

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KADAR  
NATRIUM SULFAT TERHADAP NILAI *VOLUME OF  
PERMEABLE VOIDS* DAN KORELASI PROPERTI  
MEKANIS DENGAN *ULTRASONIC PULSE VELOCITY*  
PADA *SUPER SULFATED CEMENT MORTAR***



**JERRICA PANGESTU  
NPM: 6101901026**

**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  
JANUARI 2023**

**SKRIPSI**

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF  
NATRIUM SULFATE VARIATIONS ON VOLUME OF  
PERMEABLE VOIDS AND CORRELATION OF  
MECHANICAL PROPERTIES WITH ULTRASONIC  
PULSE VELOCITY IN SUPER SULFATED CEMENT  
MORTAR**



**JERRICA PANGESTU  
NPM: 6101901026**

**ADVISOR: 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  
JANUARY 2023**

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KADAR  
NATRIUM SULFAT TERHADAP NILAI *VOLUME OF  
PERMEABLE VOIDS* DAN KORELASI PROPERTI  
MEKANIS DENGAN *ULTRASONIC PULSE VELOCITY*  
PADA *SUPER SULFATED CEMENT MORTAR***



**NAMA: JERRICA PANGESTU  
NPM: 6101901026**

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

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

**PENGUJI 2: Sisi Nova Rizkiani, S.T., 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  
JANUARI 2023**

# LEMBAR PERNYATAAN

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

Nama : Jerrica Pangestu

NPM 6101901026

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi\*) dengan judul:

Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kadar Natrium Sulfat Terhadap Nilai *Volume of Permeable Voids* dan Korelasi Properti Mekanis Dengan *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.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 5 Januari 2023



JERRICA PANGESTU  
6101901026

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KADAR  
NATRIUM SULFAT TERHADAP NILAI *VOLUME OF  
PERMEABLE VOIDS* DAN KORELASI PROPERTI MEKANIS  
DENGAN *ULTRASONIC PULSE VELOCITY* PADA *SUPER  
SULFATED CEMENT MORTAR***

**Jerrica Pangestu  
NPM: 6101901026**

**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  
JANUARI 2023**

**ABSTRAK**

Mortar merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi. Mortar pada umumnya terbentuk dari campuran agregat halus, air, dan semen. Akan tetapi, produksi semen sebagai bahan pengikat mortar menyumbang 5-7% dari seluruh emisi gas CO<sub>2</sub> di dunia. Seiring dengan perkembangan zaman, muncul beberapa upaya untuk mengurangi dampak buruk dari kegiatan produksi semen, salah satunya yaitu penggunaan *Super Sulfated Cement* (SSC). SSC menggunakan *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) sebagai bahan baku utama, sulfat aktivator dan alkali aktivator. Pada penelitian ini, akan ditelusuri pengaruh variasi kadar natrium sulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pada campuran *super sulfated cement mortar*. Variasi SO<sub>3</sub> digunakan sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Rasio air terhadap *binder* (w/b) diambil sebesar 0,4. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kadar Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terhadap nilai *Volume of Permeable Voids* (VPV) dan korelasi properti mekanis dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Hasil pengujian UPV pada umur 56 hari dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% untuk benda uji berukuran 40 × 40 × 160 mm adalah 3227,34 m/s, 3837,99 m/s, 3917,46 m/s, 3989,48 m/s, dan 4075,37 m/s. Hasil pengujian UPV pada umur 56 hari dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% untuk benda uji berukuran 50 × 50 × 200 mm adalah 3002,14 m/s, 3796,67 m/s, 3899,89 m/s, 4035,72 m/s, dan 4036,73 m/s. Nilai VPV adalah 24,25%, 19,12%, 22,55%, 23,22%, dan 25,17%.

**Kata Kunci:** *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS), *Super Sulfated Cement Mortar* (SSC), *Volume of Permeable Voids* (VPV), *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).

# **EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF NATRIUM SULFATE VARIATIONS ON VOLUME OF PERMEABLE VOIDS AND CORRELATION OF MECHANICAL PROPERTIES WITH ULTRASONIC PULSE VELOCITY IN SUPER SULFATED CEMENT MORTAR**

