

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
KADAR ALUMINIUM SULFAT TERHADAP
KEKUATAN TEKAN DAN NILAI *ULTRASONIC
PULSE VELOCITY* PADA *SUPER SULFATED
CEMENT MORTAR***



**SILVIA
NPM : 6101901039**

PEMBIMBING: Herry Suryadi, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023**

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
KADAR ALUMINIUM SULFAT TERHADAP
KEKUATAN TEKAN DAN NILAI *ULTRASONIC
PULSE VELOCITY* PADA *SUPER SULFATED
CEMENT MORTAR***



**SILVIA
NPM : 6101901039**

**BANDUNG, 8 Agustus 2023
PEMBIMBING:**



Herry Suryadi, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023**

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
KADAR ALUMINIUM SULFAT TERHADAP
KEKUATAN TEKAN DAN NILAI *ULTRASONIC
PULSE VELOCITY* PADA *SUPER SULFATED
CEMENT MORTAR***



**SILVIA
NPM : 6101901039**

PEMBIMBING: Herry Suryadi, Ph.D.

PENGUJI 1: Nenny Samudra, Ir., M.T.

PENGUJI 2: Buen Sian, Ir., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Silvai

NPM : 6101901039

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis / disertasi*~~) dengan judul: Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kadar Aluminium Sulfat Terhadap Kekuatan Tekan dan Nilai *Ultrasonic Pulse Velocity Pada Super Sulfated Cement Mortar* 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.

Bandung, 8 Agustus 2023



SILVIA

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KADAR ALUMINIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN NILAI *ULTRASONIC PULSE VELOCITY* PADA *SUPER SULFATED CEMENT MORTAR*

Silvia
NPM: 6101901039

Pembimbing: Herry Suryadi, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur merupakan aspek penting bagi suatu negara dan terus berkembang seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Penggunaan mortar dalam bidang konstruksi juga menjadi umum dan penting. Namun, produksi semen yang tinggi memiliki dampak negatif pada lingkungan, seperti emisi karbon dioksida (CO_2). Untuk mengatasi masalah ini, digunakan *Super Sulfated Cement* (SSC), yang terbuat dari campuran *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS), aktivator sulfat, dan aktivator alkali. GGBFS adalah limbah industri baja yang memiliki manfaat sebagai bahan tambahan pada semen. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) sebagai aktivator sulfat terhadap kekuatan tekan dan nilai UPV pada campuran SSC pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Variasi kadar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ditetapkan sebesar 0%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1% dengan rasio air terhadap *binder* diambil sebesar 0,4. Penggunaan *Ordinary Portland Cement* (OPC) sebagai aktivator alkali ditetapkan sebesar 10% dan kadar SP sebesar 0,2%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sebesar 0,75% menghasilkan kekuatan tekan optimum dengan nilai sebesar 25,23 MPa pada umur 56 hari. Nilai UPV optimum diperoleh pada kadar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sebesar 0,25% dengan kecepatan rambat gelombang ultrasonik pada umur 56 hari sebesar 3661,946 m/s. Hubungan kekuatan tekan dan UPV memiliki nilai R^2 yang mendekati 1 sehingga data memiliki hubungan yang baik.

Kata Kunci: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, GGBFS, Kekuatan Tekan, *Super Sulfated Cement*, UPV

***EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF
ALUMINIUM SULFATE VARIATIONS ON
COMPRESSIVE STRENGTH AND ULTRASONIC
PULSE VELOCITY VALUES ON SUPER SULFATED
CEMENT MORTAR***

**Silvia
NPM: 6101901039**

Pembimbing: Herry Suryadi, Ph.D.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK BAN-PT Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AUGUST 2023**

ABSTRACT

Infrastructure development is an important aspect of a country and continues to grow alongside the increase in population. The use of mortar in the construction field is also common and crucial. However, high cement production has negative impacts on the environment, such as carbon dioxide (CO₂) emissions. To address this issue, Super Sulfated Cement (SSC) is used, which is made from a mixture of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), sulfate activator, and alkali activator. GGBFS is an industrial waste from the steel industry that has benefits as an additive material in cement. Research was conducted to determine the influence of variations in the Al₂(SO₄)₃ as a sulfate activator on compressive strength and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) values of SSC mixtures at ages 7, 14, and 28 days. The experiments used Al₂(SO₄)₃ content variations of 0%; 0.25%; 0.5%; 0.75%; 1% with a water-to-binder ratio of 0.4. Ordinary Portland Cement (OPC) as an alkali activator was set at 10% and the SP content was 0.2%. The research results showed that an Al₂(SO₄)₃ content of 0.75% resulted in optimum compressive strength with a value of 25,23 MPa at 56 days of age. The optimum UPV value was obtained at an Al₂(SO₄)₃ content of 0.25% with an ultrasonic wave propagation velocity of 3661,946 m/s at 56 days of age. The relationship between compressive strength and UPV had an R² value close to 1, indicating a strong correlation between the data.

