

SKRIPSI

**PENGARUH PEMANFAATAN *SLAG FERONIKEL*
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT
KASAR TERHADAP KEKUATAN LENTUR SERTA
KORELASI ANTARA KEKUATAN TEKAN DAN
ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON
BERKEKUATAN TINGGI**



NAGA WIJAYA

NPM : 61018101005

PEMBIMBING: Herry Suryadi, Ph.D.

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

SKRIPSI

**PENGARUH PEMANFAATAN *SLAG FERONIKEL*
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT
KASAR TERHADAP KEKUATAN LENTUR SERTA
KORELASI ANTARA KEKUATAN TEKAN DAN
ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON
BERKEKUATAN TINGGI**



NAGA WIJAYA

NPM : 6101801005

PEMBIMBING : Herry Suryadi, Ph.D.

PENGUJI 1 : Buen Sian, Ir., M.T.

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

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

PERNYATAAN

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

Nama : Naga Wijaya

NPM : 6101801005

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / ~~disertasi~~^{*)} dengan judul:

Pengaruh Pemanfaatan Slag Feronikel Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Kuat Lentur Serta Korelasi Antara Kuat Tekan Dan Ultrasonic Pulse Velocity Pada Beton Berkekuatan Tinggi

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: 07 Januari 2022



Naga Wijaya

(6101801005)

*) coret yang tidak perlu

PENGARUH PEMANFAATAN *SLAG* FERONIKEL SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT KASAR TERHADAP KEKUATAN LENTUR SERTA KORELASI ANTARA KEKUATAN TEKAN DAN *ULTRASONIC PULSE VELOCITY* PADA BETON BERKEKUATAN TINGGI

Naga Wijaya
NPM: 6101801005

Pembimbing: Herry Suryadi, Ph.D.

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

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang umum digunakan pada berbagai infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain yang mana tersusun dari semen, air, agregat kasar, agregat halus dan *admixture*. Penambahan agregat kasar sebagai bahan dasar pembuatan beton yang terus dilakukan akan merusak lingkungan dan menimbulkan polusi udara. Selain itu, jika dilakukan berkepanjangan maka sumber daya alam tersebut akan habis pada masa yang akan datang. Inovasi untuk menggantikan agregat pada material beton terus dilakukan oleh para peneliti. Pada penelitian ini, akan ditelusuri pemanfaatan limbah industri yaitu *slag* feronikel sebagai substitusi parsial agregat kasar pada beton mutu tinggi. Variasi penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel diambil dengan variasi sebesar 0%, 15%, dan 30%. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel dalam 3 variasi persentase terhadap kekuatan tekan (f'_c), kuat lentur (f_r) dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Rasio air terhadap bahan sementitus (w/cm) diambil sebesar 0,2 dan perbandingan massa agregat halus terhadap massa total agregat (S/A) diambil sebesar 0,41. Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan UPV bertambah besar seiring bertambahnya persentase penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel. Kekuatan tekan meningkat sebesar 12% dari yang semula 61,717 MPa pada variasi FNS 0% menjadi 69,130 MPa pada variasi FNS 30%, kekuatan lentur meningkat sebesar 10,7% dari yang semula 4,815 MPa pada variasi FNS 0% menjadi 5,330 MPa pada variasi FNS 30%, dan UPV meningkat sebesar 4,2% dari yang semula 4573,430 m/s pada variasi FNS 0% menjadi 4765,685 m/s pada variasi FNS 30%. Pada penelitian ini, penggantian 30% agregat kasar dengan *slag* feronikel menghasilkan kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan UPV terbesar pada umur hari ke 28 yaitu berturut-turut sebesar 69,130 MPa, 5,330 MPa, dan 4765,685 m/s.

Kata kunci: beton mutu tinggi, *slag* feronikel, kekuatan tekan, kekuatan lentur, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

THE EFFECT OF FERRONICKEL SLAG AS A PARTIAL REPLACEMENT FOR COARSE AGGREGATE ON THE FLEXURAL STRENGTH AND CORELATION BETWEEN COMPRESSIVE STRENGTH AND ULTRASONIC PULSE VELOCITY OF HIGH STRENGTH CONCRETE

Naga Wijaya
NPM: 6101801005

Advisor: Herry Suryadi, Ph.D.

