

SKRIPSI

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI *GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG* DAN NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN, *SETTING TIME* DAN POROSITAS PASTA SEMEN PORTLAND KOMPOSIT



MICHAEL
NPM : 6101801036

PEMBIMBING: Herry Suryadi, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2022

THESIS

**EXPERIMENTAL STUDY OF EFFECT OF VARIATIONS OF
GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG AND
SODIUM SULFATE ON COMPRESSIVE STRENGTH,
SETTING TIME, AND POROSITY OF PORTLAND
COMPOSITE CEMENT PASTE**



**MICHAEL
NPM : 6101801036**

ADVISOR : Herry Suryadi, Ph.D.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL
(Accredited by BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULY 2022**

SKRIPSI

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI *GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG* DAN NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN, *SETTING TIME* DAN POROSITAS PASTA SEMEN PORTLAND KOMPOSIT



MICHAEL
NPM : 6101801036

PEMBIMBING : Herry Suryadi, Ph.D.
PENGUJI 1 : Wisena Perceka, Ph.D.
PENGUJI 2 : Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.



UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2022

PERNYATAAN

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

Nama : Michael

NPM : 6101801036

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

Kajian Eksperimental Pengaruh Variasi *Ground Granulated Blast Furnace Slag* dan Natrium Sulfat terhadap Kekuatan Tekan dan *Setting Time* Pasta Semen Portland Komposit

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: 18 Juli 2022



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Michael', is written over a horizontal line.

Michael

6101801036

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI *GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG* DAN NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN, *SETTING TIME* DAN POROSITAS PASTA SEMEN PORTLAND KOMPOSIT

Michael
NPM: 6101801036

Pembimbing: Herry Suryadi, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2022

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang sangat umum digunakan seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan infrastruktur. Hal ini tentu berbanding lurus dengan meningkatnya permintaan produksi semen, dimana hal ini berdampak buruk bagi lingkungan. Hal ini disebabkan oleh proses produksi semen yang membutuhkan energi yang besar, sehingga meningkatkan pencemaran emisi gas karbon dioksida (CO_2). Oleh sebab itu, pemanfaatan slag *ground granulated blast furnace slag* sebagai pengganti sebagian PCC dapat membantu mengurangi pencemaran emisi gas karbon dioksida (CO_2). Namun GGBFS tidak memiliki sifat hidrasi yang secepat semen sehingga digunakan Na_2SO_4 sebagai aktivator. Bahan pengikat yang digunakan adalah semen PCC, dimana ditetapkan *water to binder ratio* sebesar 0,35. Untuk mengetahui pengaruh variasi GGBFS dan Na_2SO_4 , maka dilakukan pengujian *workability*, porositas, penyerapan air, kekuatan tekan, *standard consistency*, dan *setting time*. Dari hasil pengujian diperoleh nilai *flowability* untuk campuran 80%, 70%, dan 60% GGBFS dengan masing-masing variasi Na_2SO_4 0%, 1%, dan 2% adalah berkisar 80% - 108,75%. Untuk nilai porositas diperoleh dari hasil pengujian berkisar 23,33% - 35,61%. Sedangkan untuk penyerapan air diperoleh dari hasil pengujian adalah berkisar 13,72% - 22,80%. Diperoleh kekuatan tekan pada umur 56 hari adalah berkisar 22,148 MPa - 44,201 MPa. *Water to binder ratio* yang diperoleh untuk mencapai kondisi normal konsistensi adalah berkisar 26,8% - 28,6%. Untuk waktu pengikatan akhir yang diperoleh adalah berkisar 585 menit - 1048 menit. Sedangkan untuk waktu pengikatan awal yang diperoleh adalah berkisar 99,782 menit - 172,941 menit.

Kata Kunci: GGBFS, Na_2SO_4 , kekuatan tekan, waktu pengikatan, normal konsistensi, porositas, penyerapan air, dan *workability*

EXPERIMENTAL STUDY OF EFFECT OF VARIATIONS OF GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG AND SODIUM SULFATE ON COMPRESSIVE STRENGTH, SETTING TIME, AND POROSITY OF PORTLAND COMPOSITE CEMENT PASTE

**Michael
NPM: 6101801036**

Advisor: Herry Suryadi, Ph.D.

