

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KADAR  
NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN  
MODULUS ELASTISITAS BETON *SUPER SULFATED*  
*CEMENT***



**JONATHAN HADINATA  
NPM : 6101901012**

**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  
NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN  
MODULUS ELASTISITAS BETON *SUPER SULFATED*  
*CEMENT***



**JONATHAN HADINATA  
NPM : 6101901012**

**BANDUNG, 10 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**

## LEMBAR PERNYATAAN

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

Nama : JONATHAN HADINATA

NPM : 6101901012

Program Studi : TEKNIK SIPIL

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KADAR NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN & MODULUS ELASTISITAS BETON *SUPER SULFATED CEMENT*

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 26 Juli 2023



JONATHAN HADINATA

# STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KADAR NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON *SUPER SULFATED CEMENT*

**Jonathan Hadinata**  
**NPM: 6101901012**

**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**

*Super sulfated cement* dapat digunakan menjadi alternatif bahan pengganti semen Portland dalam pembuatan beton. Selain menghasilkan semen yang ramah lingkungan, beton yang dibuat menggunakan *super sulfated cement* memiliki kekuatan tekan yang setara dengan beton berbahan dasar semen Portland sesuai dengan klasifikasi ACI 211.1-91. Properti mekanis beton yang baik dapat diperoleh dengan komposisi sulfat yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh variasi kadar natrium sulfat terhadap kekuatan tekan dan modulus elastisitas beton *super sulfated cement*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapat bahwa nilai kekuatan tekan dan modulus elastisitas beton *super sulfated cement* optimum tercapai pada persentase sulfat 10% dengan kekuatan tekan tertinggi dicapai sebesar 29,2 MPa dan modulus elastisitas tertinggi dicapai pada 17700,89 MPa. Campuran beton yang tidak menggunakan sulfat memiliki nilai kekuatan tekan dan modulus elastisitas sebesar 8,9 MPa dan 10031,47 MPa. Sementara pada variasi sulfat 20%, kekuatan tekan 28 hari lebih rendah 14,5% dibandingkan dengan variasi sulfat 10%. Namun, kekuatan tekan awal pada umur 7 hari lebih tinggi 21,4% dibandingkan dengan variasi sulfat 10%. Hal tersebut menunjukkan bahwa kadar sulfat mempengaruhi properti mekanik dari beton *super sulfated cement*. Bila sulfat yang dipakai sedikit, maka proses hidrasi dalam beton menjadi lambat sehingga tidak mampu mencapai kekuatan tekan yang disyaratkan. Namun, bila sulfat yang dipakai berlebih, maka kekuatan tekan yang diperoleh menjadi lebih rendah dikarenakan kadar sulfat yang berlebih menyebabkan akumulasi kalsium sulfoaluminat hidrat yang dapat berpengaruh buruk terhadap properti mekanik beton *super sulfated cement*.

**Kata Kunci:** beton *super sulfated cement*, kekuatan tekan, modulus elastisitas, natrium sulfat, properti mekanik

# **EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF SODIUM SULFATE VARIATIONS ON COMPRESSIVE STRENGTH AND ELASTIC MODULUS OF SUPER SULFATED CEMENT CONCRETE**

**Jonathan Hadinata**  
**NPM: 6101901012**

**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**  
**AUGUST 2023**

## **ABSTRACT**

Super sulfated cement can be utilized as an alternative to Portland cement substitution in the manufacture of concrete. In addition to producing environmentally friendly cement, concrete made using super sulfated cement has an equivalent compressive strength when compared to Portland cement-based concrete, according to the ACI 211.1-91 classification. Good mechanical properties in concrete can be obtained with an exact sulfate percentage. This study aims to investigate the effect of sodium sulfate variations on the compressive strength and modulus of elasticity of super sulfated cement concrete. Based on the result, it was found that the optimum values of compressive strength and modulus of elasticity of super sulfated cement concrete were achieved at a sulfate percentage of 10%, with the highest compressive strength achieved at 29.2 MPa and the highest modulus of elasticity achieved at 17700.89 MPa. Concrete mixtures without sulfate addition have compressive strength and elastic modulus values of 8.9 MPa and 10031.47 MPa, respectively. With the 20% sulfate percentage, the compressive strength of 28 days was 14.5% lower than the 10% sulfate variation. However, the initial compressive strength at the age of 7 days was 21.4% greater than the 10% sulfate percentage. This phenomenon showed that the sulfate content affected the mechanical properties of super sulfated cement concrete. When a small amount of sulfate is used, the hydration process in the concrete tends to be slower and unable to achieve the required compressive strength. However, if sulfate is used excessively, a lower compressive strength is obtained because excess sulfate percentage will cause the accumulation of hydrated calcium sulfoaluminate, which can adversely affect the mechanical properties of super sulfated cement concrete.