Keywords: Al₂(SO₄)₃, Compressive Strength, GGBFS, Super Sulfated Cement, UPV

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas semua berkat berupa hikmat, rahmat dan juga kesehatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KADAR ALUMINIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN NILAI *ULTRASONIC PULSE VELOCITY* PADA *SUPER SULFATED CEMENT MORTAR*” dengan baik, benar, serta selesai tepat pada waktunya.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan akademik dari program sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan. Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa dengan selesainya skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah ikut terlibat ataupun membantu dalam proses penyusunan skripsi hingga selesai, yaitu:

1. Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik, lancar, dan tepat waktu.
2. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak arahan, bimbingan, masukan, pengetahuan, pengalaman, motivasi, serta waktunya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah meluangkan waktunya untuk menghadiri, memberikan masukan serta memberikan saran dalam seminar judul, seminar isi, dan sidang.
4. Bapak Teguh Farid Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi yang telah membantu dalam proses persiapan material dan pengujian benda uji pada Laboratorium Struktur Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.
5. Keluarga penulis yang telah memberikan semangat, motivasi, doa, bantuan, baik bantuan material maupun moral sehingga proses magang dan pembuatan laporan ini dapat berjalan dengan lancar.

6. Ira Desita selaku teman seperjuangan dalam melakukan campuran pada benda uji *Super Sulfated Cement* Mortar yang telah membantu dan bekerja sama selama proses penelitian dan pengerjaan skripsi.
7. Athaya Kaustsara M.S, Albert Susanto, Bianca Abigail, Jonathan Hadinata, Lucky Manuel, Richardo Gustin, dan Nichika Dwigita selaku teman seperjuangan dan satu bimbingan di Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan.
8. Arwin, Catherine Amanda Lie, dan Desli Lidya Girsang selaku teman penulis yang selalu mendukung dan menemani penulis selama proses perkuliahan hingga pengerjaan skripsi.
9. Christabella Josa Lidya dan Johanna Prima Cristanti selaku kakak rohani yang senantiasa memberikan dukungan dan doa selama proses pengerjaan skripsi.
10. Teman-teman *Homecell* yang telah memberikan doa, dukungan, motivasi, dan semangat selama proses penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis memohon maaf apabila dalam proses penyusunan skripsi ini terdapat kekurangan dan keterbatasan penulis sehingga hasil dari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menerima segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun untuk menjadi evaluasi penulis kedepannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi para pembaca.

Bandung, 8 Agustus 2023



Silvia
6101901039

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Metode Penelitian	6
1.6 Sistematika Penulisan	6
1.7 Diagram Alir	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Mortar	8
2.2 <i>Super Sulfated Cement Mortar</i>	9
2.3 Material Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i>	9
2.3.1 Agregat Halus	9
2.3.2 Semen	10
2.3.3 <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i>	11
2.3.4 Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$)	12

2.3.5 Air	13
2.3.6 <i>Superplasticizer</i>	14
2.4 Pengujian Material Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i>	15
2.4.1 Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....	15
2.4.2 Pengujian Massa Jenis OPC.....	16
2.4.3 Pengujian Massa Jenis GGBFS.....	16
2.4.4 Pengujian Massa Jenis Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$).....	17
2.4.5 Pengujian Absorpsi Agregat Halus	17
2.4.6 Pengujian Analisa Saringan (<i>Fineness Modulus</i>)	18
2.5 Pengujian <i>Flowability</i>	18
2.6 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	19
2.7 Pengujian Kekuatan Tekan	19
2.8 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	20
2.9 Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Material Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i>	23
3.1.1 Agregat Halus.....	23
3.1.2 <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i>	23
3.1.3 <i>Ordinary Portland Cement</i>	24
3.1.4 Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$)	24
3.1.5 Air	25
3.1.6 <i>Superplasticizer</i>	25
3.2 Pengujian Material	26
3.2.1 Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....	26
3.2.2 Pengujian Massa Jenis Bahan Pengikat (GGBFS, OPC, dan Aluminium Sulfat).....	27