**Jerrica Pangestu**  
**NPM: 6101901026**

**Advisor: 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**  
**JANUARY 2023**

## **ABSTRACT**

Mortar is a material that is widely used in construction. Generally, mortar is formed from a mixture of fine aggregate, water, and cement. However, the production of cement as the mortar binder contributes 5-7% of all CO<sub>2</sub> emissions in the world. Along with the era, several efforts have emerged to reduce the bad effects of the cement production, one of them is Super Sulfated Cement (SSC). SSC uses Ground Granulated Blast Furnace Slag (SSC) as the main material, sulfate activator, and alkali activator. This research investigates the effect of natrium sulfate (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) variations on super sulfated cement mortar mixtures. SO<sub>3</sub> variations used in this research are 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, and 10%. Water to binder ratio (w/b) is 0,4. The purpose of this study is to determine the effect of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> variations on the results of Volume of Permeable Voids (VPV) and the correlation of mechanical properties and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). The results of the UPV test at the age of 56 days with variations of 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% SO<sub>3</sub> for the 40 × 40 × 160 mm mortars are 3227,34 m/s, 3837,99 m/s, 3917,46 m/s, 3989,48 m/s, and 4075,37 m/s. The results of the UPV test at the age of 56 days with variations of 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% SO<sub>3</sub> for the 50 × 50 × 200 mm mortars are 3002,14 m/s, 3796,67 m/s, 3899,89 m/s, 4035,72 m/s, and 4036,73 m/s. The VPV values are 24,25%, 19,12%, 22,55%, 23,22%, and 25,17%.

**Keywords:** Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), Super Sulfated Cement Mortar (SSC), Volume of Permeable Voids (VPV), Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kadar Natrium Sulfat Terhadap Nilai *Volume of Permeable Voids* dan Korelasi Properti Mekanis Dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* pada *Super Sulfated Cement Mortar*” dengan baik dan tepat waktu.

Proses penyusunan skripsi ini tidak luput dari rintangan dan tantangan. Namun, semua dapat dilalui berkat bantuan, saran, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam – dalamnya kepada semua pihak yang telah terlibat dalam proses penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan, pengetahuan, bimbingan, dan waktunya untuk membantu penulis selama proses penyusunan skripsi.
2. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan yang telah hadir untuk memberikan masukan dan saran dalam seminar judul, seminar isi, dan sidang.
3. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi yang telah membantu dan memberikan masukan dari proses persiapan material hingga pengujian benda uji di Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan.
4. Iswara Budiarsa, S.E., Teti Mulianty Budiman, dan Marvella Pangestu yang selalu memberikan motivasi dan dukungan serta doa selama proses penyusunan skripsi.
5. Jean Jessica Aliusius dan Tiffany Candra selaku teman seperjuangan dalam membuat *super sulfated cement mortar* yang telah menolong, memberi dukungan, dan menghibur selama proses penyusunan skripsi.
6. Novilya, Maria Margaretha W., Jose Andreas M., Styvean Haley, dan Vico Christian selaku teman – teman seperjuangan di Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan.

7. Sharon Abigail, Bryan Yehezkiel, Yeremia Grant, dan Nicholas Audwin selaku sahabat yang telah berjuang bersama, bekerja keras, menguatkan, dan menghibur selama menjalani studi di UNPAR.
8. Teman – teman Teknik Sipil UNPAR angkatan 2019 yang telah berjuang bersama menyelesaikan perkuliahan di UNPAR.
9. Seluruh pihak yang telah turut memberikan masukan, saran, dan motivasi dalam penyusunan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima segala bentuk kritik dan saran yang membangun dari seluruh pihak pada studi eksperimental ini. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi para pembaca.



Bandung, 5 Januari 2023

Jerrica Pangestu

6101901026



# 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>vi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1-1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan.....	1-4
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-4
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-4
1.5 Metode Penelitian .....	1-6
1.6 Sistematika Penulisan .....	1-6
1.7 Diagram Alir .....	1-7
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>2-1</b>
2.1 Mortar .....	2-1
2.2 Super Sulfated Cement Mortar .....	2-1
2.3 Material Campuran Super Sulfated Cement Mortar .....	2-1
2.3.1 Agregat Halus .....	2-1
2.3.2 Semen Portland (Ordinary Portland Cement).....	2-2
2.3.3 Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS).....	2-2
2.3.4 Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) .....	2-3
2.3.5 Air .....	2-4

2.3.6	Superplasticizer (Sp) .....	2-5
2.4	Pengujian Karakteristik Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i> .....	2-6
2.4.1	Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus .....	2-6
2.4.2	Pengujian <i>Specific Gravity</i> Semen .....	2-6
2.4.3	Pengujian <i>Specific Gravity</i> GGBFS .....	2-7
2.4.4	Pengujian <i>Specific Gravity</i> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	2-7
2.4.5	Pengujian Absorpsi Agregat Halus .....	2-8
2.4.6	Pengujian Analisa Saringan.....	2-8
2.5	Perawatan Benda Uji ( <i>Curing</i> ).....	2-9
2.6	Pengujian <i>Flowability</i> .....	2-9
2.7	Pengujian UPV .....	2-10
2.8	Pengujian VPV .....	2-11
2.9	Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	2-12
2.10	Hubungan Kekuatan Lentur dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV)....	2-13
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Material Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i> .....	3-1
3.1.1	Pasir .....	3-1
3.1.2	Semen OPC .....	3-1
3.1.3	Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) .....	3-2
3.1.4	Natrium Sulfat (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	3-2
3.1.5	Air.....	3-2
3.1.6	Superplasticizer (Sp) .....	3-3
3.2	Pengujian Karakteristik Material Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i> .....	3-3
3.2.1	Pengujian <i>Specific Gravity</i> (SG) .....	3-3
3.2.2	Pengujian Absorpsi Pasir.....	3-7