**Keywords:** compressive strength, modulus of elasticity, sodium sulfate, super sulfated concrete, mechanical property

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmatNya penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KADAR NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON *SUPER SULFATED CEMENT*.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu kriteria kelulusan akademik dari Program Studi Sarjana Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan. Dalam proses penyusunan, penulis menerima bantuan berupa bimbingan, motivasi, serta dukungan doa dari awal proses penyusunan hingga rampungnya laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang telah membimbing proses penyusunan skripsi, memberikan wawasan, saran, serta dukungan dari awal hingga terselesaikannya laporan ini
2. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang sudah hadir dan memberikan masukan dan saran selama seminar judul, seminar isi, dan sidang skripsi
3. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T. selaku kepala pengujian laboratorium struktur Universitas Katolik Parahyangan yang telah membantu penulis dalam proses pengujian material dan benda uji terutama dalam proses pengujian kekuatan tekan dan modulus elastisitas beton
4. Bapak Markus Didi G dan Bapak Heri Rustandi selaku staf laboratorium struktur Universitas Katolik Parahyangan yang telah membantu penulis dalam proses pembuatan benda uji yang meliputi persiapan material, pengecoran, hingga proses *grinding*
5. Papah, mamah, Michelle, dan segenap keluarga yang sudah memberikan semangat dan dukungan dalam doa setiap saatnya
6. Lucky Manuel yang sudah menjadi rekan seperjuangan dalam melakukan pengujian material, pembuatan benda uji, dan proses penyusunan laporan skripsi

7. Albert Susanto yang sudah memberikan arahan dan bantuan dalam melakukan pengujian material hingga pengujian benda uji serta sudah bersedia menjadi mentor selama satu semester menyusun skripsi
8. Teman – teman wanita struktur: Lucky, Ko Acus, Silvi, Chika, Athaya, Ira, dan Bianca yang sudah banyak membantu dan memberikan masukan dalam proses penyusunan laporan skripsi ini
9. Teman – teman Casagrande: Tommy, Andrea, Itin, Berto, Adrian, Willie, Athaya, Ira, Eka, Pasya, Chauyun, Richard, dan Baga yang sudah menemani dan memberikan banyak dukungan pada penulis selama masa perkuliahan

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan skripsi yang telah disusun ini memiliki kekurangan sehingga dapat dikatakan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima setiap saran dan kritik yang disampaikan untuk melengkapi kekurangan – kekurangan yang terdapat sehingga dapat menjadi bahan pembelajaran bagi penulis dalam menyusun laporan penelitian serupa. Penulis berharap bahwa laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif bagi siapapun yang membacanya.

Bandung, 26 Juli 2023



Jonathan Hadinata

6101901012

# DAFTAR ISI

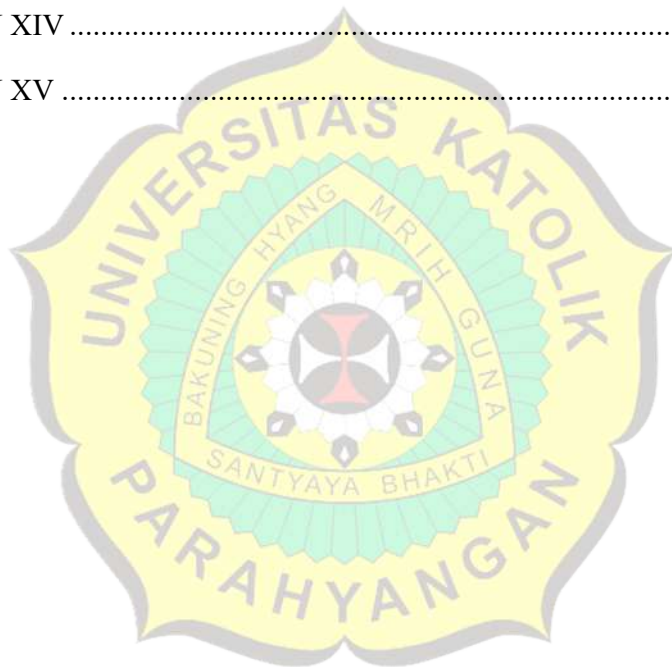
LEMBAR PERNYATAAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
PRAKATA .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR NOTASI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Inti Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
1.7 Diagram Alir.....	6
BAB 2 .....	7
2.1 Beton.....	7
2.2 <i>Super sulfated cemented Cement Concrete</i> .....	9
2.3 Material Beton.....	10
2.3.1 Semen .....	10
2.3.2 <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)</i> .....	12
2.3.3 Aktivator Sulfat.....	13