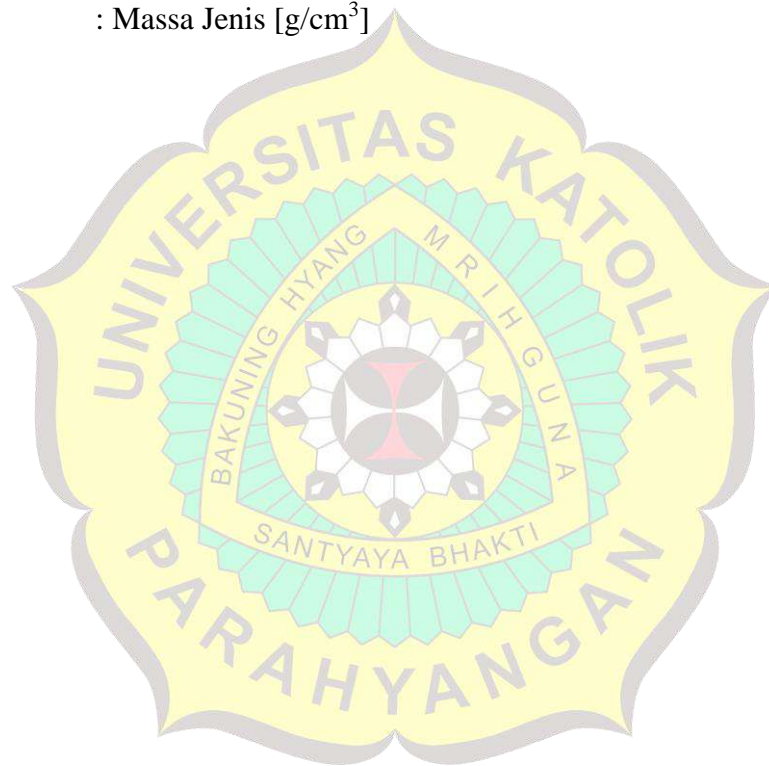
3.2.3 Pengujian Absorpsi Agregat Halus	29
3.2.4 Pengujian <i>Fineness Modulus</i> Agregat Halus	30
3.3 Perencanaan Campuran	32
3.3.1 Metode Volume Absolut	32
3.3.2 Proporsi Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i>	35
3.4 Pembuatan Benda Uji.....	36
3.4.1 Proses Pengecoran (<i>Mixing</i>).....	37
3.4.2 Pengujian <i>Flowability Mortar</i>	39
3.4.3 Proses <i>Curing</i> atau Perawatan.....	40
3.5 Pengujian Benda Uji	40
3.5.1 Pengujian Kekuatan Tekan	40
3.5.2 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	42
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Analisis <i>Flowability Mortar</i>	44
4.2 Analisis Pengujian Kekuatan Tekan Campuran SSC Mortar Segar	45
4.2.1 Analisis Pengujian Kekuatan Tekan dengan Variasi $Al_2(SO_4)_3$ 0%	46
4.2.2 Analisis Pengujian Kekuatan Tekan dengan Variasi $Al_2(SO_4)_3$ 0,25%	47
4.2.3 Analisis Pengujian Kekuatan Tekan dengan Variasi $Al_2(SO_4)_3$ 0,5% .	48
4.2.4 Analisis Pengujian Kekuatan Tekan dengan Variasi $Al_2(SO_4)_3$ 0,75%	49
4.2.5 Analisis Pengujian Kekuatan Tekan dengan Variasi $Al_2(SO_4)_3$ 1%	50
4.2.6 Analisis Pengujian Kekuatan Tekan Untuk Seluruh Variasi Kadar $Al_2(SO_4)_3$	51
4.3 Analisis Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	52
4.3.1 Analisis Pengujian UPV dengan Variasi $Al_2(SO_4)_3$ 0%	53
4.3.2 Analisis Pengujian UPV dengan Variasi $Al_2(SO_4)_3$ 0,25%	54
4.3.3 Analisis Pengujian UPV dengan Variasi $Al_2(SO_4)_3$ 0,5%	55

4.3.4 Analisis Pengujian UPV dengan Variasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0,75%	56
4.3.5 Analisis Pengujian UPV dengan Variasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 1%	57
4.3.6 Analisis Pengujian UPV Untuk Seluruh Variasi Kadar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	58
4.4 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	60
4.4.1 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan Variasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0%	60
4.4.2 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan Variasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0,25%	61
4.4.3 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan Variasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0,5%	63
4.4.4 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan Variasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 0,75%	64
4.4.5 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan Variasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 1%	65
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN PENGUJIAN MATERIAL	72
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN MIX DESIGN	83
LAMPIRAN 3 PENGUJIAN KUALITAS AIR	111