3.2.3	Pengujian Analisa Saringan .....	3-7
3.3	Perencanaan Campuran.....	3-9
3.3.1	Metode Volume Absolut.....	3-9
3.3.2	Proporsi Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i> .....	3-11
3.4	Pembuatan Benda Uji .....	3-12
3.4.1	Prosedur Pengecoran ( <i>Mixing</i> ).....	3-13
3.4.2	Pengujian <i>Flowability</i> Mortar .....	3-14
3.5	Perawatan Benda Uji ( <i>Curing</i> ) .....	3-15
3.6	Pengujian Benda Uji .....	3-16
3.6.1	Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	3-16
3.6.2	Pengujian <i>Volume of Permeable Voids</i> (VPV).....	3-17
<b>BAB 4</b>	<b>ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Analisis Pengujian <i>Flowability</i> .....	4-1
4.2	Analisis Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	4-2
4.2.1	Analisis Pengujian UPV Variasi 0% SO <sub>3</sub> .....	4-3
4.2.2	Analisis Pengujian UPV Variasi 2,5% SO <sub>3</sub> .....	4-6
4.2.3	Analisis Pengujian UPV Variasi 5% SO <sub>3</sub> .....	4-9
4.2.4	Analisis Pengujian UPV Variasi 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-12
4.2.5	Analisis Pengujian UPV Variasi 10% SO <sub>3</sub> .....	4-15
4.2.6	Analisis Pengujian UPV 100% OPC .....	4-17
4.2.7	Analisis Perbandingan UPV Antar Berbagai Variasi SO <sub>3</sub> Pada Benda Uji 50 × 50 × 200 mm .....	4-21
4.3	Analisis Pengujian <i>Volume of Permeable Voids</i> (VPV).....	4-21
4.4	Analisis Hubungan Kuat Tekan dan UPV .....	4-23
4.4.1	Analisis Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 0% SO <sub>3</sub> .....	4-24
4.4.2	Analisis Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 2,5% SO <sub>3</sub> .....	4-25

4.4.3	Analisis Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 5% SO <sub>3</sub> .....	4-26
4.4.4	Analisis Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-27
4.4.5	Analisis Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 10% SO <sub>3</sub> .....	4-28
4.4.6	Analisis Hubungan Kuat Tekan dan UPV 100% OPC.....	4-29
4.5	Analisis Hubungan Kuat Lentur dan UPV .....	4-29
4.5.1	Analisis Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 0% SO <sub>3</sub> .....	4-30
4.5.2	Analisis Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 2,5% SO <sub>3</sub> .....	4-31
4.5.3	Analisis Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 5% SO <sub>3</sub> .....	4-32
4.5.4	Analisis Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-33
4.5.5	Analisis Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 10% SO <sub>3</sub> .....	4-34
4.5.6	Analisis Hubungan Kuat Lentur dan UPV 100% OPC.....	4-35
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran.....	5-2
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN 1</b>		
<b>LAMPIRAN 2</b>		

## DAFTAR NOTASI

%	:	Persen
ASTM	:	<i>American Society for Testing and Materials</i>
Abs	:	Absorpsi (%)
C	:	Celsius
cm	:	Sentimeter
CO <sub>2</sub>	:	Karbon Dioksida
d	:	Diameter campuran hasil uji <i>flowability</i>
d <sub>0</sub>	:	Diameter awal campuran uji <i>flowability</i>
d <sub>avg</sub>	:	Diameter rata-rata campuran hasil uji <i>flowability</i>
F	:	<i>Flow</i>
$f'_c$	:	Kekuatan tekan mortar
FM	:	<i>Fineness Modulus</i>
$f_r$	:	Kekuatan lentur mortar
GGBFS	:	<i>Ground Granulated Blast-Furnace Slag</i>
g	:	Gram
m	:	meter
mm	:	milimeter
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	:	Natrium sulfat
OD	:	<i>Oven Dry</i>
OPC	:	<i>Ordinary Portland Cement</i>
R <sup>2</sup>	:	Koefisien determinasi
SF	:	<i>Safety factor</i>
SG	:	<i>Specific gravity</i>
SSC	:	<i>Super Sulfated Cement</i>
SNI	:	Standar Nasional Indonesia
Sp	:	<i>Superplasticizer</i>
SO <sub>4</sub>	:	Ion sulfat
SSD	:	<i>Saturated Surface Dry</i>
UPV	:	<i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>
V	:	Volume