2.3.4 Aktivator Alkali .....	14
2.3.5 Agregat Halus .....	14
2.3.6 Agregat Kasar .....	15
2.3.7 Air.....	16
2.4 Metode Pengujian.....	17
2.4.1 Uji Slump.....	17
2.4.2 Uji Kekuatan Tekan.....	17
2.4.3 Uji Modulus Elastisitas.....	18
2.4.4 Uji Rasio Poisson .....	20
2.4.5 Modulus Geser Beton.....	21
BAB 3 .....	22
3.1 Material Penyusun Beton.....	22
3.1.1 Semen .....	22
3.1.2 Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS).....	22
3.1.3 Natrium Sulfat.....	23
3.1.4 Agregat Kasar .....	23
3.1.5 Agregat Halus .....	24
3.1.6 Air.....	24
3.2 Benda Uji Campuran Beton.....	25
3.3 Pengujian Material Campuran Beton .....	26
3.3.1 Pengujian Massa Jenis Semen .....	26
3.3.2 Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus .....	28
3.3.3 Pengujian Absorpsi Agregat Halus .....	30
3.3.4 Pengujian Saringan Agregat Halus .....	32
3.3.5 Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Kasar .....	34
3.3.6 Pengujian Absorpsi Agregat Kasar .....	36

3.3.7 Pengujian Saringan Agregat Kasar .....	37
3.3.8 Pengujian Berat Isi Campuran Agregat Kasar dan Agregat Halus .....	39
3.4 Perhitungan Proporsi Campuran Beton .....	41
3.5 Pembuatan Benda Uji .....	43
3.5.1 Pengecoran Beton.....	43
3.5.2 Perawatan Benda Uji.....	45
3.6 Pengujian Beton .....	46
3.6.1 Pengujian Kuat Tekan Beton .....	46
3.6.2 Pengujian Modulus Elastisitas Beton.....	47
BAB 4 .....	49
4.1 Analisis Uji <i>Slump</i> Beton.....	49
4.2 Analisis Uji Kuat Tekan Beton.....	50
4.3 Analisis Faktor Umur .....	53
4.4 Analisis Uji Modulus Elastisitas Beton.....	54
4.5 Hubungan Modulus Elastisitas Dengan Kuat Tekan Beton .....	65
4.6 Analisis Uji Rasio Poisson Beton .....	66
4.7 Analisis Modulus Geser Beton .....	67
BAB 5 .....	68
5.1 Kesimpulan .....	68
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA .....	70
LAMPIRAN I.....	73
LAMPIRAN II .....	75
LAMPIRAN III .....	77
LAMPIRAN IV .....	79
LAMPIRAN V .....	81

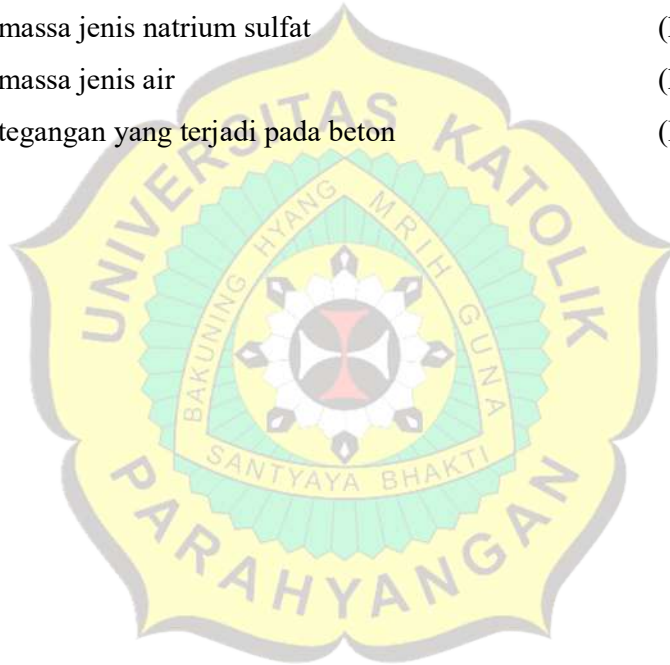
LAMPIRAN VI.....	83
LAMPIRAN VII.....	85
LAMPIRAN VIII.....	87
LAMPIRAN IX.....	89
LAMPIRAN X.....	90
LAMPIRAN XI.....	92
LAMPIRAN XII.....	96
LAMPIRAN XIII.....	100
LAMPIRAN XIV.....	104
LAMPIRAN XV.....	108