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a,b	: koefisien
A	: Luas permukaan benda uji [mm ²]
Abs	: Absorpsi [%]
Al ₂ (SO ₄) ₃	: Aluminium Sulfat
ASTM	: <i>American Society for Testing and Materials</i>
AS-0%	: Aluminium Sulfat dengan kadar 0%
AS-0,25%	: Aluminium Sulfat dengan kadar 0,25%
AS-0,5%	: Aluminium Sulfat dengan kadar 0,5%
AS-0,75%	: Aluminium Sulfat dengan kadar 0,75%
AS-1%	: Aluminium Sulfat dengan kadar 1%
CTM	: <i>Compression Testing Machine</i>
d _{avg}	: Diameter rata-rata Campuran Uji <i>Flowability</i> [mm]
d _n	: Diameter Akhir Campuran Uji <i>Flowability</i> [mm]
d ₀	: Diameter Awal Campuran Uji <i>Flowability</i> [mm]
f _m	: Kekuatan Tekan Mortar [MPa]
FM	: <i>Fineness Modulus</i>
GGBFS	: <i>Ground Granulated Blast-Furnace Slag</i>
M _b	: Massa labu + minyak tanah + OPC [g]
M' _b	: Massa labu + minyak tanah + GGBFS [g]
M'' _b	: Massa labu + minyak tanah + Al ₂ (SO ₄) ₃ [g]
M ₀	: Massa labu + minyak tanah [g]
OD	: <i>Oven Dry</i>
OPC	: <i>Ordinary Portland Cement</i>
P	: Beban Maksimum Total [N]
R ²	: Koefisien Determinasi
SF	: <i>Safety Factor</i>
SG	: <i>Specific Gravity</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SP	: Superplasticizer
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>

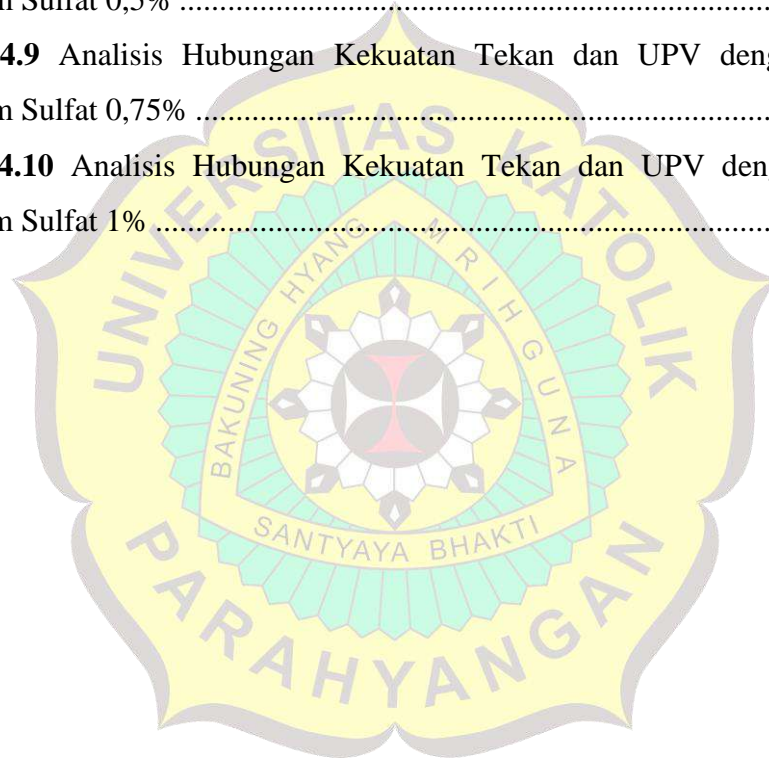
UPV	: <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>
V	: Kecepatan rambat gelombang Ultrasonik [m/s]
V	: Volume [m ³]
W	: Massa [g atau kg]
W _{fa}	: Massa agregat halus dalam kondisi SSD [g]
W _{pcy}	: Massa piknometer + air hingg batas kalibrasi [g]
W _{pcy,fa}	: Massa piknometer + air + agregat halus pada kondisi SSD [g]
W _{OD}	: Massa agregat halus dalam kondisi OD [g]
W _{SSD}	: Massa agregat halus dalam kondisi SSD [g]
ρ	: Massa Jenis [g/cm ³]



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ternary Diagram dari Cementitious Materials	2
Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian	7
Gambar 2.1 Proses Produksi GGBFS (Ahmad dkk., 2022)	12
Gambar 2.2 Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester (PUNDIT)	21
Gambar 2.3 Direct Transmission (Simatupang, dkk., 2016)	21
Gambar 2.4 Semi-Direct Transmission (Simatupang, dkk., 2016)	21
Gambar 2.5 Indirect or Surface Transmission (Simatupang, dkk., 2016)	22
Gambar 3.1 Agregat Halus	23
Gambar 3.2 Ground Granulated Blast Furnace Slag	24
Gambar 3.3 Ordinary Portland Cement	24
Gambar 3.4 Aluminium Sulfat	25
Gambar 3.5 Air	25
Gambar 3.6 Superplasticizer	26
Gambar 3.7 Gradasi Agregat Halus	32
Gambar 3.8 Alat Sieve Shaker	32
Gambar 3.9 Cetakan 50X50X50 mm	38
Gambar 3.10 Cetakan 40X40X160 mm	38
Gambar 3.11 Mixer	38
Gambar 3.12 Electric Flow Table	39
Gambar 3.13 Slump Cone	39
Gambar 3.14 Diameter Slump Flow	39
Gambar 3.15 Sealed Curing	40
Gambar 3.16 Sisi yang Ditekan Oleh Alat CTM	41
Gambar 3.17 Jangka Sorong	41
Gambar 3.18 Alat CTM	41
Gambar 3.19 Benda Uji Mengalami Keretakan	42
Gambar 3.20 Monitor Pada CTM	42
Gambar 3.21 Kalibrasi Pada Alat PUNDIT	43
Gambar 3.22 Pengujian Menggunakan PUNDIT	43
Gambar 4.1 Hasil Pengujian Flowability Campuran Mortar	45