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

(Accredited by SK BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG

JULI 2022

ABSTRACT

Concrete is considered a very common material construction that is often used for infrastructure growth and development. This fact is directly proportional to the increasing demand for cement production, which harms the environment. This is due to the cement production process which requires a large amount of energy, thereby increasing the emission of carbon dioxide (CO₂) gas pollution. Therefore, the use of ground slag granulated blast furnace slag as a partial replacement of PCC can help reduce carbon dioxide (CO₂) gas emission pollution. However, GGBFS does not have the capability to hydrate as fast as cement material, hence Na₂SO₄ is used as an activator. PCC Cement is used as the binder, where the water to binder ratio is set at 0.35. To determine the effect of variations in GGBFS and Na₂SO₄, workability, porosity, water absorption, compressive strength, standard consistency, and setting time tests were carried out. From the test results, the flowability values for a mixture of 80%, 70%, and 60% GGBFS with each variation of Na₂SO₄ 0%, 1%, and 2% ranged from 80% - 108.75%. The porosity value obtained from the test results ranges from 23.33% - 35.61%. Meanwhile, the water absorption obtained from the test results is in the range of 13.72% - 22.80%. The compressive strength obtained at the age of 56 days is in the range of 22.148 MPa - 44,201 MPa. The water to binder ratio obtained to achieve normal consistency conditions is in the range of 26.8% - 28.6%. For the final binding time obtained is in the range 585 minute – 1048 minute. Meanwhile, the initial binding time obtained was in the range of 99,782 minutes – 172,941 minutes.

Keywords: GGBFS, Na₂SO₄, Compressive Strength, Binding Time, Normal Consistency, porosity, water absorption, dan workability

PRAKATA

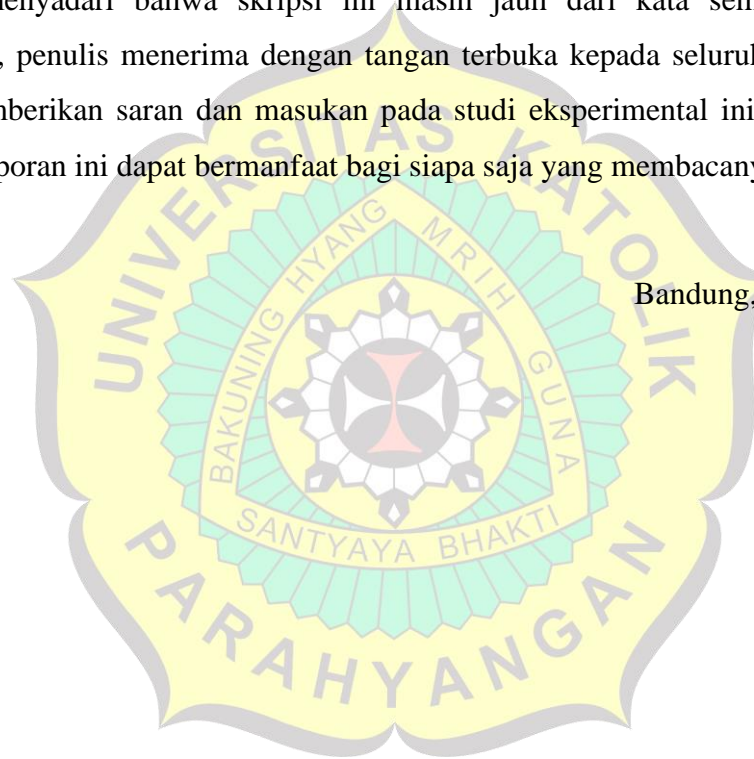
Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga skripsi yang berjudul “KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI *GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG* DAN NATRIUM SULFAT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN *SETTING TIME* PASTA SEMEN PORTLAND KOMPOSIT” dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Penyusunan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi syarat kelulusan pendidikan tingkat S-1 pada program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan Bandung.