## DAFTAR NOTASI

A	: absoprsi agregat	(%)
C <sub>3</sub> A	: trikalsium aluminat	
CSA	: kalsium sulfoaluminat hidrat ( <i>ettringate</i> )	
E	: modulus elastisitas beton	(MPa)
f <sub>c</sub>	: kekuatan tekan silinder beton	(MPa)
G	: modulus geser beton	(MPa)
GGBFS	: <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i>	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: natrium sulfat	
OD	: <i>oven-dry</i> (kering oven)	
OPC	: <i>Ordinary Portland Cement</i>	
S <sub>1</sub>	: tegangan pada saat beton mengalami regangan 0,0005	(MPa)
S <sub>2</sub>	: tegangan pada 40% tegangan ultimit beton	(MPa)
SG <sub>CA</sub>	: <i>specific gravity</i> agregat kasar	
SG <sub>FA</sub>	: <i>specific gravity</i> agregat halus	
SO <sub>3</sub>	: sulfur trioksida	
SSC	: <i>super sulfated cement</i>	
SSD	: <i>surface saturated dry</i> (kondisi jenuh air)	
V <sub>agg</sub>	: volume agregat	(m <sup>3</sup> )
V <sub>air</sub>	: estimasi volume rongga udara	(m <sup>3</sup> )
V <sub>c</sub>	: volume semen (OPC)	(m <sup>3</sup> )
V <sub>CA</sub>	: volume agregat kasar	(m <sup>3</sup> )
V <sub>FA</sub>	: volume agregat halus	(m <sup>3</sup> )
V <sub>p</sub>	: volume pasta semen	(m <sup>3</sup> )
V <sub>w</sub>	: volume air	(m <sup>3</sup> )
W <sub>c</sub>	: berat semen (OPC)	(kg)
W <sub>CA</sub>	: berat agregat kasar	(kg)
W <sub>FA</sub>	: berat agregat halus	(kg)
W <sub>OD</sub>	: berat agregat dalam kondisi SSD	(kg)
W <sub>SSD</sub>	: berat agregat dalam kondisi SSD	(kg)
W <sub>w</sub>	: berat air	(kg)
α	: persentase agregat halus terhadap campuran agregat optimum	(%)

$\beta$	: persentase $\text{SO}_3$	(%)
$\Delta l$	: perubahan panjang longitudinal	(mm)
$\Delta l_t$	: perubahan panjang transversal	(mm)
$\epsilon_2$	: regangan pada 40% tegangan ultimit beton	
$\epsilon_{t1}$	: regangan transversal pada saat tegangan $S_1$	
$\epsilon_{t2}$	: regangan transversal pada saat tegangan $S_2$	
$\lambda/(w/b)$	: rasio air terhadap <i>binder</i>	
$\nu$	: Rasio Poisson	
$\rho_c$	: massa jenis semen (OPC)	( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho_{\text{GGBFS}}$	: massa jenis GGBFS	( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho_{\text{Na}_2\text{SO}_4}$	: massa jenis natrium sulfat	( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho_w$	: massa jenis air	( $\text{kg/m}^3$ )
$\sigma$	: tegangan yang terjadi pada beton	(MPa)



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b> Grafik Kuat Tekan Beton Untuk Berbagai Jenis Binder (Mindess et al., 2003) .....	2
<b>Gambar 1. 2</b> Diagram Alir .....	6
<b>Gambar 2. 1</b> Retakan Pada Beton Akibat Serangan Sulfat (Germain, 2008).....	9
<b>Gambar 2. 2</b> Diagram Ternari Bahan Sementitus (Lothenbach et al., 2011) .....	13
<b>Gambar 2. 3</b> Compression Testing Machine .....	18
<b>Gambar 2. 4</b> Kurva Tipikal Tegangan Regangan Beton .....	19
<b>Gambar 2. 5</b> Ilustrasi Regangan Transversal & Longitudinal Pada Material.....	20
<b>Gambar 2. 6</b> Ilustrasi Deformasi Akibat Gaya Geser Pada Material .....	21
<b>Gambar 3. 1</b> Ordinary Portland Cement.....	22
<b>Gambar 3. 2</b> Ground Granulated Blast Furnace Slag.....	22
<b>Gambar 3. 3</b> Natrium Sulfat.....	23
<b>Gambar 3. 4</b> Agregat Kasar .....	23
<b>Gambar 3. 5</b> Agregat Halus .....	24
<b>Gambar 3. 6</b> Air .....	24
<b>Gambar 3. 7</b> Benda Uji Silinder 100 × 200 mm .....	25
<b>Gambar 3. 8</b> Labu Le Chatelier .....	27
<b>Gambar 3. 9</b> Piknometer.....	29
<b>Gambar 3. 10</b> Kerucut Abram.....	31
<b>Gambar 3. 11</b> Pola Keruntuhan Agregat Halus Pada Kondisi SSD.....	31
<b>Gambar 3. 12</b> Mesin Siever Shaker.....	32
<b>Gambar 3. 13</b> Kurva Gradasi Agregat Halus.....	34
<b>Gambar 3. 14</b> Proses Merendam Agregat Menjadi SSD.....	35
<b>Gambar 3. 15</b> Ember Besi .....	35
<b>Gambar 3. 16</b> Mesin Shieve Shaker Agregat Kasar.....	38
<b>Gambar 3. 17</b> Kurva Regresi Berat Isi Campuran Agregat Halus & Kasar .....	41
<b>Gambar 3. 18</b> Pemberian Oli Pada Cetakan .....	44
<b>Gambar 3. 19</b> Mesin Molen .....	45
<b>Gambar 3. 20</b> Kerucut Slump .....	45
<b>Gambar 3. 21</b> Sealed Curing.....	46
<b>Gambar 3. 22</b> Mesin Grinding .....	46