$V$	:	Kecepatan rambat gelombang ultrasonik
VPV	:	<i>Volume of Permeable Voids</i>
W	:	Berat
w/b	:	<i>Water-to-binder ratio</i>
w/c	:	<i>Water-to-cement ratio</i>
$\rho$	:	Massa jenis





## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	1-8
<b>Gambar 2.1</b> Proses Pembuatan GGBFS (Ahmad <i>et al.</i> , 2022) .....	2-3
<b>Gambar 2.2</b> Proses Pembuatan GGBFS (Özbay <i>et al.</i> , 2016). .....	2-3
<b>Gambar 2.3</b> <i>Flow Table</i> .....	2-10
<b>Gambar 2.4</b> Alat PUNDIT .....	2-10
<b>Gambar 2.5</b> Metode Langsung Uji UPV .....	2-11
<b>Gambar 2.6</b> Metode Semi Langsung Uji UPV .....	2-11
<b>Gambar 2.7</b> Metode Tidak Langsung Uji UPV .....	2-11
<b>Gambar 3.1</b> Pasir Galunggung .....	3-1
<b>Gambar 3.2</b> <i>Ordinary Portland Cement</i> (OPC) .....	3-1
<b>Gambar 3.3</b> <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i> (GGBFS) .....	3-2
<b>Gambar 3.4</b> Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) .....	3-2
<b>Gambar 3.5</b> Air .....	3-2
<b>Gambar 3.6</b> <i>Superplasticizer</i> Dynamon NRG 1030 .....	3-3
<b>Gambar 3.7</b> Kurva Gradasi Pasir Galunggung .....	3-8
<b>Gambar 3.8</b> Cetakan Prisma $50 \times 50 \times 200$ mm .....	3-14
<b>Gambar 3.9</b> Mixer .....	3-14
<b>Gambar 3.10</b> Pengujian <i>Flowability</i> .....	3-14
<b>Gambar 3.11</b> Electric Flow Table .....	3-15
<b>Gambar 3.12</b> Metode <i>Sealed Curing</i> .....	3-16
<b>Gambar 3.13</b> Alat PUNDIT .....	3-16
<b>Gambar 3.14</b> Kalibrasi pada Alat PUNDIT .....	3-17
<b>Gambar 3.15</b> Pengujian UPV .....	3-17
<b>Gambar 3.16</b> Perendaman Benda Uji VPV .....	3-18
<b>Gambar 3.17</b> Penimbangan Benda Uji di Dalam Air .....	3-19
<b>Gambar 4.1</b> <i>Flowability</i> Campuran Mortar Segar .....	4-2
<b>Gambar 4.2</b> Nilai UPV 0% $\text{SO}_3$ .....	4-3
<b>Gambar 4.3</b> Nilai UPV 0% $\text{SO}_3$ .....	4-5
<b>Gambar 4.4</b> Nilai UPV 2,5% $\text{SO}_3$ .....	4-6
<b>Gambar 4.5</b> Nilai UPV 2,5% $\text{SO}_3$ .....	4-8
<b>Gambar 4.6</b> Nilai UPV 5% $\text{SO}_3$ .....	4-9

<b>Gambar 4.7</b> Nilai UPV 5% SO <sub>3</sub> .....	4-11
<b>Gambar 4.8</b> Nilai UPV 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-12
<b>Gambar 4.9</b> Nilai UPV 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-14
<b>Gambar 4.10</b> Nilai UPV 10% SO <sub>3</sub> .....	4-15
<b>Gambar 4.11</b> Nilai UPV 10% SO <sub>3</sub> .....	4-17
<b>Gambar 4.12</b> Nilai UPV 100% OPC .....	4-18
<b>Gambar 4.13</b> Nilai UPV 100% OPC .....	4-20
<b>Gambar 4.14</b> Perbandingan UPV Antar Berbagai Variasi SO <sub>3</sub> Benda Uji 50 × 50 × 200 mm .....	4-21
<b>Gambar 4.15</b> Grafik Pengujian Volume of Permeable Voids (VPV).....	4-23
<b>Gambar 4.16</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 0% SO <sub>3</sub> .....	4-24
<b>Gambar 4.17</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 2,5% SO <sub>3</sub> .....	4-25
<b>Gambar 4.18</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 5% SO <sub>3</sub> .....	4-26
<b>Gambar 4.19</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-27
<b>Gambar 4.20</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dan UPV Variasi 10% SO <sub>3</sub> .....	4-28
<b>Gambar 4.21</b> Grafik Hubungan Kuat Tekan dan UPV 100% OPC.....	4-29
<b>Gambar 4.22</b> Grafik Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 0% SO <sub>3</sub> .....	4-30
<b>Gambar 4.23</b> Grafik Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 2,5% SO <sub>3</sub> .....	4-31
<b>Gambar 4.24</b> Grafik Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 5% SO <sub>3</sub> .....	4-32
<b>Gambar 4.25</b> Grafik Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-33
<b>Gambar 4.26</b> Grafik Hubungan Kuat Lentur dan UPV Variasi 10% SO <sub>3</sub> .....	4-34
<b>Gambar 4.27</b> Grafik Hubungan Kuat Lentur dan UPV 100% OPC.....	4-35