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

ABSTRACT

Concrete is one of the most widely used construction materials in various infrastructures such as buildings, bridges, roads, and others which are composed of cement, water, coarse aggregates, fine aggregates and admixtures. Continuous aggregate mining as the basic material for concrete will damage the environment and cause air pollution. Furthermore, prolonged aggregate mining will lead to depletion of natural resources in the future. Researchers continue to develop innovations to replace aggregates in concrete materials. This research investigates the use of industrial waste, ferronickel slag, as a partial substitution of coarse aggregates in high strength concrete. Partial replacement variations of coarse aggregates with ferronickel slag are taken with variations of 0%, 15%, and 30%. The objective of this research is to determine the effect of partially replacing coarse aggregates with ferronickel slag at 3 different percentages (0%, 15%, and 30%) on compressive strength (f'_c), flexural strength (f_r) and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). This study uses water to cementitious ratio (w/cm) of 0.2 and fine aggregate mass to total aggregate mass ratio (S/A) of 0.41. Results shows that compressive strength, flexural strength, and UPV increased as the percentage of partially substitution of coarse aggregates with ferronickel slag increased. Compressive strength increased by 12% from 61,717 MPa in the FNS variation of 0% to 69,130 MPa on the 30% FNS variation, flexural strength increased by 10.7% from 4,815 MPa in the FNS variation of 0% to 5,330 MPa in the FNS variation of 30%, and the UPV increased by 4.2% from 4573,430 m/s in the FNS variation of 0% to 4765,685 m/s on the FNS variation of 30%. In this study, the coarse aggregate replacement by 30% ferronickel slag induced the highest compressive strength of 69,130 MPa, flexural strength of 5,330 MPa, and UPV of 4765,685 m/s.

Keywords: High Strength Concrete (HSC), Ferronickel Slag, Compressive Strength, Flexural Strength, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

PRAKATA

Puji dan syukur dihaturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya skripsi yang berjudul “Pengaruh Pemanfaatan *Slag* Feronikel Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Kekuatan Lentur Serta Korelasi Antara Kekuatan Tekan Dan *Ultrasonic Pulse Velocity* Pada Beton Berkekuatan Tinggi” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Skripsi ini merupakan syarat kelulusan pada program studi tingkat S-1 Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan. Penyusunan skripsi ini disertai dengan berbagai tantangan dan rintangan. Namun, berkat dukungan, motivasi, masukan dan bimbingan dari berbagai pihak skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang ikut terlibat dalam penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, pengalaman, wawasan, dan waktunya dalam 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 Nurul Iman, S.T., Bapak Markus Didi G., dan Bapak Heri Rustandi yang telah membantu serta memberi masukan kepada penulis dalam seluruh rangkaian proses penyusunan skripsi ini.
4. Keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa dalam proses penyusunan skripsi.
5. Teman seperjuangan bimbingan skripsi Callista Nolan Reginald Djainuri yang memberi bantuan, dukungan, semangat, dan saran dalam proses penyusunan skripsi.
6. Teman seperjuangan laboratorium Teknik Struktur UNPAR: Hermawan, Harum Yusuf, Elsa Marvella, Jose Vincent Wijaya, Keyne Maharani, Jonathan Tirtadjaja, Andreas Davin Susilo, Andrew Quantum dan Alreza

Arfahaan yang memberi bantuan dan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini serta selama proses pembuatan benda uji.

7. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu juga turut memberikan masukan, doa, serta dorongan selama penyusunan.

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, 10 Januari 2022



Naga Wijaya

Naga Wijaya
6101801005

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan.....	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-3
1.5 Metode Penelitian.....	1-4
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-5
1.7 Diagram Alir Penelitian.....	1-6
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1 <i>High Strength Concrete</i> (HSC).....	2-1
2.2 Metode Volume Absolut.....	2-1
2.3 Material Campuran <i>High Strength Concrete</i> (HSC).....	2-3
2.3.1 Semen.....	2-3
2.3.2 Air.....	2-4
2.3.3 Agregat Kasar.....	2-5
2.3.4 <i>Slag</i> Feronikel.....	2-5
2.3.5 Agregat Halus.....	2-6
2.3.6 <i>Silica Fume</i>	2-7