<b>Gambar 3. 23</b> Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	47
<b>Gambar 3. 24</b> Compressometer .....	48
<b>Gambar 3. 25</b> Pengujian Modulus Elastisitas Beton.....	48
<b>Gambar 4. 1</b> Slump Beton SSC Variasi 0% .....	49
<b>Gambar 4. 2</b> Slump Beton SSC Variasi 10% .....	50
<b>Gambar 4. 3</b> Slump Beton SSC Variasi 20% .....	50
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik Kekuatan Tekan Beton <i>Super sulfated cement</i> Dengan Variasi Sulfat.....	52
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik Kuat Tekan Regresi Beton <i>Super sulfated cement</i> .....	54
<b>Gambar 4. 6</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 0% Sampel 1 .....	60
<b>Gambar 4. 7</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 0% Sampel 2.....	61
<b>Gambar 4. 8</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 0% Sampel 3 .....	61
<b>Gambar 4. 9</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 10% Sampel 1 .....	62
<b>Gambar 4. 10</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 10% Sampel 2..	62
<b>Gambar 4. 11</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 10% Sampel 3 ...	63
<b>Gambar 4. 12</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 20% Sampel 1 ..	63
<b>Gambar 4. 13</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 20% Sampel 2..	64
<b>Gambar 4. 14</b> Kurva Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 20% Sampel 3 ..	64



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1. 1.</b> Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Kuat Tekan Beton SSC .....	4
<b>Tabel 1. 2.</b> Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Modulus Elastisitas Beton SSC .....	4
<b>Tabel 2. 1</b> Proporsi Senyawa Kimia Dalam GGBFS (Rubert, 2018) .....	12
<b>Tabel 2. 2</b> Batasan Gradasi Agregat Halus Menurut ASTM C33 .....	15
<b>Tabel 2. 3</b> Batasan Gradasi Agregat Kasar Menurut ASTM C33 .....	16
<b>Tabel 3. 1</b> Jumlah Benda Uji Beton SSC .....	25
<b>Tabel 3. 2</b> Penentuan Massa Jenis OPC .....	27
<b>Tabel 3. 3</b> Penentuan Massa Jenis GGBFS .....	27
<b>Tabel 3. 4</b> Penentuan Massa Jenis $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .....	28
<b>Tabel 3. 5</b> Penentuan Specific Gravity Agregat Halus .....	29
<b>Tabel 3. 6</b> Penentuan Absorpsi Agregat Halus.....	31
<b>Tabel 3. 7</b> Hasil Uji Saringan Agregat Halus Sampel 1.....	33
<b>Tabel 3. 8</b> Hasil Uji Saringan Agregat Halus Sampel 2.....	33
<b>Tabel 3. 9</b> Penentuan Massa Jenis Agregat Kasar .....	36
<b>Tabel 3. 10</b> Penentuan Absorpsi Agregat Kasar.....	37
<b>Tabel 3. 11</b> Penentuan Ukuran Agregat Maksimum Nominal Sampel 1 .....	38
<b>Tabel 3. 12</b> Penentuan Ukuran Agregat Maksimum Nominal Sampel 2.....	39
<b>Tabel 3. 13</b> Penentuan Berat Isi Campuran Agregat Kasar & Halus Optimum ...	40
<b>Tabel 3. 14</b> Proporsi Campuran Beton Semen Biasa Per $1 \text{ m}^3$ .....	43
<b>Tabel 3. 15</b> Proporsi Campuran Beton <i>Super sulfated cement</i> Per $1 \text{ m}^3$ .....	43
<b>Tabel 4. 1</b> Nilai Slump Pada Beton SSC Dengan Variasi Nilai $\text{SO}_3$ .....	49
<b>Tabel 4. 2</b> Kekuatan Tekan Beton <i>Super sulfated cement</i> Dengan Variasi $\text{SO}_3$ 0% .....	51
<b>Tabel 4. 3</b> Kekuatan Tekan Beton <i>Super sulfated cement</i> Dengan Variasi $\text{SO}_3$ 10% .....	51
<b>Tabel 4. 4</b> Kekuatan Tekan Beton <i>Super sulfated cement</i> Dengan Variasi $\text{SO}_3$ 20% .....	52
<b>Tabel 4. 5</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 0% Sampel 1 .....	55
<b>Tabel 4. 6</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 0% Sampel 2 .....	55
<b>Tabel 4. 7</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 0% Sampel 3 .....	56