Gambar 4.2 Kekuatan Tekan Terhadap Variasi Kadar Aluminium Sulfat.....	51
Gambar 4.3 Kekuatan Tekan Terhadap Umur Pengujian.....	52
Gambar 4.4 Nilai UPV Terhadap Variasi Kadar Aluminium Sulfat.....	58
Gambar 4.5 Nilai UPV Terhadap Umur Pengujian.....	58
Gambar 4.6 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 0%	61
Gambar 4.7 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 0,25%	62
Gambar 4.8 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 0,5%	63
Gambar 4.9 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 0,75%	64
Gambar 4.10 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 1%	66



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Rekapitulasi Benda Uji Kekuatan Tekan	5
Tabel 1.2 Rekapitulasi Benda Uji UPV	5
Tabel 2.1 Persentase Lolos Agregat Halus Berdasarkan ASTM C33-18.....	10
Tabel 2.2 Persyaratan Kinerja Beton Untuk Air Pencampur	13
Tabel 2.3 Batasan Kimiawi Tambahan Untuk Air Pencampur Kombinasi.....	14
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Specific Gravity Pasir Garut	27
Tabel 3.2 Hasil Pengujian Specific Gravity OPC	28
Tabel 3.3 Hasil Pengujian Specific Gravity GGBFS	29
Tabel 3.4 Hasil Pengujian Specific Gravity Aluminium Sulfat	29
Tabel 3.5 Hasil Pengujian Absorpsi Agregat Halus.....	30
Tabel 3.6 Fineness Modulus Agregat Halus (Sampel I).....	31
Tabel 3.7 Fineness Modulus Agregat Halus (Sampel II)	31
Tabel 3.8 Proporsi Campuran SSC per m ³ Sebelum Dikoreksi dengan Absorpsi	36
Tabel 3.9 Proporsi Campuran SSC per m ³ Setelah Dikoreksi dengan Absorpsi .	36
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Flowability Campuran Mortar	44
Tabel 4.2 Pengujian Kekuatan Tekan Pada Kadar Aluminium Sulfat 0%	46
Tabel 4.3 Pengujian Kekuatan Tekan Pada Kadar Aluminium Sulfat 0,25%	47
Tabel 4.4 Pengujian Kekuatan Tekan Pada Kadar Aluminium Sulfat 0,5%	48
Tabel 4.5 Pengujian Kekuatan Tekan Pada Kadar Aluminium Sulfat 0,75%	49
Tabel 4.6 Pengujian Kekuatan Tekan Pada Kadar Aluminium Sulfat 1%	50
Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Untuk Seluruh Variasi Kadar Aluminium Sulfat	51
Tabel 4.8 Pengujian UPV Pada Kadar Aluminium Sulfat 0%	53
Tabel 4.9 Pengujian UPV Pada Kadar Aluminium Sulfat 0,25%	54
Tabel 4.10 Pengujian UPV Pada Kadar Aluminium Sulfat 0,5%	55
Tabel 4.11 Pengujian UPV Pada Kadar Aluminium Sulfat 0,75%	56
Tabel 4.12 Pengujian UPV Pada Kadar Aluminium Sulfat 1%	57
Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian UPV Untuk Seluruh Variasi Kadar Aluminium Sulfat.....	58
Tabel 4.14 Interpretasi Koefisien R ² (sumber: Sugiyanto, 2014)	60

Tabel 4.15 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 0%	60
Tabel 4.16 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 0,25%	62
Tabel 4.17 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 0,5%	63
Tabel 4.18 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 0,75%	64
Tabel 4.19 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV dengan Variasi Aluminium Sulfat 1%	65



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN PENGUJIAN MATERIAL.....	72
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN MIX DESIGN.....	83
LAMPIRAN 3 PENGUJIAN KUALITAS AIR.....	111



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur merupakan salah satu aspek penting dalam suatu negara. Pembangunan infrastruktur juga merupakan fasilitas yang diberikan oleh pemerintah suatu negara untuk pertumbuhan sektor ekonomi. Di Indonesia, pembangunan infrastruktur semakin berkembang dari tahun ke tahun. Peningkatan penduduk yang sangat signifikan juga membuat kebutuhan manusia berupa tempat tinggal dan beberapa fasilitas pendukung lainnya seperti rumah sakit, sekolah, bandara, kantor, dan sebagainya turut mengalami peningkatan juga.