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Kekuatan Tekan Minimum Mortar Struktural (Sakir <i>et al.</i> , 2020).....	1-2
<b>Tabel 1.2</b> Rekapitulasi Benda Uji VPV .....	1-5
<b>Tabel 1.3</b> Rekapitulasi Benda Uji UPV .....	1-6
<b>Tabel 2.1</b> Persen Lolos Agregat Halus (ASTM C33) .....	2-2
<b>Tabel 3.1</b> Hasil Pengujian SG Pasir Galunggung .....	3-4
<b>Tabel 3.2</b> Hasil Pengujian SG Semen .....	3-5
<b>Tabel 3.3</b> Hasil Pengujian SG GGBFS .....	3-6
<b>Tabel 3.4</b> Hasil Pengujian SG Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	3-6
<b>Tabel 3.5</b> Hasil Pengujian Absorpsi Pasir Galunggung.....	3-7
<b>Tabel 3.6</b> Hasil Pengujian Analisa Saringan .....	3-8
<b>Tabel 3.7</b> Proporsi Campuran <i>Super Sulfated Cement Mortar</i> Per m <sup>3</sup> .....	3-12
<b>Tabel 3.8</b> Proporsi Campuran Mortar dengan 100% OPC Per m <sup>3</sup> .....	3-12
<b>Tabel 4.1</b> <i>Flowability</i> Campuran Mortar Segar .....	4-1
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Pengujian UPV 0% SO <sub>3</sub> .....	4-3
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Pengujian UPV 0% SO <sub>3</sub> .....	4-4
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Pengujian UPV 2,5% SO <sub>3</sub> .....	4-6
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Pengujian UPV 2,5% SO <sub>3</sub> .....	4-7
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Pengujian UPV 5% SO <sub>3</sub> .....	4-9
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Pengujian UPV 5% SO <sub>3</sub> .....	4-10
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Pengujian UPV 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-12
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Pengujian UPV 7,5% SO <sub>3</sub> .....	4-13
<b>Tabel 4.10</b> Hasil Pengujian UPV 10% SO <sub>3</sub> .....	4-15
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Pengujian UPV 10% SO <sub>3</sub> .....	4-16
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Pengujian UPV 100% OPC .....	4-18
<b>Tabel 4.13</b> Hasil Pengujian UPV 100% OPC .....	4-19
<b>Tabel 4.14</b> Perbandingan UPV Antar Berbagai Variasi SO <sub>3</sub> Benda Uji 50 × 50 × 200 mm .....	4-21
<b>Tabel 4.15</b> Hasil Pengujian <i>Volume of Permeable Voids</i> (VPV).....	4-22
<b>Tabel 4.16</b> Interpretasi Koefisien R <sup>2</sup> (Sugiyono, 2014).....	4-23

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Populasi penduduk dunia mengalami peningkatan yang pesat setiap tahunnya. Berdasarkan data populasi penduduk dunia *World Bank*, jumlah penduduk di dunia pada tahun 2016 adalah 7,43 miliar jiwa, sedangkan jumlah penduduk di dunia pada tahun 2021 mencapai angka 7,84 miliar jiwa. Data tersebut menunjukkan angka pertumbuhan penduduk sebesar 410 juta jiwa dalam kurun waktu 5 tahun. Pertumbuhan penduduk yang pesat menyebabkan peningkatan kebutuhan masyarakat akan tempat tinggal dan beberapa fasilitas pendukung lainnya seperti kantor, rumah sakit, sekolah, dan sebagainya.