<b>Tabel 4. 8</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 10% Sampel 1 .....	56
<b>Tabel 4. 9</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 10% Sampel 2 .....	57
<b>Tabel 4. 10</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 10% Sampel 3 .....	57
<b>Tabel 4. 11</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 20% Sampel 1 .....	58
<b>Tabel 4. 12</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 20% Sampel 2 .....	59
<b>Tabel 4. 13</b> Nilai Tegangan Regangan Beton SSC Variasi 20% Sampel 3 .....	60
<b>Tabel 4. 14</b> Nilai Modulus Elastisitas Beton SSC .....	65
<b>Tabel 4. 15</b> Nilai Koefisien Hubungan Kekuatan Tekan Dengan Modulus Elastisitas Beton SSC.....	66
<b>Tabel 4. 16</b> Penentuan Nilai Rasio Poisson Beton SSC.....	66
<b>Tabel 4. 17</b> Penentuan Nilai Modulus Geser Beton SSC.....	67



## DAFTAR LAMPIRAN

PENGUJIAN DENSITAS SEMEN PORTLAND (OPC).....	73
PENGUJIAN DENSITAS GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG (GGBFS).....	75
PENGUJIAN DENSITAS NATRIUM SULFAT ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) .....	77
PENGUJIAN <i>BULK SPECIFIC GRAVITY</i> AGREGAT HALUS .....	79
PENGUJIAN <i>BULK SPECIFIC GRAVITY</i> AGREGAT KASAR.....	81
PENGUJIAN ABSORPSI AGREGAT HALUS .....	83
PENGUJIAN ABSORPSI AGREGAT KASAR .....	85
PENGUJIAN SARINGAN AGREGAT HALUS.....	87
PENGUJIAN SARINGAN AGREGAT KASAR.....	89
PENGUJIAN BERAT ISI CAMPURAN AGREGAT HALUS & KASAR.....	90
MIX DESIGN BETON <i>SUPER SULFATED CEMENT</i> DENGAN KADAR $\text{SO}_3$ 0%.....	92
MIX DESIGN BETON <i>SUPER SULFATED CEMENT</i> DENGAN KADAR $\text{SO}_3$ 10%.....	96
MIX DESIGN BETON <i>SUPER SULFATED CEMENT</i> DENGAN KADAR $\text{SO}_3$ 20%.....	100
PERHITUNGAN KUAT TEKAN REGRESI UNTUK ANALISIS FAKTOR UMUR.....	104
LAPORAN HASIL PENGUJIAN KUALITAS AIR LABORATORIUM TEKNIK STRUKTUR .....	108

# BAB I

## PENDAHULUAN

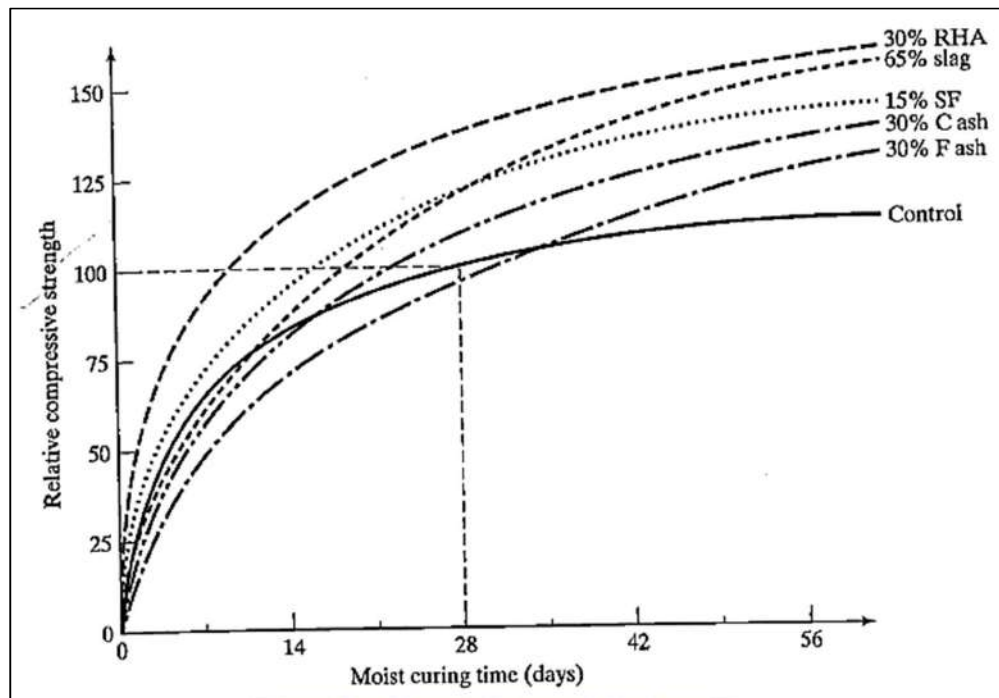
### 1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material yang sering digunakan dalam berbagai macam infrastruktur. Hal ini dikarenakan material beton yang sangat mudah didapat dan dimodifikasi. Selain mudah untuk dikerjakan dan dibentuk, beton juga merupakan material yang ekonomis bila ditinjau dari biaya konstruksi, operasional, dan perawatan (Sivakugan et. al., 2018). Di Indonesia sendiri, penggunaan material ini sudah mencapai lebih dari 60% dalam konstruksi infrastruktur sederhana maupun kompleks (Kementerian PUPR, 2013). Terlepas dari berbagai keunggulan yang dimiliki beton, penggunaan material ini sebagai bahan baku pembangunan infrastruktur menghadapi masalah yang cukup serius.