2.3.7 <i>Superplasticizer</i>	2-7
2.4 Kondisi kelembaban agregat	2-8
2.5 <i>Specific Gravity</i>	2-10
2.5.1 <i>Specific Gravity</i> Semen.....	2-10
2.5.2 <i>Specific Gravity Silica Fume</i>	2-10
2.5.3 <i>Specific Gravity</i> Agregat Kasar dan <i>Slag</i> Feronikel	2-11
2.5.4 <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....	2-11
2.6 Perawatan Beton (<i>Curing</i>).....	2-12
2.7 Pengujian Properti Mekanik pada Benda Uji.....	2-12
2.7.1 Pengujian Kekuatan Tekan Beton	2-12
2.7.2 Pengujian Kekuatan Lentur Beton/ <i>Modulus of Rupture</i> (f_r).....	2-13
2.8 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	2-14
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	3-1
3.1 Material Campuran Beton	3-1
3.1.1 Semen	3-1
3.1.2 Air.....	3-1
3.1.3 Agregat Kasar	3-2
3.1.4 <i>Slag</i> Feronikel.....	3-2
3.1.5 Agregat Halus	3-3
3.1.6 <i>Silica Fume</i>	3-4
3.1.7 <i>Superplasticizer</i>	3-4
3.2 Pengujian pada Semen	3-5
3.3 Pengujian pada <i>Silica Fume</i>	3-5
3.4 Pengujian pada Agregat Kasar	3-6
3.4.1 Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Kasar	3-6
3.4.2 Pengujian Absorpsi Agregat Kasar.....	3-7
3.5 Pengujian pada Agregat Halus	3-8
3.5.1 Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus	3-8
3.5.2 Pengujian Absorpsi Agregat Halus.....	3-8
3.5.3 Analisa Saringan Agregat Halus.....	3-9
3.6 Proporsi Campuran Beton Mutu Tinggi.....	3-10
3.6.1 Penggantian 0% Agregat Kasar dengan <i>Slag</i> Feronikel.....	3-10

3.6.2 Penggantian 15% Agregat Kasar dengan <i>Slag</i> Feronikel.....	3-10
3.6.3 Penggantian 30% Agregat Kasar dengan <i>Slag</i> Feronikel.....	3-11
3.7 Pembuatan Benda Uji.....	3-12
3.8 Pengujian <i>Slump</i> (<i>Slump Test</i>)	3-15
3.9 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	3-16
3.10 Pengujian Kekuatan Tekan	3-17
3.11 Pengujian Kekuatan Lentur (<i>Modulus of Rupture</i>).....	3-18
3.12 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	3-20
BAB 4 DATA DAN ANALISIS DATA	4-1
4.1 Analisis <i>Slump</i> Beton Segar.....	4-1
4.2 Massa Jenis Benda Uji	4-2
4.3 Analisis Kekuatan Tekan Beton.....	4-4
4.3.1 Variasi FNS 0%	4-5
4.3.2 Variasi FNS 15%	4-6
4.3.3 Variasi FNS 30%	4-8
4.3.4 Analisis Perbandingan Kekuatan Tekan Antar Variasi FNS	4-9
4.4 Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....	4-10
4.4.1 Variasi FNS 0%	4-10
4.4.2 Variasi FNS 15%	4-11
4.4.3 Variasi FNS 30%	4-11
4.4.4 Analisis Perbandingan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Antar Variasi FNS	4-12
4.5 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV) ...	
.....	4-13
4.5.1 Variasi FNS 0%	4-13
4.5.2 Variasi FNS 15%	4-14
4.5.3 Variasi FNS 30%	4-15
4.6 Analisis Kekuatan Lentur Beton	4-15
4.6.1 Variasi FNS 0%	4-16
4.6.2 Variasi FNS 15%	4-17
4.6.3 Variasi FNS 30%	4-19
4.6.4 Analisis Perbandingan Kekuatan Lentur Antar Variasi FNS	4-20
4.6.5 Analisis <i>Toughness</i>	4-21

4.7 Analisis Hubungan Kekuatan Tekan dan Kekuatan Lentur	4-22
4.7.1 Variasi FNS 0%	4-23
4.7.2 Variasi FNS 15%	4-23
4.7.3 Variasi FNS 30%	4-24
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan	5-1
5.2 Saran.....	5-2