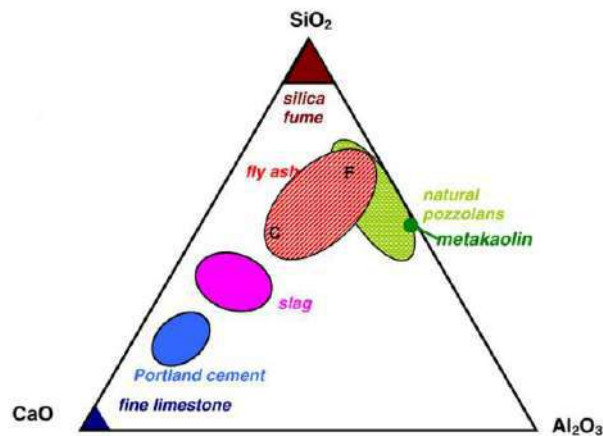
Seiring meningkatnya pembangunan dengan perkembangan zaman dan teknologi, penggunaan mortar dijadikan salah satu material umum yang sering digunakan dalam bidang konstruksi. Mortar sendiri merupakan campuran antara bahan/media pengikat (semen), air, dan agregat halus (pasir) yang berguna untuk meningkatkan plastisitas dan *workability* (ACI CT-21, 2021). Bahan terpenting yang menjadi bahan dasar dalam campuran mortar adalah semen. Meskipun demikian, Menurut Damtoft, dkk., (2008), semen memiliki dampak terhadap pencemaran lingkungan seperti pemanasan global dan perubahan iklim.

Pertambahan jumlah infrastruktur di Indonesia mengakibatkan peningkatan pada penggunaan semen. Pada tahun 2022, Indonesia berada pada tingkat ke tujuh dalam memproduksi semen terbanyak secara global. Produksi semen di Indonesia diestimasikan sekitar 64 juta ton semen (Garside, 2023). Salah satu jenis semen yang sering digunakan oleh Indonesia adalah Semen Portland. Semen Portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak yang terdiri dari kalsium silikat yang memiliki sifat hidrolis dan dengan waktu yang bersamaan akan digiling dengan bahan tambahan yaitu satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat serta dapat ditambahkan juga dengan bahan tambahan lainnya (SNI 2049:2015, 2015).

Semen Portland yang umum digunakan dan tidak memiliki persyaratan khusus dalam penggunaannya adalah Semen Portland tipe 1 atau *Ordinary Portland Cement* (OPC). Industri semen merupakan salah satu industri

penyumbang emisi karbon (CO_2) terbesar di dunia. Hal ini dikarenakan proses kalsinasi atau pemanasan dari bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembuatan semen serta penggunaan bahan bakar yang perlu untuk mempertahankan suhu dalam proses kalsinasi tersebut. Diperkirakan tujuh persen dari CO_2 di dunia ini dihasilkan oleh industri semen, dan persentase ini terus mengalami kenaikan (Ali, dkk., 2011).

Oleh karena proses dalam pembuatan semen dapat berdampak negatif pada lingkungan, *Super Sulfated Cement* (SSC) dapat digunakan dalam campuran mortar untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat produksi semen yang semakin tinggi. SSC merupakan semen hidrolis yang dibuat dari campuran yang terdiri dari *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS), *sulfated activator*, dan *alkali activator* (Wu, dkk., 2021). GGBFS merupakan limbah industri baja yang dihasilkan dalam proses pemurnian baja, dimana komposisi kimiawi pada GGBFS mendekati dengan komposisi kimiawi semen portland yaitu kapur (CaO), Aluminium (Al_2O_3), Silika (SiO_2), dan Besi Oksida (Fe_2O_3). Gambar 1.1 merupakan *ternary diagram* yang menjelaskan pernyataan diatas. Dikarenakan memiliki bahan penyusun yang serupa, GGBFS dapat digunakan sebagai bahan alternatif substitusi sebagian semen pada campuran mortar.



Gambar 1.1 Ternary Diagram dari *Cementitious Materials* (Lothenbach, dkk., 2011)

Menurut Peraturan Pemerintah No 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, *slag* yang berasal dari peleburan baja dikategorikan menjadi limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) sehingga GGBFS harus dikelola dengan baik untuk menghindari terjadinya pencemaran

lingkungan. Meskipun demikian, GGBFS memiliki berbagai manfaat sebagai bahan tambahan pada semen yaitu dapat meningkatkan *workability*, plastisitas, dan kekuatan pada mortar (Nursyafri & Taufan, 2020). GGBFS tidak mampu langsung digunakan sebagai bahan pengikat apabila hanya dicampurkan oleh air sehingga GGBFS memerlukan sulfat sebagai aktivator untuk pembantu peningkatan dalam reaksi.