Salah satu material penyusun beton, yaitu semen, menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang signifikan. Proses pembuatan semen berkontribusi sebesar 8% dalam menyumbang emisi gas rumah kaca dimana emisi tersebut berasal dari proses pembakaran dan reaksi kimiawi untuk membuat semen (Lehne & Preston, 2018). Dengan proyeksi bahwa pembangunan infrastruktur menggunakan material beton terus meningkat, akumulasi dari emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh industri semen dapat mencapai 470 GT dalam rentang 30 tahun kedepan (Seto et. al., 2014). Hal ini diperburuk dengan fakta bahwa pabrik semen di Indonesia masih mengandalkan tenaga batu bara dalam melakukan memproduksi klinker semen (Kementerian ESDM, 2020). Oleh karena itu, diperlukan suatu material alternatif yang dapat menggantikan material semen sebagai bahan pengikat dalam membuat beton.

Terdapat beberapa material yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen karena memiliki sifat yang sementitus dan pozzolanik, salah satunya adalah GGBFS. Berdasarkan ASTM C985 - 95, GGBFS atau *ground granulated blast furnace slag* merupakan limbah hasil pengolahan bijih besi menjadi baja struktural. Penggunaan GGBFS sebagai material pengganti semen sudah dilakukan lebih dari 60 tahun lamanya karena mengandung senyawa silika, kapur dan alumina yang cukup tinggi, yaitu berkisar 35,09%, 37,79%, dan 17,54% secara berturut-turut (Yuksel, 2018). Penggunaan material ini mampu mempengaruhi sifat mekanik dan durabilitas dari beton. Secara mekanik, beton yang menggunakan tambahan

GGBFS memiliki peningkatan dalam kekuatan tekan pada umur 28 hari (Mindess, et al., 2003). Namun, GGBFS merupakan material yang memiliki waktu pengikatan yang lama dibandingkan dengan material semen Portland Tipe I sehingga kuat tekan pada umur awal (7 hari) mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan beton normal seperti terlihat pada Gambar 1.1. Oleh karena itu, ASTM memberikan saran agar tidak menggunakan proporsi GGBFS yang terlalu tinggi, yaitu sekitar 40% - 50%.



**Gambar 1. 1** Grafik Kuat Tekan Beton Untuk Berbagai Jenis Binder (Mindess et al., 2003)

Cara lain yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kuat tekan pada umur 7 hari adalah dengan menggunakan aktivator alkali. Beberapa contoh aktivator yang sering digunakan dalam campuran semen dan *slag* GGBF antara lain natrium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH). Aktivator tersebut dipakai karena disepakati sebagai aktivator dengan efektivitas terbaik dalam meningkatkan kuat tekan beton. Namun, aktivator tersebut hanya didapatkan dari proses sintesis yang membutuhkan konsumsi energi yang tinggi sehingga penggunaan material tersebut kurang cocok dengan tujuan pembuatan material beton ramah lingkungan dengan emisi CO<sub>2</sub> yang minimal. Bila dibandingkan, natrium sulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dapat menghasilkan emisi yang lebih sedikit dari NaOH dan KOH karena senyawa

tersebut dapat didapatkan dengan mudah, baik secara alamiah melalui penambangan maupun dari hasil limbah pabrik kimia dan tekstil (Rashad, et. al., 2012). Dengan demikian, penggunaan natrium sulfat sebagai aktivator dapat dikatakan lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan aktivator – aktivator lainnya.

## 1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dari uji eksperimental ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kadar  $\text{SO}_3$  yang didapat dari  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  terhadap kekuatan tekan dan modulus elastisitas beton *super sulfated cement*. Variasi kadar  $\text{SO}_3$  yang digunakan adalah 0%, 10%, dan 20%.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perkembangan kekuatan tekan beton *super sulfated cement* dengan variasi kadar natrium sulfat.
2. Mengetahui nilai modulus elastisitas beton *super sulfated cement* pada umur 28 hari dengan variasi kadar natrium sulfat.

## 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Garut
2. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dari Rumpin, Bogor, dengan ukuran agregat maksimum nominal 25 mm
3. Semen yang digunakan adalah *Ordinary Portland Cement* yang berasal dari PT. Semen Indonesia
4. *Slag* yang digunakan adalah *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) dari PT. KRNG Indonesia
5. Aktivator sulfat yang digunakan adalah Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) yang diperoleh secara komersil
6. Perencanaan *mix design* menggunakan metode volume absolut

7. Beton berbahan dasar *slag* dibuat dengan komposisi kadar GGBFS dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebagai aktivator dengan proporsi 5% OPC, 85% GGBFS dan variasi  $\text{SO}_3$  0%, 10%, dan 20% dengan perbandingan *water to binder ratio* sebesar 0,5
8. Kekuatan tekan beton diuji pada benda uji silinder dengan ukuran  $100 \times 200$  mm yang diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan mengambil nilai rata – rata dari minimum 3 benda uji (berdasarkan ASTM C39)
9. Modulus elastisitas beton diuji pada benda uji silinder dengan ukuran  $100 \times 200$  mm yang diuji pada umur 28 hari dengan mengambil nilai rata – rata dari minimum 3 benda uji (berdasarkan ASTM C469)
10. Jumlah total benda uji adalah buah seperti yang terlihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2.