Selama penyusunan skripsi ini penulis menghadapi berbagai tantangan dan rintangan. Namun, berkat dukungan, motivasi, kritik, dan motivasi dari berbagai pihak skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang ikut terlibat dalam penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan, pengalaman, wawasan, waktu dan arahan selamam penyusunan skripsi ini.
2. Dosen-dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah meluangkan waktunya untuk hadir dan memberikan masukan dan saran pada saat seminar judul, seminar isi, dan sidang.
3. Bapak Teguh Farid Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi yang telah membantu dalam proses persiapan dan pengujian benda uji di Laboratorium Struktur Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.
4. Seluruh dosen dan staff pengajar di Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
5. Orang tua penulis yang senantiasa memberi dukungan dan semangat serta doa-doa yang dipanjatkan selama penulis menyusun skripsi ini.
6. Teman seperjuangan laboratorium Teknik Struktur UNPAR: Hermawan, William Delbert, Yohanes Erick Prajitno, Felicia Gabriele Saputra, Sophie Nathania, Carel Delvine Winardo, Josia Budi Leksono, Richard Faren Sutanto, dan Lie Vernando yang memberi bantuan dan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini serta selama proses pembuatan benda uji.

7. Felix Tandiono, Samuel Ruys, Jeremy Elred Zultan, Simon Ramos Bona Tua Sihombing, Chavia Lorenza Ozora, Silvia, Richardo, Christabella Josa Lidya, Chalvin Gilbert Setiadi, Daniel Enrico, Daniela Priska, Jovaniche Laurenzqua, Catherine Adelia Susan, Raymond Timothy, Johanna Prima Christiani, Michele Octavia, Axel Sebastian, Stephan Vebrian dan Octavianus William yang telah membantu memberikan dukungan dan menghibur penulis selama proses penyusunan skripsi.
8. Seluruh pihak lainnya yang tidak dapat ditulis satu per satu yang juga turut memberikan doa dan dukungan selama proses penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karenanya, penulis menerima dengan tangan terbuka kepada seluruh pihak yang ingin memberikan saran dan masukan pada studi eksperimental ini. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.



Bandung, 20 Juli 2022

Michael
6101801036

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah	1-3
1.5 Metode Penelitian.....	1-5
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-6
1.7 Diagram Alir.....	1-7
BAB 2 Tinjauan Pustaka.....	2-1
2.1 Pasta.....	2-1
2.2 Material Campuran Pasta	2-1
2.2.1 Air.....	2-1
2.2.2 Semen.....	2-2
2.2.3 <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)</i>	2-3
2.2.4 Natrium Sulfat (Na_2SO_4).....	2-4
2.3 Specific Gravity.....	2-4
2.3.1 <i>Specific Gravity</i> Semen	2-5
2.3.2 <i>Specific Gravity</i> GGBFS	2-5
2.4 Perawatan Pasta (<i>Curing</i>).....	2-5
2.5 Pengujian Properti Pasta Segar.....	2-6
2.5.1 Pengujian <i>Standrad Consistency</i>	2-6
2.5.2 Pengujian <i>Setting Time</i>	2-7
2.5.3 Pengujian <i>Workability</i>	2-7
2.6 Pengujian Properti Pasta Keras	2-8
2.6.1 Pengujian Kekuatan Tekan Pasta	2-8

2.6.2	Pengujian Porositas	2-8
2.6.3	Pengujian Penyerapan Air	2-9
BAB 3	Metodologi penelitian	3-1
3.1	Material Campuran Pasta	3-1
3.1.1	Semen	3-1
3.1.2	Air	3-1
3.1.3	<i>Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)</i>	3-2
3.1.4	Natrium Sulfat (Na_2SO_4)	3-2
3.2	Pengujian Properti Pasta Segar dan Mengeras	3-3
3.3	Pengujian Specific Gravity	3-4
3.3.1	<i>Specific Gravity</i> Semen	3-4
3.3.2	<i>Specific Gravity</i> GGBFS	3-5
3.4	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	3-5
3.4.1	Metode Volume Absolut	3-6
3.4.2	Metode Perhitungan Penggantian GGBFS dan Na_2SO_4	3-7
3.5	Proporsi Campuran Pasta Semen	3-7
3.5.1	Penggantian 80% PCC dengan GGBFS dan 0% Na_2SO_4	3-7
3.5.2	Penggantian 80% PCC dengan GGBFS dan 1% Na_2SO_4	3-7
3.5.3	Penggantian 80% PCC dengan GGBFS dan 2% Na_2SO_4	3-8
3.5.4	Penggantian 70% PCC dengan GGBFS dan 0% Na_2SO_4	3-8
3.5.5	Penggantian 70% PCC dengan GGBFS dan 1% Na_2SO_4	3-8
3.5.6	Penggantian 70% PCC dengan GGBFS dan 2% Na_2SO_4	3-9
3.5.7	Penggantian 60% PCC dengan GGBFS dan 0% Na_2SO_4	3-9
3.5.8	Penggantian 60% PCC dengan GGBFS dan 1% Na_2SO_4	3-9
3.5.9	Penggantian 60% PCC dengan GGBFS dan 2% Na_2SO_4	3-10
3.6	Pembuatan Benda Uji	3-10
3.7	Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	3-13
3.8	Prosedur Pengujian Benda Uji	3-14
3.8.1	Pengujian <i>Workability</i>	3-14
3.8.2	Pengujian <i>Standard Consistency</i>	3-14
3.8.3	Pengujian <i>Setting Time</i>	3-16
3.8.4	Pengujian Kekuatan Tekan	3-18
3.8.5	Pengujian Porositas	3-18
3.8.6	Pengujian Penyerapan Air	3-19
BAB 4	ANALISIS DATA	4-1
4.1	Analisis <i>Flowability</i> Pasta	4-1