DAFTAR PUSTAKA

UCAPAN TERIMA KASIH

LAMPIRAN



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN



$\%$: Persen
<i>ACI</i>	: <i>American Concrete Institute</i>
<i>ASTM</i>	: <i>American Standard Testing and Material</i>
<i>CA</i>	: <i>Coarse Aggregate/ Agregat Kasar</i>
<i>CTM</i>	: <i>Compression Testing Machine.</i>
<i>Cm</i>	: Sentimeter
f'_c	: Kekuatan tekan
<i>FNS</i>	: <i>Ferronickel Slag</i>
<i>FNS 0%</i>	: Kode variasi kadar <i>Ferronickel Slag 0%</i>
<i>FNS 15%</i>	: Kode variasi kadar <i>Ferronickel Slag 15%</i>
<i>FNS 30%</i>	: Kode variasi kadar <i>Ferronickel Slag 30%</i>
f_r	: <i>Modulus of Rupture</i>
<i>g</i>	: Gram
<i>k</i>	: Koefisien hubungan antara kekuatan tekan dan kekuatan lentur
<i>kg</i>	: Kilogram
<i>mm</i>	: Milimeter
<i>OD</i>	: <i>Oven Dry</i> atau kering oven
<i>PCC</i>	: <i>Portland Cement Composite</i>
<i>SG</i>	: <i>Specific Gravity</i>
<i>SNI</i>	: Standar Nasional Indonesia
<i>SP</i>	: <i>Superplasticizer</i>
<i>SSD</i>	: <i>Saturated Surface Dry</i>
<i>UPV</i>	: <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>
<i>UTM</i>	: <i>Universal Testing Machine</i>
<i>V</i>	: Kecepatan gelombang ultrasonik
<i>w</i>	: Kadar air/ <i>moisture content</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peningkatan Produksi Feronikel di Indonesia (Sumber: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019).....	1-2
Gambar 1. 2 Diagram Alir Penelitian.....	1-6
Gambar 2. 1 Ilustrasi Metode Volume Absolut.....	2-2
Gambar 2. 2 Proses Feronikel	2-6
Gambar 2. 3 Ilustrasi Pendinginan dengan Air (<i>water cooling</i>).....	2-6
Gambar 2. 4 Kondisi-kondisi Kelembaban Agregat (Sumber: Mindess, 2008).	2-9
Gambar 2. 5 Jenis Keruntuhan Silinder Beton (ASTM C39-17b)	2-13
Gambar 2. 6 Pengujian <i>Third Point Loading</i> (ASTM C78-16).....	2-14
Gambar 2. 7 Skema Alat <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (Sumber: Bungey, dkk, 2006)	2-15
Gambar 3. 1 <i>Portland Composite Cement (PCC)</i>	3-1
Gambar 3. 2 Air.....	3-2
Gambar 3. 3 Batu Lagadar.....	3-2
Gambar 3. 4 <i>Slag</i> Feronikel.....	3-3
Gambar 3. 5 Pasir Galunggung	3-4
Gambar 3. 6 <i>Silica Fume</i>	3-4
Gambar 3. 7 <i>Superplasticizer</i>	3-5
Gambar 3. 8 Cetakan Benda Uji Silinder dan Balok.....	3-12
Gambar 3. 9 Pemasukan Agregat Halus.....	3-13
Gambar 3. 10 Putaran di bagian Kiri (a) dan Kanan (b).....	3-13
Gambar 3. 11 Pemasukan Semen (a) dan <i>Silica Fume</i> (b).....	3-14
Gambar 3. 12 Pemasukan Agregat Kasar.....	3-15
Gambar 3. 13 Pelat Alas dan Kerucut Abram	3-16
Gambar 3. 14 <i>Pengukuran Slump</i>	3-16
Gambar 3. 15 Perawatan Beton dengan Metode <i>Sealed Curing</i>	3-17
Gambar 3. 16 <i>Compression Testing Machine</i> di Laboratorium Struktur UNPAR	3-18
Gambar 3. 17 <i>Universal Testing Machine (UTM)</i> dan Kamera.....	3-19
Gambar 3. 18 Pengukuran Benda Uji Kekuatan Lentur.....	3-19