**Tabel 1. 1.** Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Kuat Tekan Beton SSC

Variasi Kadar $\text{Na}_2\text{SO}_4$ (%)	Umur Pengujian (Hari)	Jumlah benda Uji (buah)
0	7, 14, dan 28	9
10		9
20		9

**Tabel 1. 2.** Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Modulus Elastisitas Beton SSC

Variasi Kadar $\text{Na}_2\text{SO}_4$ (%)	Umur Pengujian (Hari)	Jumlah benda Uji (buah)
0	28	3
10		3
20		3

### 1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

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

## 2. Studi Eksperimental

Studi eksperimental dilakukan secara langsung di Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan yang meliputi kegiatan persiapan material, persiapan benda uji, dan pengujian benda uji.

## 3. Analisis Data

Analisis data merupakan tahapan dalam penelitian untuk mengolah seluruh data hasil eksperimen sehingga tujuan penelitian dapat tercapai.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi dibagi atas 5 Bab, yaitu:

#### **BAB 1           PENDAHULUAN**

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

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

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

#### **BAB 3           METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang prosedur penelitian yang meliputi kegiatan persiapan material, persiapan benda uji, dan pengujian benda uji.

#### **BAB 4           ANALISIS DATA & PEMBAHASAN**

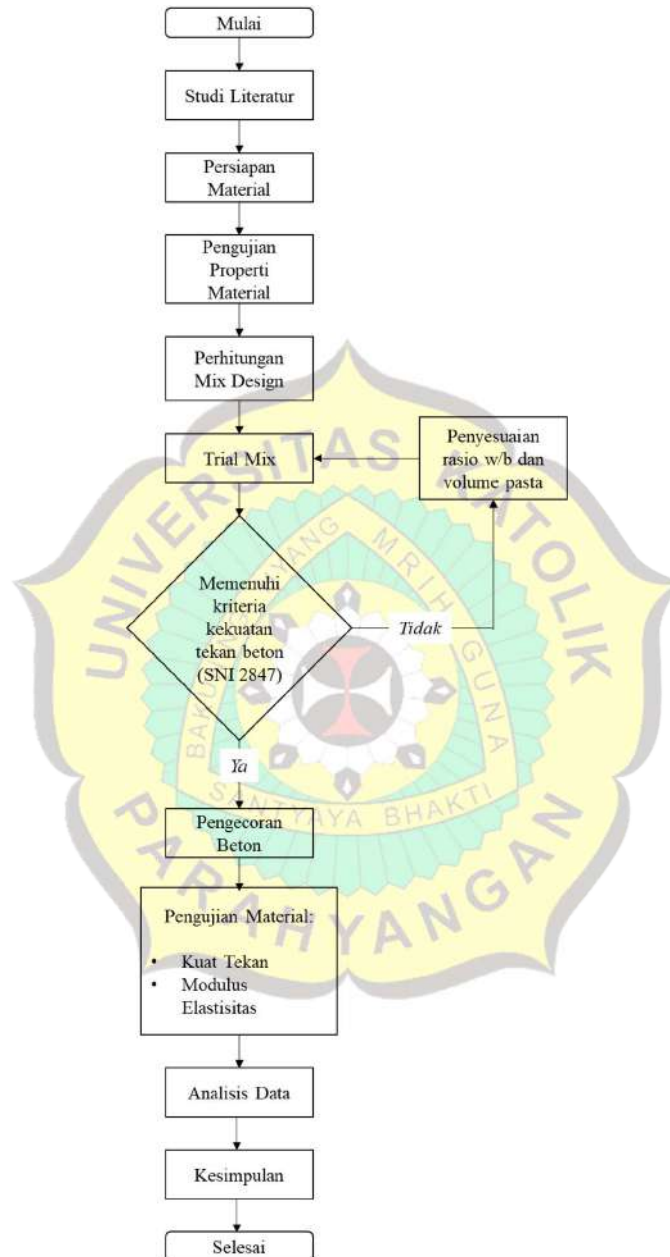
Bab ini berisi pembahasan tentang proses pengolahan data eksperimen dari hasil pengujian di laboratorium.

#### **BAB 5           KESIMPULAN & SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil eksperimen dan saran untuk kegiatan penelitian di masa depan.

## 1.7 Diagram Alir

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



**Gambar 1. 2** Diagram Alir