4.2	Analisis Porositas dan Penyerapan Air	4-2
4.2.1	Variasi GGBFS 80%	4-2
4.2.2	Variasi GGBFS 70%	4-3
4.2.3	Variasi GGBFS 60%	4-4
4.3	Analisis Hasil Kuat Tekan.....	4-5
4.3.1	Variasi GGBFS 80% dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-6
4.3.2	Variasi GGBFS 80% dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-7
4.3.3	Variasi GGBFS 80% dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-8
4.3.4	Variasi GGBFS 70% dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-9
4.3.5	Variasi GGBFS 70% dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-10
4.3.6	Variasi GGBFS 70% dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-11
4.3.7	Variasi GGBFS 60% dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-12
4.3.8	Variasi GGBFS 60% dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-13
4.3.9	Variasi GGBFS 60% dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-14
4.3.10	Variasi Semen 100% dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-15
4.3.11	Analisis Kekuatan Tekan Berdasarkan Variasi Na ₂ SO ₄	4-17
4.3.12	Analisis Kekuatan Tekan Berdasarkan Variasi GGBFS	4-19
4.4	Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dengan Porositas.....	4-20
4.5	Analisis <i>Standard Consistency</i>	4-21
4.6	Analisis Hasil Uji Waktu Pengikatan (<i>Setting Time</i>)	4-22
4.6.1	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 80% Slag dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-24
4.6.2	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 80% Slag dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-24
4.6.3	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 80% Slag dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-25
4.6.4	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 70% Slag dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-25
4.6.5	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 70% Slag dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-26
4.6.6	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 70% Slag dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-27
4.6.7	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 60% Slag dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-27
4.6.8	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 60% Slag dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-28
4.6.9	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 60% Slag dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-28
4.6.10	Analisis Waktu Pengikatan Variasi 100% Semen.....	4-29
4.7	Analisis Hubungan Kebutuhan Air dengan variasi Na ₂ SO ₄	4-30
4.8	Analisis Hubungan Kadar GGBFS tanpa Na ₂ SO ₄ dengan Kebutuhan Air	4-30
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		5-1
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran	5-3

DAFTAR PUSTAKA xvii
LAMPIRAN.....1



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

%	: Persen
ASTM	: <i>American Standard Testing and Material</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
g	: Gram
kg	: Kilogram
CTM	: <i>Compression Testing Machine</i>
PCC	: <i>Portland Cement Composit</i>
GGBFS	: <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i>
NS	: Natrium Sulfat
SG	: Spesifik Gravity
SG_C	: Spesifik Gravity Semen
SG_{GGBFS}	: Spesifik Gravity GGBFS
E	: Waktu penetrasi terakhir yang lebih besar dari 25 mm (menit)
H	: Waktu dalam menit dari penetrasi pertama yang lebih kecil dari 25 mm
f_p	: Kekuatan tekan pasta (MPa)
P	: Beban maksimum (N)
A	: Luas Permukaan yang dibebani (mm ²)
P	: Porositas (%)
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>
W_{SSD}	: Massa benda uji dalam kondisi SSD (g)
W_{OD}	: Massa benda uji dalam kondisi kering oven (g)
W_{susp}	: Massa benda uji kondisi SSD di dalam air (g)
Abs	: Penyerapan air (%)
V_w	: Volume air (m ³)
V_c	: Volume cement (m ³)
W_w	: Berat air (kg)
W_c	: Berat semen (kg)
λ	: <i>water to cement ratio</i>
γ_w	: Berat jenis air (kg/m ³)