Salah satu material yang sering digunakan untuk menunjang kebutuhan masyarakat dalam bidang konstruksi adalah mortar. Pada dasarnya, mortar terdiri atas partikel agregat dan media pengikat. Bahan-bahan dasar yang digunakan untuk produksi mortar adalah air, semen sebagai pengikat, dan pasir sebagai agregat halus. Bahan tambahan (*admixture*) dapat dicampurkan ke dalam adukan mortar sebelum atau selama proses pengadukan dilakukan untuk mengubah atau memodifikasi karakteristik mortar. Jika ditinjau dari bahan dasarnya, hal yang membedakan mortar dengan beton adalah agregat kasar yang tidak digunakan dalam pembuatan mortar. Menurut Papayianni *et al.* (1995), mortar dibedakan dalam tiga tipe dasar, yaitu *floor covering mortar*, *rendering mortar*, dan *structural mortar*. Jika mortar digunakan untuk *floor covering* dan *rendering*, maka kekuatan mortar tidak perlu dibuat terlalu tinggi. Akan tetapi, jika mortar digunakan sebagai *structural mortar* dimana mortar digunakan untuk menahan beban eksternal dan memberikan kekuatan pada struktur, maka diperlukan mortar dengan kekuatan tinggi. Persyaratan kekuatan tekan mortar struktural untuk setiap tujuan penggunaan ditunjukkan pada Tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Kekuatan Tekan Minimum Mortar Struktural (Sakir *et al.*, 2020)

Purpose	Minimum Strength at 28 Days (MPa)
Masonry work (ASTM Type M)	17,2
Structural repair (EN Class R3)	25,0
Concrete repair	27,6
Thin reinforced cementitious products	35,0
Structural repair (EN Class R4)	45,0

Seiring dengan pertumbuhan kebutuhan infrastruktur, produksi dan permintaan semen sebagai material utama dalam pembuatan mortar juga meningkat. Produksi semen merupakan salah satu industri yang menghasilkan emisi gas CO<sub>2</sub> dalam jumlah besar. Menurut Adeyanju dan Okeke (2019), produksi semen menyumbang 5-7% dari seluruh emisi gas CO<sub>2</sub> di dunia. Dalam proses produksi semen, dihasilkan 40% emisi gas CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar fosil yang diolah dengan suhu tinggi, 10% emisi gas CO<sub>2</sub> oleh penggunaan bahan bakar untuk mengangkut bahan baku semen, dan 50% emisi gas CO<sub>2</sub> oleh hasil reaksi kimia yang terjadi dari proses pengolahan material-material pada semen.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk mengurangi dampak buruk dari kegiatan produksi semen, salah satunya adalah *Super Sulfated Cement* (SSC). SSC merupakan jenis semen yang menggunakan *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) sebagai bahan baku utama, sulfat aktivator dan alkali aktivator. GGBFS merupakan limbah hasil pengolahan bijih besi yang dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan apabila tidak diolah dengan baik dalam jangka waktu tertentu. Apabila GGBFS dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton atau mortar, GGBFS yang semula merupakan limbah hasil pengolahan bijih besi beralih fungsi menjadi material konstruksi yang bersifat ramah lingkungan. Meskipun mortar dan beton yang terbuat dari SSC cenderung membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengeras dibandingkan dengan mortar dan beton yang terbuat dari *Ordinary Portland Cement* (OPC), emisi gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan lebih sedikit. Hal ini disebabkan karena bahan baku SSC hanya perlu digiling hingga didapatkan tingkat kehalusan tertentu sehingga tidak membutuhkan energi yang besar (*low energy*). Selain itu, limbah industri digunakan kembali menjadi material konstruksi yang berguna sehingga tidak mencemari lingkungan.



Durabilitas beton diartikan sebagai kemampuan beton tersebut untuk mencegah pelapukan, serangan bahan kimia, abrasi, atau proses kerusakan lainnya agar dapat tetap mempertahankan bentuk, kualitas dan *serviceability* nya ketika terekspos pada kondisi lingkungan saat digunakan. Meskipun kerusakan material terkait durabilitas tidak menyebabkan masalah keamanan secara langsung, kerusakan tersebut dapat menyebabkan kerusakan struktural secara progresif yang memberi potensi bahaya pada struktur (Tang *et al.*, 2015). Durabilitas mortar yang baik dapat ditentukan melalui beberapa cara, dua diantaranya adalah dengan mengetahui *Volume of Permeable Voids* (VPV) dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).

VPV didefinisikan sebagai volume rongga permeabel pada beton. Tujuan dilakukannya tes VPV adalah untuk memperkirakan volume ruang pori permeabel pada beton dalam berbagai keadaan seperti *dry*, *saturated* dan *saturated-boiled oven* (Matarul *et al.*, 2015). Material dengan pori-pori atau rongga permeabel yang lebih sedikit lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang agresif dibandingkan material dengan rongga permeabel yang lebih banyak. Oleh sebab itu, tes VPV penting untuk dilakukan untuk mengetahui apakah material memiliki durabilitas yang baik. UPV merupakan metode pengujian non-destruktif yang biasa digunakan untuk menilai atau memperkirakan homogenitas, retak, atau cacat yang ada pada beton (Cao *et al.*, 2021). Pada tes UPV, gelombang ultrasonik dilewatkan melalui benda uji dan diukur kecepatannya. Semakin tinggi kecepatan gelombang ultrasonik, maka kualitas material semakin baik karena kecepatan yang tinggi mengindikasikan sedikitnya jumlah rongga udara atau retak pada material tersebut.

Pada studi eksperimental ini, digunakan natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) sebagai sulfat aktivator karena adanya kandungan senyawa aktivator seperti  $\text{SO}_3$  yang memiliki kemampuan *self-cementing*, sama dengan semen Portland (Nguyen *et al.*, 2015), sehingga dapat mempercepat proses hidrasi pada SSC. *Pemanfaatan* limbah industri berupa GGBFS sebagai pengganti sebagian semen diharapkan dapat menghasilkan material yang bersifat ramah lingkungan. Pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian VPV dan UPV.



## 1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dari studi eksperimental ini adalah mengetahui pengaruh variasi kadar  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  terhadap durabilitas *super sulfated cement mortar*, dimana durabilitas mortar ditentukan dari nilai VPV dan UPV. Dari hasil pengujian akan dirumuskan hubungan antara properti mekanis dan nilai UPV dari setiap variasi kadar  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang telah ditetapkan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Mengetahui nilai *Volume of Permeable Voids super sulfated cement mortar* dengan variasi kadar  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
2. Mengetahui nilai *Ultrasonic Pulse Velocity super sulfated cement mortar* dengan variasi kadar  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
3. Membuat korelasi nilai *Ultrasonic Pulse Velocity* dengan nilai kekuatan tekan dan lentur *super sulfated cement mortar* dengan variasi kadar  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dimana nilai kekuatan tekan dan lentur didapatkan dari data sekunder

## 1.4 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini, pembatasan masalah yang ada ditentukan sebagai berikut:

1. Agregat halus berasal dari penambangan pasir di kaki Gunung Galunggung.
2. Semen yang digunakan adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC) dari PT. Wika Beton, Tbk.
3. *Slag* yang digunakan adalah GGBFS dari PT. KRNG Indonesia.
4.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dari PT. Brataco (Bratachem).
5. *Superplasticizer* (SP) yang digunakan adalah Dynamon NRG 1030 (Tipe C dan Tipe F) berdasarkan ASTM C109.
6. Perencanaan campuran menggunakan metode volume absolut.
7. Penggunaan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang berfungsi sebagai *sulfate activator* ditetapkan dengan kadar  $\text{SO}_3$  sebesar 0, 2,5, 5, 7,5, dan 10% yang ekuivalen dengan kadar  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebesar 0%, 4,44%, 8,88%, 13,31%, dan 17,75% terhadap *binder*.

8. Penggunaan OPC yang berfungsi sebagai *alkaline activator* ditentukan sebesar 5%.
9. *Water-to-binder (w/b)* ratio ditetapkan sebesar 0,4 berdasarkan *trial mix*.
10. *Workability* mortar segar ditentukan dengan pengujian *flowability* berdasarkan ASTM C109.
11. Metode perawatan dengan metode *sealed curing*.
12. *Volume of Permeable Voids* diuji pada benda uji prisma dengan ukuran  $50 \times 50 \times 200$  mm pada umur 28 hari dengan mengambil nilai rata-rata dari minimum 3 buah benda uji (Sesuai ASTM C642).
13. *Ultrasonic Pulse Velocity* diuji pada benda uji prisma dengan ukuran  $50 \times 50 \times 200$  mm pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari dengan mengambil nilai rata-rata dari minimum 3 buah benda uji (Sesuai ASTM C597).
14. Jumlah total benda uji adalah sebanyak 30 buah prisma dengan ukuran  $50 \times 50 \times 200$  mm seperti terlihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2.

**Tabel 1.2** Rekapitulasi Benda Uji VPV

Variasi $\text{Na}_2\text{SO}_4$ [%]	Jenis Benda Uji	Umur Pengujian [hari]	Jumlah Benda Uji [buah]
0	Prisma $50 \times 50 \times 200$ mm	28	3
2,5			3
5			3
7,5			3
10			3
Total Benda Uji			15

**Tabel 1.3** Rekapitulasi Benda Uji UPV

Variasi $\text{Na}_2\text{SO}_4$	Jenis Benda Uji	Umur Pengujian	Jumlah Benda Uji
[%]		[hari]	[buah]
0			3
2,5	Prisma $50 \times 50 \times 200$ mm	7, 14, 28, dan 56	3
5			3
7,5			3
10			3
Total Benda Uji			15

### 1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan melakukan kajian terhadap beberapa sumber berupa jurnal, *paper*, buku, dan karya tulis ilmiah untuk menambah pengetahuan dan wawasan yang berhubungan dengan penelitian.

#### 2. Studi Eksperimental

Studi eksperimental dilakukan secara langsung di Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan, mulai dari persiapan material, pembuatan benda uji dan pengujian benda uji.