Gambar 3. 19 Alat <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (Pundit Lab+).....	3-20
Gambar 3. 20 Proses Kalibrasi Alat UPV	3-21
Gambar 3. 21 Hasil Nilai Pengujian UPV	3-21
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Massa Jenis Rata-rata antar Variasi	4-4
Gambar 4. 2 Pola Keruntuhan Sampel 1 Variasi FNS 0%	4-5
Gambar 4. 3 Pola Keruntuhan Sampel 2 Variasi FNS 0%	4-5
Gambar 4. 4 Pola Retak Sampel 3 Variasi FNS 0%	4-6
Gambar 4. 5 Pola Keruntuhan Sampel 1 Variasi FNS 15%	4-7
Gambar 4. 6 Pola Keruntuhan Sampel 2 Variasi FNS 15%	4-7
Gambar 4. 7 Pola Keruntuhan Sampel 3 Variasi FNS 15%	4-7
Gambar 4. 8 Pola Keruntuhan Sampel 1 Variasi FNS 30%	4-8
Gambar 4. 9 Pola Keruntuhan Sampel 2 Variasi FNS 30%	4-8
Gambar 4. 10 Pola Keruntuhan Sampel 3 Variasi FNS 30%	4-9
Gambar 4. 11 Perbandingan Kekuatan Tekan Rata-rata Antar Variasi.....	4-9
Gambar 4. 12 Perbandingan Kecepatan Rata-rata Antar Variasi	4-12
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV Variasi FNS 0% .	4-13
Gambar 4. 14 Grafik Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV Variasi FNS 15%	4-14
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV Variasi FNS 30%	4-15
Gambar 4. 16 Sampel 1 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 0%	4-16
Gambar 4. 17 Sampel 2 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 0%	4-16
Gambar 4. 18 Sampel 3 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 0%	4-16
Gambar 4. 19 Grafik Hubungan <i>Load</i> dan <i>Displacement</i> Variasi FNS 0%	4-17
Gambar 4. 20 Sampel 1 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 15%	4-18
Gambar 4. 21 Sampel 2 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 15%	4-18
Gambar 4. 22 Sampel 3 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 15%	4-18
Gambar 4. 23 Grafik Hubungan <i>Load</i> dan <i>Displacement</i> Variasi FNS 15% ...	4-18
Gambar 4. 24 Sampel 1 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 30%	4-19
Gambar 4. 25 Sampel 2 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 30%	4-19
Gambar 4. 26 Sampel 3 Pengujian Kuat Lentur Variasi FNS 30%	4-19
Gambar 4. 27 Grafik Hubungan <i>Load</i> dan <i>Displacement</i> Variasi FNS 30% ...	4-20
Gambar 4. 28 Perbandingan Kuat Lentur Rata-rata Antar Variasi.....	4-20

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Benda Uji Kuat Tekan dan UPV Beton.....	1-4
Tabel 1. 2 Benda Uji Kuat Lentur Beton.....	1-4
Tabel 2. 1 Persyaratan Persen Lolos Agregat Halus (ASTM C33/C33M-18)	2-7
Tabel 2. 2 Kualitas Beton Berdasarkan Nilai UPV	2-16
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia <i>Slag</i> Feronikel	3-3
Tabel 3. 2 Properti Material.....	3-10
Tabel 3. 3 Proporsi Campuran untuk Variasi FNS 0% (per m ³)	3-10
Tabel 3. 4 Proporsi Campuran untuk FNS 15% (per m ³).....	3-11
Tabel 3. 5 Proporsi Campuran untuk FNS 30% (per m ³).....	3-11
Tabel 3. 6 Proporsi Campuran untuk Berbagai Variasi Penggantian Sebagian <i>Slag</i> Feronikel terhadap Agregat Kasar Per m ³	3-11
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Slump Beton Segar	4-1
Tabel 4. 2 Massa Jenis FNS 0%	4-2
Tabel 4. 3 Massa Jenis FNS 15%	4-2
Tabel 4. 4 Massa Jenis FNS 30%	4-3
Tabel 4. 5 Perbandingan Massa Jenis Rata-rata antar Variasi.....	4-3
Tabel 4. 6 Kekuatan Tekan Variasi FNS 0%	4-5
Tabel 4. 7 Kekuatan Tekan Variasi FNS 15%	4-6
Tabel 4. 8 Kekuatan Tekan Variasi FNS 30%	4-8
Tabel 4. 9 Perbandingan Kekuatan Tekan Rata-rata Antar Variasi	4-9
Tabel 4. 10 Nilai UPV Variasi FNS 0%	4-10
Tabel 4. 11 Nilai UPV Variasi FNS 15%	4-11
Tabel 4. 12 Nilai UPV Variasi FNS 30%	4-11
Tabel 4. 13 Perbandingan UPV Rata-rata Antar Variasi.....	4-12
Tabel 4. 14 Kekuatan Lentur Variasi FNS 0%	4-16
Tabel 4. 15 Kekuatan Lentur Variasi FNS 15%	4-17
Tabel 4. 16 Kekuatan Lentur Variasi FNS 30%	4-19
Tabel 4. 17 Perbandingan Kekuatan Lentur Rata-rata Antar Variasi.....	4-20
Tabel 4. 18 <i>Flexural Toughness</i> Antar Variasi	4-21