γ_c : Berat jenis semen (kg/m³)
 OD : *Oven dry*
 SF : *Safety factor*



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peningkatan permintaan semen global (International Finance Corporation, 2014)	1-1
Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian	1-7
Gambar 2.1 Proses Produksi GGBFS (Özbay et al., 2016)	2-3
Gambar 2.2 Vicat Apparatus (ASTM C187-11)	2-6
Gambar 2.3 Flow Table	2-8
Gambar 3.1 Semen	3-1
Gambar 3.2 Air	3-2
Gambar 3.3 <i>Ground granulated blast furnace</i> (GGBFS)	3-2
Gambar 3.4 Natrium Sulfat (Na_2SO_4)	3-3
Gambar 3.5 Massa labu dengan minyak tanah dan semen	3-4
Gambar 3.6 Massa labu dengan minyak tanah dan GGBFS	3-5
Gambar 3.7 Mixer	3-10
Gambar 3.8 Penutupan permukaan benda uji dengan plastic wrap	3-12
Gambar 3.9 Penuangan pasta semen layer pertama	3-12
Gambar 3.10 Putaran ketukan (ASTM C109-21)	3-13
Gambar 3.11 Sealed curing menggunakan zipper	3-13
Gambar 3.12 Leveling flow table	3-14
Gambar 3.13 Alat vicat, plunger dan mold	3-15
Gambar 3.14 Bacaan nilai penetrasi 10 ± 1	3-16
Gambar 3.15 Alat vicat, needle dan mold	3-17
Gambar 3.16 Jarak antara setiap tusukan jarum	3-18
Gambar 3.17 Alat compression testing machine (CTM)	3-18
Gambar 3.18 Perendaman benda uji dengan air	3-19
Gambar 3.19 Benda uji dalam kondisi SSD di dalam air	3-19
Gambar 4.1 Grafik <i>flowability</i> pasta	4-1
Gambar 4.2 Porositas dan penyerapan air variasi 80% GGBFS	4-3
Gambar 4.3 Porositas dan penyerapan air variasi 70% GGBFS	4-4
Gambar 4.4 Porositas dan penyerapan air variasi 60% GGBFS	4-5
Gambar 4.5 Grafik kuat tekan variasi 80% GGBFS dan 0 % Na_2SO_4	4-6
Gambar 4.6 Grafik kuat tekan variasi 80% GGBFS dan 1 % Na_2SO_4	4-7
Gambar 4.7 Grafik kuat tekan variasi 80% GGBFS dan 2 % Na_2SO_4	4-8
Gambar 4.8 Grafik kuat tekan variasi 70% GGBFS dan 0 % Na_2SO_4	4-9
Gambar 4.9 Grafik kuat tekan variasi 70% GGBFS dan 1 % Na_2SO_4	4-10
Gambar 4.10 Grafik kuat tekan variasi 70% GGBFS dan 2 % Na_2SO_4	4-12
Gambar 4.11 Grafik kuat tekan variasi 60% GGBFS dan 0 % Na_2SO_4	4-13
Gambar 4.12 Grafik kuat tekan variasi 60% GGBFS dan 1 % Na_2SO_4	4-14
Gambar 4.13 Grafik kuat tekan variasi 60% GGBFS dan 2 % Na_2SO_4	4-15
Gambar 4.14 Grafik kuat tekan variasi 100% GGBFS dan 0 % GGBFS	4-16
Gambar 4.15 Grafik kekuatan tekan variasi 80% GGBFS	4-17
Gambar 4.16 Grafik kekuatan tekan variasi 70% GGBFS	4-17
Gambar 4.17 Grafik kekuatan tekan variasi 60% GGBFS	4-18
Gambar 4.18 Grafik kekuatan tekan variasi 0% Na_2SO_4	4-19
Gambar 4.19 Grafik kekuatan tekan variasi 1% Na_2SO_4	4-19
Gambar 4.20 Grafik kekuatan tekan variasi 2% Na_2SO_4	4-20