#### 3. Analisis Data

Analisis data merupakan tahap pengolahan yang dilakukan terhadap seluruh data hasil eksperimen untuk mencapai tujuan penelitian.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi dibagi dalam 5 bab, yaitu:

#### **BAB 1           PENDAHULUAN**

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

#### **BAB 2           TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi landasan teori yang digunakan sebagai acuan untuk melakukan penelitian dan menyusun skripsi ini.

### **BAB 3           METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang prosedur penelitian yang meliputi persiapan material, pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

### **BAB 4           ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

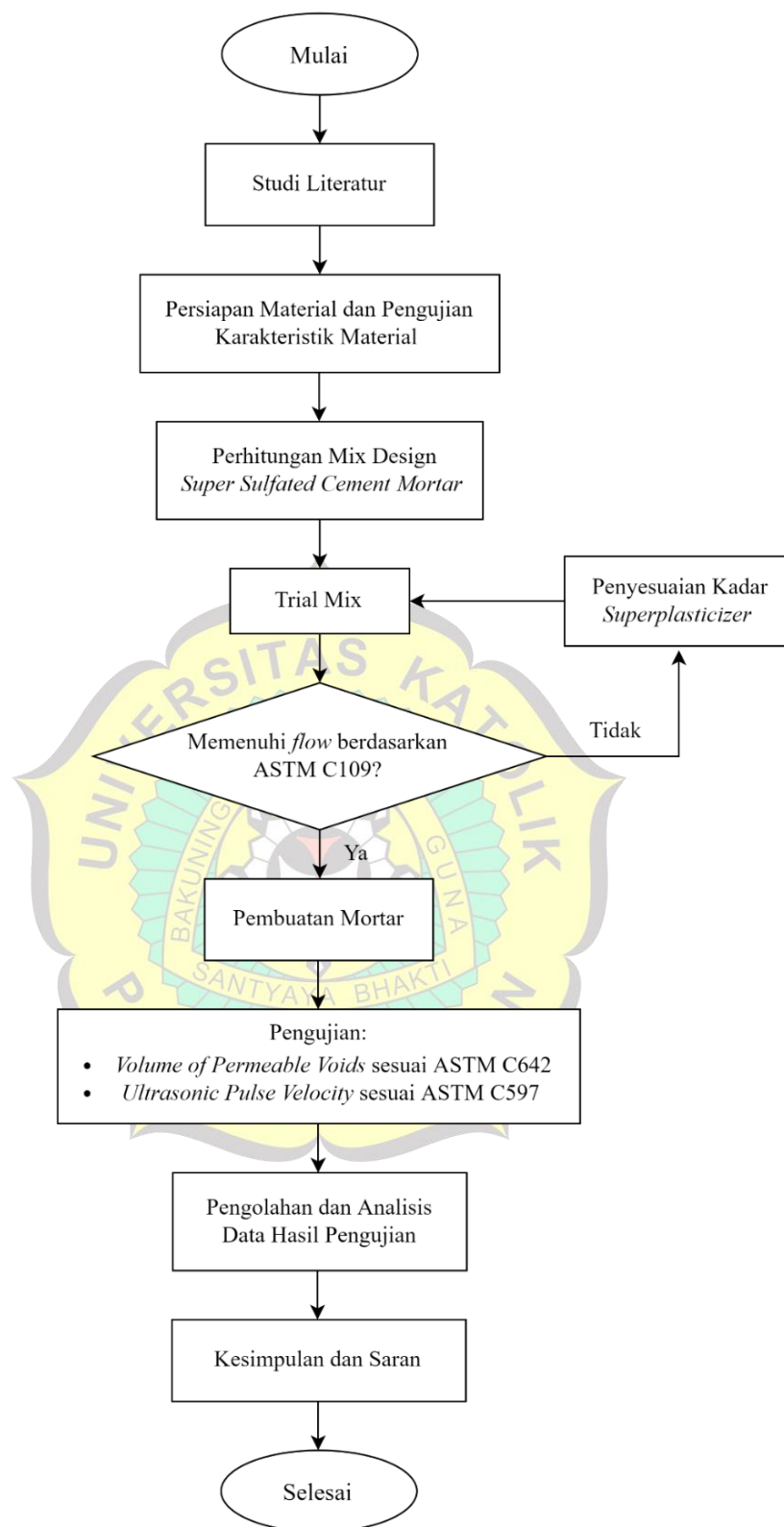
Bab ini membahas mengenai proses pengolahan data hasil pengujian benda uji di laboratorium.

### **BAB 5           KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan atas hasil yang diperoleh dari pengujian dan saran untuk kegiatan penelitian di masa depan.

#### **1.7    Diagram Alir**





**Gambar 1.1** Diagram Alir Penelitian