Menurut Tian, dkk., (2021), aluminium sulfat atau $Al_2(SO_4)_3$ merupakan aktivator yang baik karena dengan menambahkan $Al_2(SO_4)_3$ kedalam semen portland dapat mempercepat proses hidrasi, menghaluskan struktur pori, dan juga dapat meningkatkan kekuatan awal pada mortar. Keberadaan $Al_2(SO_4)_3$ dapat membentuk ettringite (Aft) yang dapat mempercepat hidrasi pada C_3S pada usia awal hidrasi (Liu, dkk., 2020). Percepatan hidrasi C_3S dapat berdampak pada waktu pengikatan dan kekuatan awal pada mortar. Oleh karena itu, Senyawa aktivator yang digunakan pada eksperimen ini adalah aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) untuk mendukung sistem *slag* yaitu GGBFS.

UPV merupakan salah satu pengujian non destruktif yang menggunakan gelombang ultrasonik, dimana pengujian ini melibatkan penentuan cepat rambat gelombang pada benda uji (ASTM C597-16, 2016). Pada pengujian UPV, kecepatan gelombang yang semakin tinggi akan mengidentifikasi kepadatan ataupun retakan pada mortar. Pengujian ini juga dapat dikaitkan pada durabilitas mortar. Semakin baik durabilitas pada mortar, tingkat ketahanan mortar terhadap serangan kimia maupun cuaca akan meningkat. Kekuatan tekan mortar dapat diperkirakan berdasarkan hubungan kecepatan gelombang yang disalurkan ke dalam mortar. Jika kekuatan tekan akan diestimasi dengan pengujian UPV, maka korelasi harus dilakukan terhadap pengujian kekuatan tekan yang lainnya. Hal ini dikarenakan hasil dari pengujian UPV tidak sepenuhnya mewakili kekuatan tekan pada mortar (Simatupang, dkk., 2016).

1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dari studi eksperimental ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kadar Aluminium Sulfat atau biasa dikenal sebagai $Al_2(SO_4)_3$ pada mortar, dimana penggunaan semen akan digantikan dengan campuran SSC yaitu GGBFS

dan OPC. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kekuatan tekan dan nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* dari campuran dengan variasi kadar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan

1. Mengetahui perkembangan nilai kekuatan tekan *super sulfated cement* mortar dengan variasi kadar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
2. Mengetahui nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* *super sulfated cement* mortar dengan variasi kadar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
3. Mengetahui kolerasi antara nilai kekuatan tekan dan nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* *super sulfated cement* mortar dengan variasi kadar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

1.4 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini, pembatasan masalah yang ditemukan sebagai berikut

1. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Garut.
2. Semen yang digunakan adalah *Ordinary Portland Cement* yang berasal dari PT Semen Indonesia.
3. *Slag* yang digunakan adalah *Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)* dari PT KRNG Indonesia.
4. Aktivator sulfat yang digunakan adalah Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) yang diperoleh secara komersil, kemudian dihaluskan hingga lolos saringan ASTM #100 (150 μm).
5. *Superplasticizer (SP)* yang digunakan adalah MasterGlenium SKY 8614 yang diperoleh dari PT. Master Builder Solution Indonesia dan kadar yang ditetapkan sebesar 0,2%.
6. Perencanaan campuran menggunakan metode volume absolut.
7. Kadar penggunaan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ yang berfungsi sebagai aktivator sulfat sebesar 0%, 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1%.
8. Penggunaan OPC sebagai *alkali activator* pada SCC ditetapkan sebesar 10%.
9. Rasio pasir terhadap bahan pengikat ditetapkan sebesar 2,5.

10. Pengujian kekuatan tekan mortar dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari dengan benda uji berbentuk kubus yang memiliki ukuran 50×50×50 mm yang mengacu pada ASTM C109-16.
11. Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) mortar dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari dengan benda uji yang memiliki ukuran 40×40×160 mm yang mengacu pada ASTM C597-16.
12. Metode perawatan dilakukan dengan metode *sealed curing*.
13. Jumlah keseluruhan benda uji sebanyak 80 kubus dan 60 balok seperti terlihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2.

Tabel 1.1 Rekapitulasi Benda Uji Kekuatan Tekan

Kode	Variasi Kadar $Al_2(SO_4)_3$ [%]	Bentuk/Ukuran Benda Uji	Umur Pengujian [Hari]	Jumlah Benda Uji [Buah]
AS-0%	0	Kubus/ 50×50×50 mm	7, 14, 28, dan 56	16
AS-0,25%	0,25			16
AS-0,5%	0,5			16
AS-0,75%	0,75			16
AS-1%	1			16
Total Benda Uji [Buah]				80

Tabel 1.2 Rekapitulasi Benda Uji UPV

Kode	Variasi Kadar $Al_2(SO_4)_3$ [%]	Bentuk/Ukuran Benda Uji	Umur Pengujian [Hari]	Jumlah Benda Uji [Buah]
AS-0%	0	Balok/ 40×40×160 mm	7, 14, 28, dan 56	12
AS-0,25%	0,25			12
AS-0,5%	0,5			12
AS-0,75%	0,75			12
AS-1%	1			12
Total Benda Uji [Buah]				60

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan sebagai acuan untuk mengetahui/mendapatkan gambaran mengenai topik pembahasan dan memperluas wawasan yang diperlukan dalam melaksanakan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan melakukan kajian terhadap jurnal, *paper*, buku, dan karya tulisan ilmiah.