Tabel 4. 19 Hubungan Kekuatan Tekan dan Kekuatan Lentur Variasi FNS 0%	4-23
Tabel 4. 20 Hubungan Kekuatan Tekan dan Kekuatan Lentur Variasi FNS 15%	4-23
Tabel 4. 21 Hubungan Kekuatan Tekan dan Kekuatan Lentur Variasi FNS 30%	4-24



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	Pegujian Properti Material	L1-1
LAMPIRAN 2	Pengujian Slump	L2-1
LAMPIRAN 3	Analisa Pengamatan Visual <i>Slag</i> Feronikel	L3-1
LAMPIRAN 4	Brosur <i>Silica Fume</i> dan <i>Superplasticizer</i>	L4-1
LAMPIRAN 5	Laporan Hasil Pengujian Kualitas Air UNPAR	L5-1
LAMPIRAN 6	Perhitungan Mix Design	L6-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

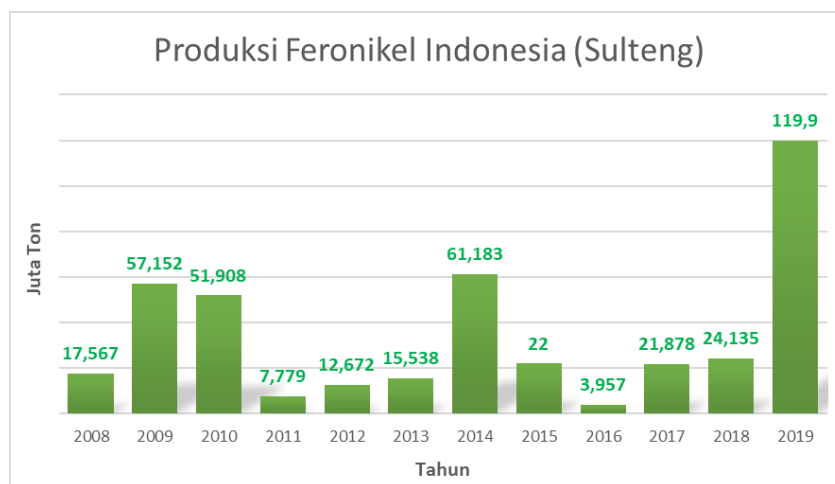
Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan seperti gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Beton adalah material komposit yang terdiri dari media pengikat dan di dalamnya terdapat partikel atau pecahan-pecahan agregat (biasanya kombinasi agregat halus dan agregat kasar). Bahan-bahan dasar yang digunakan untuk produksi beton adalah kerikil alami atau batu pecah sebagai agregat kasar, pasir alami atau debu batu sebagai agregat halus, semen sebagai pengikat, serta air (ACI 116R-00, 2000).

High Strength concrete (HSC) merupakan salah satu teknologi mutakhir pada teknologi beton dan telah menjadi salah satu topik penelitian selama beberapa dekade terakhir, dimana beton dengan jenis ini memiliki kekuatan tekan yang umumnya melebihi 55 MPa (Sakthidoss dkk., 2019). HSC merupakan material komposit yang diformulasikan dengan memanfaatkan semen Portland, *silica fume*, agregat halus, agregat kasar, *superplasticizer*, dan memiliki rasio air *cementitious* (w/cm) yang lebih rendah dari 0.35. Penggunaan HSC pada struktur dapat bermanfaat untuk meningkatkan kelecakan (*workability*), kekuatan tekan beton, daktilitas, dan daya tahan yang kuat terhadap lingkungan ekstrim (Sakthidoss dkk., 2019).

Silica fume merupakan material pozzolan yang sebagian besar komposisinya adalah silika (SiO_2) yang merupakan limbah produk sampingan dari produksi unsur silikon atau campuran besi silikon (Mindess dkk., 2008). *Silica fume* dengan ukuran butiran yang sangat halus mempunyai fungsi untuk meningkatkan reaktifitas hidrasi semen sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton. *Superplasticizer* (SP) merupakan *chemical admixture* yang digunakan untuk mengurai partikel-partikel semen sehingga dapat melepaskan air yang terikat diantara partikel-partikel tersebut. SP dimanfaatkan agar beton dengan w/cm yang rendah memiliki kelecakan (*workability*) yang baik dan mudah dikerjakan. *Silica fume* dan

superplasticizer merupakan *admixture* beton yang sangat perlu dimanfaatkan untuk meningkatkan kekuatan beton dalam memproduksi HSC.