Gambar 4.21 Grafik Hubungan Kekuatan Tekan dengan Porositas	4-20
Gambar 4.22 Grafik w/b Untuk Semua Variasi	4-21
Gambar 4.23 Grafik <i>final set</i> semua variasi.....	4-22
Gambar 4.24 Grafik <i>initial set</i> semua variasi.....	4-23
Gambar 4.25 Grafik Hubungan Kebutuhan Air dengan Dosis Na_2SO_4	4-30
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Kebutuhan Air dengan GGBFS	4-30



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Rekapitulasi Benda Uji Kekuatan Tekan	1-4
Tabel 1.2 Rekapitulasi Benda Uji Porositas dan Penyerapan Air	1-5
Tabel 3.1 Properti Material	3-7
Tabel 3.2 Proporsi Campuran 80% GGBFS dengan 0% Na ₂ SO ₄	3-7
Tabel 3.3 Proporsi Campuran 80% GGBFS dengan 1% Na ₂ SO ₄	3-8
Tabel 3.4 Proporsi Campuran 80% GGBFS dengan 2% Na ₂ SO ₄	3-8
Tabel 3.5 Proporsi Campuran 70% GGBFS dengan 0% Na ₂ SO ₄	3-8
Tabel 3.6 Proporsi Campuran 70% GGBFS dengan 1% Na ₂ SO ₄	3-9
Tabel 3.7 Proporsi Campuran 70% GGBFS dengan 2% Na ₂ SO ₄	3-9
Tabel 3.8 Proporsi Campuran 60% GGBFS dengan 0% Na ₂ SO ₄	3-9
Tabel 3.9 Proporsi Campuran 60% GGBFS dengan 1% Na ₂ SO ₄	3-10
Tabel 3.10 Proporsi Campuran 60% GGBFS dengan 2% Na ₂ SO ₄	3-10
Tabel 4.1 <i>Flowability</i> pasta	4-1
Tabel 4.2 Porositas dan penyerapan air variasi 80% GGBFS.....	4-2
Tabel 4.3 Porositas dan penyerapan air variasi 70% GGBFS.....	4-3
Tabel 4.4 Porositas dan penyerapan air variasi 60% GGBFS.....	4-4
Tabel 4.5 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 80% dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-6
Tabel 4.6 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 80% dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-7
Tabel 4.7 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 80% dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-8
Tabel 4.8 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 70% dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-9
Tabel 4.9 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 70% dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-10
Tabel 4.10 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 70% dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-11
Tabel 4.11 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 60% dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-12
Tabel 4.12 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 60% dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-13
Tabel 4.13 Kekuatan Tekan Variasi GGBFS 60% dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-14
Tabel 4.14 Kekuatan Tekan Variasi semen 100% dengan 0% GGBFS	4-15
Tabel 4.15 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 80% Slag dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-24
Tabel 4.16 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 80% Slag dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-24
Tabel 4.17 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 80% Slag dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-25
Tabel 4.18 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 70% Slag dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-25
Tabel 4.19 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 70% Slag dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-26
Tabel 4.20 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 70% Slag dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-27
Tabel 4.21 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 60% Slag dengan 0% Na ₂ SO ₄	4-27
Tabel 4.22 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 60% Slag dengan 1% Na ₂ SO ₄	4-28
Tabel 4.23 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 60% Slag dengan 2% Na ₂ SO ₄	4-28
Tabel 4.24 Hasil Uji <i>Setting Time</i> Variasi 100% Semen	4-29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian Karakteristik Material	L1-1
Lampiran 2 Laporan Hasil Pengujian Kualitas Air	L2-1
Lampiran 3 Perhitungan Mix Design	L3-1



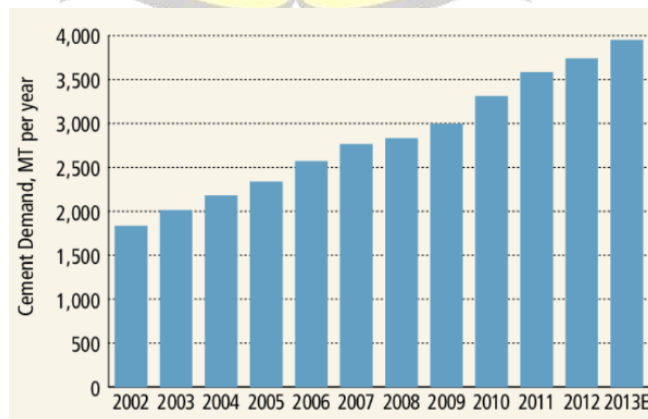
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah material konstruksi yang sangat umum digunakan saat ini. Pentingnya material beton pada konstruksi menuntut kualitas beton yang memadai. Keunggulan-keunggulan yang dimiliki oleh beton menjadi salah satu alasan banyaknya penggunaan beton, antara lain adalah tahan terhadap temperatur tinggi, dapat memikul beban yang berat, dan dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi serta biaya pemeliharaan yang terjangkau. Beton umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama, yaitu semen, agregat dan air, dimana semen berperan sebagai perekat hidraulik. Bahan tambahan (*admixture*) dapat ditambahkan untuk membantu beton agar berfungsi lebih baik dan lebih ekonomis.