2. Studi Eksperimental

Studi eksperimental dilakukan pada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan dengan melakukan persiapan material, pembuatan dan pengujian benda uji. Studi eksperimental dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap nilai kuat tekan dan nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* dari *Super Sulfated Cement* mortar dengan variasi kadar $Al_2(SO_4)_3$.

3. Analisis Data

Analisis data merupakan tahap pengolahan data hasil eksperimen untuk mencapai tujuan penelitian dari hasil eksperimen pada laboratorium.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi dibagi menjadi beberapa bab adalah sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan, dan diagram alir penelitian.

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori yang menjadi landasan dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi.

BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai prosedur penelitian yang meliputi persiapan material, pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

BAB 4: ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

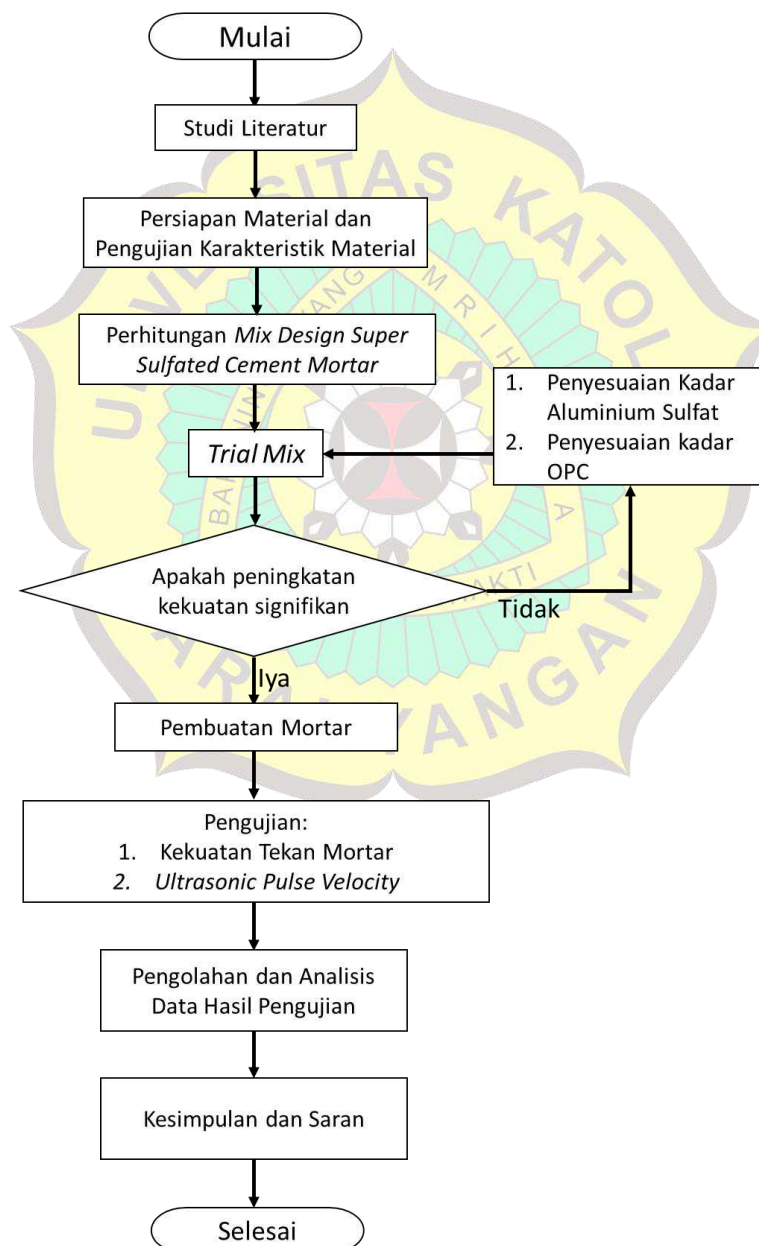
Bab ini membahas mengenai proses pengolahan data hasil pengujian benda uji di laboratorium.

BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk perkembangan penelitian selanjutnya.

1.7 Diagram Alir

Tahap-tahap penelitian ini dapat dijelaskan pada diagram alir seperti terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian