebut karena *silica fume* yang mempunyai sifat *pozzolan* dan *inert filler* yang mengisi rongga antara pasta semen dan agregat (Bantot, Retno, Aditya, 2018). Akibat *silica fume* yang mempunyai sifat *pozzolan* dan sifat seperti bahan semen, membuat *silica fume* cocok untuk dipakai sebagai pengganti semen. Penggunaan 5-15% *Silica Fume* ditemukan dapat meningkatkan kekuatan tekan (Baibbhav et al., 2021). Walaupun dengan harga yang lebih mahal, penggunaan *silica fume* lebih ramah lingkungan daripada semen akibat emisi CO<sub>2</sub> yang menjadi jauh lebih berkurang.

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) merupakan salah satu metode *non-destructive test* yang menggunakan gelombang ultrasonik yang didasari pengukuran waktu tempuh gelombang. Dengan melakukan uji UPV, bisa mendapatkan durabilitas suatu beton dengan tidak merusaknya, sehingga dapat

mengetahui kualitas dan kerusakan pada beton dan dapat mengkorelasikannya dengan kekuatan tekan beton.

## 1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dari studi eksperimental ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *silica fume* dalam *thin bed* mortar slag yang diaktifkan oleh MgO terhadap kekuatan lentur dan korelasi kekuatan tekan dan *ultrasonic pulse velocity*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain

1. Mengetahui nilai kekuatan lentur *thin bed* mortar slag yang diaktifkan oleh magnesium oksida dengan variasi *silica fume*
2. Mengetahui nilai kekuatan tekan, yang diuji dari potongan benda uji lentur, *thin bed* mortar slag yang diaktifkan oleh magnesium oksida dengan variasi *silica fume*.
3. Mengetahui perkembangan nilai *Ultrasonic Pulse Velocity thin bed* mortar slag yang diaktifkan oleh magnesium oksida dengan variasi *silica fume*.
4. Membuat korelasi nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* dengan nilai kekuatan tekan dengan variasi *silica fume*.

## 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang berasal dari pasir Galunggung.
2. Slag yang digunakan adalah *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) dari PT. KRNG Indonesia.
3. Magnesium oksida (MgO) yang digunakan berasal dari Rofa Laboratorium Center yang diperoleh secara komersial.
4. *Silica fume* yang digunakan adalah Sikafume yang diperoleh dari PT. Sika Indonesia, dengan variasi *silica fume* ditetapkan sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap *binder*.

5. *Superplasticizer* yang digunakan adalah MasterEase 3079 yang diperoleh dari PT. Master Builders Solutions Indonesia admixture tipe F.
6. Rasio air terhadap *binder* (w/b) pada mortar slag ditetapkan sebesar 0,45.
7. Rasio pasir terhadap *binder* ditetapkan sebesar 2,5.
8. Perencanaan *mix design* dengan menggunakan metode volume absolut.
9. Penggunaan MgO sebagai aktivator slag ditetapkan dengan kadar sebesar 7,5% terhadap *binder* berdasarkan penelitian Hwang et al., 2018 (Hwang et al., 2018).
10. Kekuatan lentur mortar diuji pada benda uji berbentuk prisma segiempat dengan ukuran 40x40x160 mm yang diuji pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari (berdasarkan ASTM C348).
11. Kekuatan tekan mortar diuji pada potongan benda uji hasil pengujian kekuatan lentur yang diuji pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari (berdasarkan ASTM C349).
12. *Ultrasonic Pulse Velocity* diuji pada benda uji prisma segiempat dengan ukuran 40x40x160 mm pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari (berdasarkan ASTM C597).
13. Metode *curing* yang digunakan adalah metode *air curing*

**Tabel 1.1** Rekapitulasi Benda Uji Kuat Lentur

Jenis Pengujian	Variasi Silica Fume [%]	Jenis Benda Uji [mm]	Umur Benda Uji [hari]	Kode	Jumlah Benda Uji [Buah]
Kuat Lentur	5	Prisma	7, 14,	SF-5	12
	10	40 x	28,	SF-10	12
	15	40 x	dan 56	SF-15	12
	20	160	hari	SF-20	12
Total Benda Uji					48

**Tabel 1.2** Rekapitulasi Benda Uji UPV

<b>Jenis Pengujian</b>	<b>Variasi Silica Fume [%]</b>	<b>Jenis Benda Uji [mm]</b>	<b>Umur Benda Uji [hari]</b>	<b>Kode</b>	<b>Jumlah Benda Uji [Buah]</b>
UPV	5	Prisma	7, 14,	SF-5	12
	10	40 x	28,	SF-10	12
	15	40 x	dan 56	SF-15	12
	20	160	hari	SF-20	12
Total Benda Uji					48

### 1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara melakukan kajian terhadap beberapa sumber dalam jurnal, paper, karya tulis ilmiah, dan buku yang membantu untuk menjadi acuan dasar teori pada studi eksperimental yang dilakukan.

2. Studi Eksperimental

Studi Eksperimental ini dilakukan pada Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan yang mencakup persiapan material, perhitungan kebutuhan jumlah material, pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

3. Analisis Data

Analisis data merupakan tahap pengolahan data pada seluruh tahap studi eksperimental untuk mencapai tujuan penelitian.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi dibagi menjadi 5 bagian, yaitu:

**BAB 1: PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan latar belakang, ini permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan diagram alir penelitian.

## BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan landasan teori yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian dan penyusunan skripsi

## BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan metode penelitian yang meliputi persiapan material, persiapan benda uji, pembuatan benda uji, dan hingga pengujian kekuatan lentur, tekan, dan UPV benda uji

## BAB 4: ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

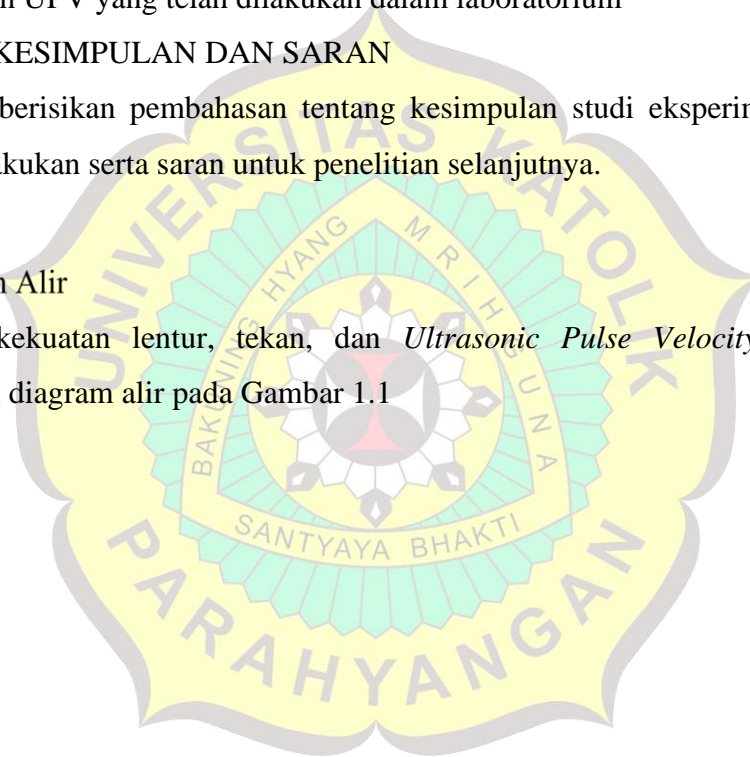
Bab ini berisikan pengolahan data hasil pengujian dari pengujian kuat lentur, tekan, dan UPV yang telah dilakukan dalam laboratorium

## BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

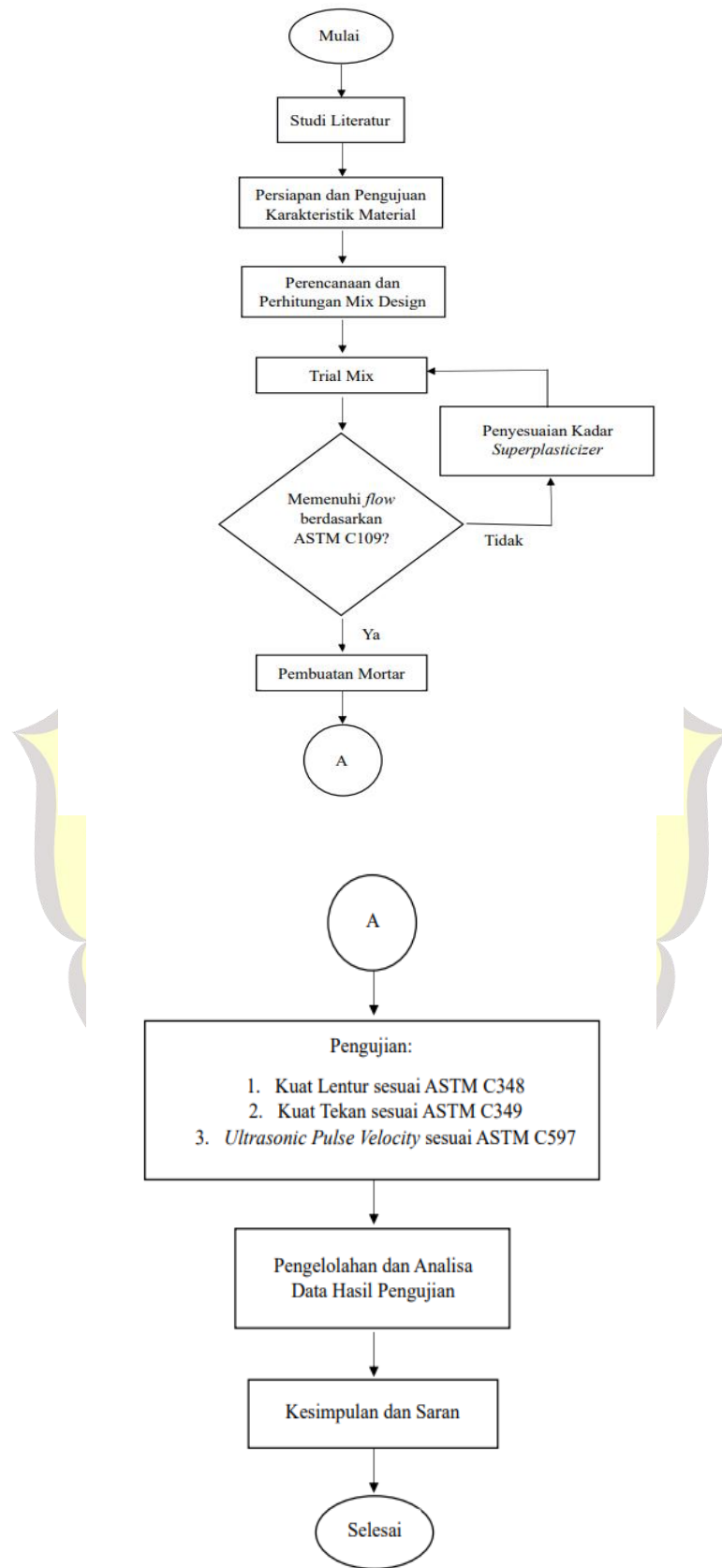
Bab ini berisikan pembahasan tentang kesimpulan studi eksperimental yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

### 1.7 Diagram Alir

Penelitian kekuatan lentur, tekan, dan *Ultrasonic Pulse Velocity* dilakukan berdasarkan diagram alir pada Gambar 1.1







**Gambar 1.1** Diagram Alir