Semen merupakan salah satu bahan pokok dalam konstruksi yang memiliki peranan penting dalam pembuatan beton. Terdapat beberapa macam semen, salah satunya yaitu semen Portland. Semen Portland adalah jenis semen yang paling banyak digunakan secara umum di seluruh dunia sebagai bahan dasar beton, dimana semen Portland terdiri dari klinker dan gipsum. Proses pembuatan semen Portland diawali dari proses penyediaan bahan baku, pengeringan, penggilingan, pembakaran, pendinginan hingga dikemas. Properti mekanik dan durabilitas yang baik menjadi salah satu penyebab peningkatan permintaan semen beberapa tahun kebelakang, seperti terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peningkatan permintaan semen global (International Finance Corporation, 2014)

Peningkatan penggunaan semen tentunya berbanding lurus dengan peningkatan pencemaran emisi gas karbon dioksida (CO_2), hal ini disebabkan oleh semua proses produksi semen membutuhkan energi yang besar. Untuk setiap kilogram produksi semen Portland menghasilkan kurang lebih sebanyak 0,87-kilogram gas CO_2 (Djayaprabha et al., 2017) Salah satu upaya pemerintah dalam mengurangi emisi gas karbon adalah dengan mengganti semen Portland dengan Portland Cement Composit (PCC), dimana semen ini terdiri memiliki kandungan klinker yang lebih rendah, sehingga emisi CO_2 yang dihasilkan lebih sedikit. Semen PCC terdiri dari klinker semen, gipsum dan bahan anorganik.

Dalam usaha mengurangi emisi gas karbon, pemerintah Indonesia membuat Peraturan Menteri Perindustrian No. 12 Tahun 2012 tentang Peta Panduan Pengurangan Emisi CO_2 industri semen yang mewajibkan penurunan emisi gas karbon sebesar 3% dalam kurun waktu 2016-2020. Oleh karena itu, penelitian ini menelusuri pemanfaatan limbah produksi baja yaitu *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) sebagai bahan konstruksi alternatif pengganti semen. GGBFS merupakan bahan yang ramah lingkungan yang memiliki komposisi kimia yang tidak berbeda dengan bahan-bahan mineral alami termasuk bahan hidrasi seperti Semen Portland. GGBFS tidak mempunyai sifat hidrasi yang cepat seperti semen, sehingga diperlukan suatu senyawa aktivator. Senyawa aktivator seperti kalsium oksida (CaO) dan sulfur trioksida (SO_3) memiliki kemampuan *self-cementing* sama dengan Portland semen (Nguyen et al., 2015) Kandungan senyawa SO_3 yang memiliki fungsi sebagai sulfat aktivator, dapat ditemukan pada natrium sulfat (Na_2SO_4). Senyawa Na_2SO_4 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kadar minimum sebesar 99,5%.

Pemanfaatan GGBFS ini diharapkan dapat membantu program pemerintah dalam mengurangi emisi gas CO_2 dalam industri semen. Tentu saja pemanfaatan limbah industri ini harus melalui beberapa pengujian. Pengujian yang akan dilakukan adalah properti mekanis, yaitu pengujian kuat tekan, standar konsistensi dan *setting time*.

1.2 Inti Permasalahan

Pengaruh variasi GGBFS dan Na_2SO_4 pada campuran pasta memerlukan penelitian lebih lanjut. Pada penelitian ini akan dipelajari mengenai pengaruh variasi penggantian sebagian besar PCC dengan GGBFS dan natrium sulfat terhadap *flowability*, kekuatan tekan, porositas, penyerapan air, *standard consistency*, dan *setting time* pada *ternary blended cement*, yang terdiri dari PCC, GGBFS, dan Na_2SO_4 .