Slag feronikel merupakan limbah dari hasil proses peleburan bijih nikel yang mengandung besi. *Slag* feronikel memiliki sifat-sifat fisik berbentuk granular yang mirip dengan agregat alam yaitu pasir alam dan kerikil/ split (Ferhi, 2019). Permintaan global terhadap feronikel terus meningkat dari tahun ke tahun. Puncaknya pada tahun 2019 dimana produksi feronikel tersebut sebesar 5 kali lipat hanya dalam kurun waktu 1 tahun seperti yang terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Peningkatan Produksi Feronikel di Indonesia (Sumber: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019)

Peningkatan produksi feronikel tentunya akan berbanding lurus dengan peningkatan limbah industri yang dihasilkan dari peleburan feronikel tersebut. Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 tentang Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun mengkategorikan *slag* feronikel sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) kategori bahaya 2. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk menelusuri pemanfaatan limbah B3 yaitu *slag* feronikel sebagai substitusi parsial terhadap agregat kasar untuk konstruksi beton.

Pemanfaatan *slag* feronikel ini diharapkan dapat mendorong program pemerintah dalam pemanfaatan limbah B3 seperti yang tercantum dalam PP No. 101 Tahun 2014 tentang pemanfaatan limbah B3. Menurut PP tersebut pemanfaatan limbah B3 adalah kegiatan penggunaan kembali, daur ulang, dan/atau perolehan kembali yang bertujuan untuk mengubah limbah B3 menjadi produk yang dapat digunakan sebagai substitusi bahan baku, bahan penolong, dan/atau bahan bakar

yang aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup. Tentu saja pemanfaatan limbah dari hasil produksi feronikel tersebut juga harus terjamin keamanan dan kekuatannya pada material beton

1.2 Inti Permasalahan

Mempelajari pengaruh variasi persentase penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel terhadap kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan UPV pada material beton.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, antara lain:

1. Membandingkan hasil kekuatan tekan beton antar berbagai variasi penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel
2. Membandingkan hasil kekuatan lentur beton antar berbagai variasi penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel
3. Membandingkan hasil UPV antar berbagai variasi penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel
4. Mempelajari hubungan kekuatan tekan dan UPV masing-masing variasi campuran beton.
5. Mempelajari hubungan kekuatan tekan dan kekuatan lentur masing-masing variasi campuran beton.

1.4 Pembatasan Masalah

Lingkup penelitian ini, antara lain:

1. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement Composite* (PCC) dengan merek Semen Tiga Roda.
2. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Galunggung yang lolos saringan ASTM #4 (4,75mm).
3. Agregat kasar yang digunakan adalah batu Lagadar dengan ukuran agregat maksimum sebesar 9,5mm.
4. *Silica Fume* yang digunakan adalah MAPEPLAST SF dari PT. Mapei Indonesia Construction Solutions.
5. *Superplasticizer* (SP) yang digunakan adalah MasterGlenium® SKY 8614 yang diperoleh dari PT. Master Builder Solution Indonesia.

6. Rasio air terhadap semen (w/cm) yang digunakan adalah sebesar 0,20.
7. Variasi persentase penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel ditetapkan sebesar 0%, 15% dan 30%.
8. Perencanaan campuran beton menggunakan konsep volume absolut.
9. *Slump* harus berada dalam rentang 25 mm hingga 75 mm sesuai yang tercantum pada ACI 211.1 Tabel A1.5.3.1 untuk berbagai jenis konstruksi.
10. Perawatan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *sealed curing*.
11. Pengujian kekuatan tekan beton dan UPV dilakukan pada umur 7,14, dan 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm.
12. Pengujian kekuatan lentur beton dilakukan pada umur 28 hari dengan benda uji berbentuk balok dengan ukuran $100 \times 100 \times 350$ mm.
13. Jumlah total benda uji adalah sebanyak 27 silinder dan 9 balok seperti yang terlihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2

Tabel 1. 1 Rekapitulasi Benda Uji Kekuatan Tekan dan UPV

Variasi (%)	Bentuk Benda Uji	Umur Pengujian (hari)	Jumlah Benda Uji (buah)
0%	Silinder		9
15%	Silinder	7, 14 dan 28 hari	9
30%	Silinder		9
Total Benda Uji			27

Tabel 1. 2 Rekapitulasi Benda Uji Kekuatan Lentur

Variasi (%)	Bentuk Benda Uji	Umur Pengujian (hari)	Jumlah Benda Uji (buah)
0%	Balok		3
15%	Balok	28 hari	3
30%	Balok		3
Total Benda Uji			9

1.5 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan, antara lain :

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan adalah untuk mendapatkan pengetahuan dasar

ataupun referensi 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.

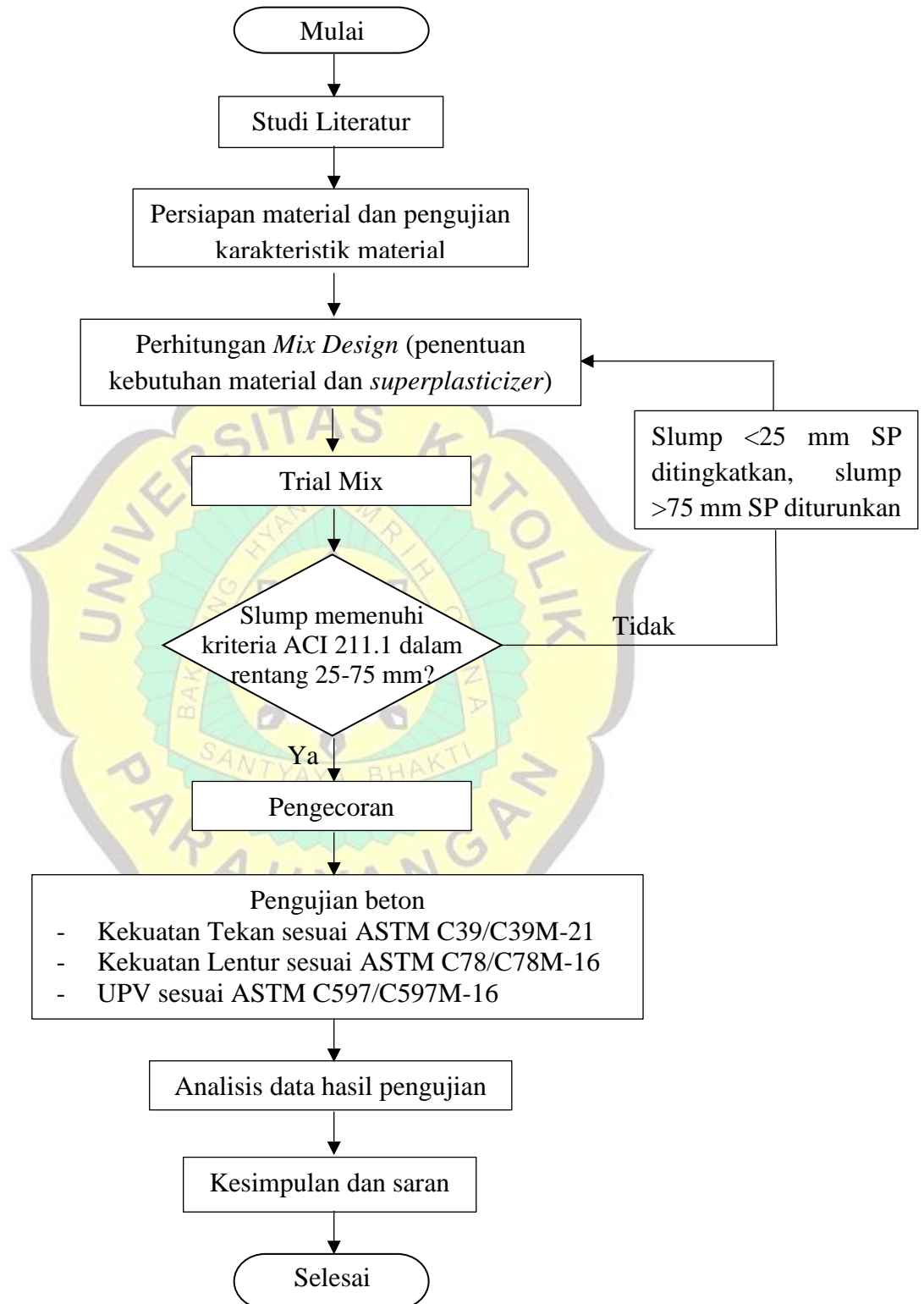
1.6 Sistematika Penulisan

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: Metodologi 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

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



Gambar 1. 2 Diagram Alir Penelitian