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, antara lain:

1. Mempelajari pengaruh penggantian sebagian besar PCC dengan *ground granulated blast furnace slag* terhadap kekuatan tekan, porositas, penyerapan air, *flowability*, *setting time*, dan *standard consistency*.
2. Mempelajari pengaruh penggunaan natrium sulfat (Na_2SO_4) sebagai sulfat aktivator pada semua campuran terhadap kekuatan tekan, porositas, penyerapan air, *flowability*, *setting time*, dan *standard consistency*.

1.4 Pembatasan Masalah

Lingkup penelitian ini, antara lain:

1. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement Composite* (PCC) dengan merk Semen Tiga Roda.
2. *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) dari PT. KRNG Indonesia.
3. Natrium Sulfat (Na_2SO_4) ex. China dari PT Brataco.
4. Perencanaan campuran pasta menggunakan metode volume absolut dengan penggantian sebagian PCC dengan GGBFS ditetapkan sebesar 60%; 70%; dan 80% berdasarkan massa.
5. Perbandingan w/b ditetapkan sebesar 0,35.
6. Perawatan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *sealed curing*.
7. Variasi Natrium Sulfat (Na_2SO_4) untuk menggantikan sebagian GGBFS ditetapkan sebesar 0%; 1%; dan 2% berdasarkan massa.

8. Pengujian *setting time* mengacu pada ASTM C191 dan pengujian *standard consistency* mengacu pada ASTM C187.
9. Pengujian *setting time* berdasarkan *normal consistency* dilakukan pada semua variasi.
10. Pengujian *flowability* untuk campuran pasta segar berdasarkan ASTM 1437.
11. Pengujian porositas dan penyerapan air diuji pada hari ke-28 dengan menggunakan benda uji kubus dengan panjang sisi sebesar 50 mm. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C642.
12. Pengujian kekuatan tekan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari menggunakan benda uji kubus dengan ukuran sisi sebesar 50 mm dengan pengujian mengacu pada ASTM C109.
13. Jumlah total benda uji sebanyak 190 kubus seperti yang terlihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2.

Tabel 1.1 Rekapitulasi Benda Uji Kekuatan Tekan

Variasi GGBFS	Variasi NS	Jenis Benda Uji	Umur Pengujian (hari)	Jumlah Benda Uji
	0			16
60	1			16
	2			16
	0			16
70	1	Kubus ukuran 50 mm	7, 14, 28, dan 56	16
	2			16
	0			16
80	1			16
	2			16
	0			16
Total Benda Uji				160

Tabel 1.2 Rekapitulasi Benda Uji Porositas dan Penyerapan Air

Variasi GGBFS	Variasi NS	Jenis Benda Uji	Umur Pengujian (hari)	Jumlah Benda Uji
	0			3
60	1			3
	2			3
70	0	Kubus ukuran 50 mm	28	3
	1			3
	2			3
80	0			3
	1			3
	2			3
0	0			3
Total Benda Uji				30

1.5 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan, antara lain:

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan dasar dan referensi yang berkaitan dengan studi eksperimental di laboratorium sampai pada pengolahan dan analisis data dengan melakukan kajian terhadap jurnal, *paper*, dan karya tulis ilmiah.

2. Studi Eksperimental

Melakukan eksperimen secara langsung di Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan. Dimulai dari persiapan material, pengujian karakteristik material, perhitungan kebutuhan material, pembuatan benda uji dan pengujian benda uji.

3. Analisis data

Data hasil pengujian laboratorium dianalisis untuk mencapai tujuan penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- **Bab 1: PENDAHULUAN**
Dalam bab ini akan dibahas mengenai latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan diagram alir penelitian.
- **Bab 2: TINJAUAN PUSTAKA**
Dalam bab ini akan dibahas mengenai dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan studi eksperimental.
- **Bab 3: METODELOGI PENELITIAN**
Dalam bab ini akan dibahas mengenai metode penelitian dimulai dari persiapan material, pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.
- **Bab 4: ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**
Dalam bab ini akan dibahas mengenai proses pengolahan data hasil pengujian benda uji di laboratorium.
- **Bab 5: KESIMPULAN DAN SARAN**
Dalam bab ini akan dibahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian ini dan saran untuk perkembangan penelitian topik yang bersangkutan di masa depan.

1.7 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan diagram alir seperti yang terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian