

**SKRIPSI**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR  
DAN HUBUNGAN KEKUATAN TEKAN DAN  
ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON  
BERKEKUATAN TINGGI DENGAN PENAMBAHAN  
SILICA SLURRY DAN VARIASI PENGGANTIAN  
SEBAGIAN AGREGAT KASAR DENGAN SLAG  
FERONIKEL**



**ALFANDO SANTONA  
NPM : 6102001035**

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

**SKRIPSI**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR  
DAN HUBUNGAN KEKUATAN TEKAN DAN  
ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON  
BERKEKUATAN TINGGI DENGAN PENAMBAHAN  
SILICA SLURRY DAN VARIASI PENGGANTIAN  
SEBAGIAN AGREGAT KASAR DENGAN SLAG  
FERONIKEL**



**ALFANDO SANTONA  
NPM : 6102001035**

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

**SKRIPSI**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR  
DAN HUBUNGAN KEKUATAN TEKAN DAN  
ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON  
BERKEKUATAN TINGGI DENGAN PENAMBAHAN  
SILICA SLURRY DAN VARIASI PENGGANTIAN  
SEBAGIAN AGREGAT KASAR DENGAN SLAG  
FERONIKEL**



**ALFANDO SANTONA  
NPM : 6102001035**

**BANDUNG, 24 JULI 2024**

**PEMBIMBING:**

**Herry Suryadi, Ph.D.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

**SKRIPSI**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR  
DAN HUBUNGAN KEKUATAN TEKAN DAN  
ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON  
BERKEKUATAN TINGGI DENGAN PENAMBAHAN  
SILICA SLURRY DAN VARIASI PENGGANTIAN  
SEBAGIAN AGREGAT KASAR DENGAN SLAG  
FERONIKEL**



**ALFANDO SANTONA  
NPM : 6102001035**

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

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

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

## LEMBAR PERNYATAAN

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

Nama : Alfando Santona

NPM : 6102001035

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR DAN HUBUNGAN KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON BERKEKUATAN TINGGI DENGAN PENAMBAHAN SILICA SLURRY DAN VARIASI PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT KASAR DENGAN SLAG FERONIKEL**

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: 8 Juli 2024



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alfando', is written over the postage stamp.

Alfando Santona

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR DAN HUBUNGAN  
KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA  
BETON BERKEKUATAN TINGGI DENGAN PENAMBAHAN SILICA  
SLURRY DAN VARIASI PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT  
KASAR DENGAN SLAG FERONIKEL**

**ALFANDO SANTONA  
NPM: 6102001035**

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

**ABSTRAK**

Beton adalah material buatan yang banyak digunakan dalam berbagai konstruksi saat ini dan mempunyai kelebihan utama salah satunya sebagai penunjang kekuatan tekan pada bangunan. Perkembangan properti beton menghasilkan beton berkekuatan tinggi yang digunakan pada konstruksi besar dan tinggi. Beton berkekuatan tinggi tentu memerlukan bahan yang lebih banyak dari beton normal salah satunya agregat kasar. Agregat kasar termasuk material yang keberadaannya cukup terbatas di alam, yang perlu dilakukan inovasi baru untuk melestarikannya. Peleburan bijih nikel yang dilakukan dalam industri telah menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan. Salah satu limbahnya adalah *slag* feronikel yang digunakan untuk penggantian sebagian agregat kasar dalam studi eksperimental ini. Penggunaan *slag* feronikel ini menjadi solusi untuk mengurangi limbah dan pencemaran lingkungan yang terjadi. Penggantian sebagian agregat kasar dalam studi eksperimental ini menggunakan variasi sebesar 0%, 15%, 30% dan 45%. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel terhadap *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dan kekuatan lentur beton ( $f_r$ ). Perbandingan massa agregat halus dengan massa total agregat ( $S/A$ ) sebesar 0,4. *Water cementious ratio* ( $w/c$ ) yang digunakan adalah 0,2. Hasil dari analisis yang dilakukan, diperoleh bahwa *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) pada beton meningkat seiring dengan bertambahnya persentase variasi penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel. UPV pada umur hari ke-28 mencapai nilai kecepatan tertinggi pada variasi 45%, yaitu 4790,09 m/s. Kemudian, untuk hasil analisis pengujian kekuatan lentur pada umur hari ke-28, didapatkan bahwa nilai kekuatan lentur tertinggi ada pada *slag* feronikel variasi 15%, yaitu sebesar 9,81 MPa. Kesimpulannya adalah untuk pengujian UPV, variasi idealnya ada pada *slag* feronikel variasi 45% dan untuk kekuatan lentur, variasi idealnya ada pada *slag* feronikel variasi 15%.

**Kata Kunci:** Beton berkekuatan tinggi, *slag* feronikel, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), kekuatan lentur beton

**EXPERIMENTAL STUDY ON FLEXURAL STRENGTH AND  
CORRELATION BETWEEN COMPRESSIVE STRENGTH AND  
ULTRASONIC PULSE VELOCITY ON HIGH STRENGTH CONCRETE  
WITH SILICA SLURRY ADDITION AND VARIATION OF  
FERRONICKEL SLAG AS COARSE AGGREGATE REPLACEMENT**

**ALFANDO SANTONA  
NPM: 6102001035**

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

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
FACULTY OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
BACHELOR PROGRAM  
(Accredited by SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULY 2024**

**ABSTRACT**

Concrete, an artificial material extensively used in modern construction, primarily supports the compressive strength of buildings. Advancements in concrete properties have led to the creation of High Strength Concrete (HSC), ideal for large and tall structures. HSC requires more materials than regular concrete, including coarse aggregate, which is relatively scarce, necessitating innovative preservation methods. Nickel ore smelting generates industrial waste that can harm the environment, including ferronickel slag, which this study explores as a partial substitute for coarse aggregate. Using ferronickel slag helps mitigate waste and reduce environmental pollution. This experimental study examines the effects of replacing coarse aggregate with ferronickel slag at varying levels of 0%, 15%, 30%, and 45%. The goal is to assess the impact on Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) and concrete flexural strength ( $f_r$ ). The ratio of fine aggregate mass to the total aggregate mass ( $S/A$ ) is 0.4, and the water-cementitious ratio ( $w/c$ ) is 0.2. Analysis reveals that UPV in concrete increases with higher percentages of ferronickel slag, reaching a peak of 4790.09 m/s at 45% replacement at the age of 28 days. For flexural strength, the highest value of 9.81 MPa was observed at 15% ferronickel slag at the age of 28 days. Consequently, the ideal ferronickel slag variation for UPV is 45%, while for flexural strength, it is 15%.

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

## PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya sampai saat ini penulis masih diberikan kesehatan dan semangat sehingga berhasil menyelesaikan skripsi yang berjudul “KAJIAN EKSPERIMENTAL KEKUATAN LENTUR DAN HUBUNGAN KEKUATAN TEKAN DAN ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON BERKEKUATAN TINGGI DENGAN PENAMBAHAN SILICA SLURRY DAN VARIASI PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT KASAR DENGAN SLAG FERONIKEL” dengan baik dan tepat waktu.

Penulis menyadari bahwa kelancaran penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Proses penyusunan skripsi ini menghadapi berbagai rintangan dan tantangan, namun berkat bantuan, saran, dan dukungan, semua dapat dilalui dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi dan bantuan, dari awal hingga penyelesaian skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang selama ini selalu membimbing dan mengarahkan dalam seluruh proses awal hingga selesainya pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak Teguh Farid Nurul Iman, S.T. dan Bapak Markus Didi G. yang telah memberikan bantuan, wawasan, dan masukan selama proses persiapan material hingga pengujian benda uji.
3. Orang tua, saudara penulis dan keluarga besar yang selalu memberi dukungan baik secara doa maupun moral untuk kelancaran dalam penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah meluangkan waktunya untuk menghadiri dan memberikan masukan pada saat seminar judul, seminar isi, dan sidang.
5. Kelvin Hasanudin selaku rekan seperjuangan dari persiapan material dan bahan, pembuatan benda uji, hingga proses pengujian benda uji, yang tentunya telah bekerja sama membantu penulis selama proses eksperimen dan pengerjaan skripsi.



6. Tim Penghuni Lab yaitu Fioni Citra Effendi, Kendra Nathanel, Alya Aurellia Putri Ryan, Christiano Benedictus Tjahjadi, Alditio Manalu, dan Christian Vieri selaku teman seperjuangan dan satu bimbingan dengan dosen pembimbing yang sama di Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan.
7. Teman-teman dari komsel Beton yang selalu memberikan semangat, bantuan, motivasi dan kebersamaan yang tak ternilai harganya dalam suka maupun duka dalam proses pengerjaan skripsi ini hingga tuntas.
8. Teman-teman angkatan 2020 Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
9. Teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis hingga skripsi ini bisa dituntaskan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan rendah hati mengharapkan dan menerima segala bentuk kritik serta saran yang membangun. Penulis juga berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, membantu penelitian selanjutnya, dan menjadi inspirasi bagi para pembaca.

Bandung, 8 Juli 2024



Alfando Santona

6102001035

# 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 DAN SINGKATAN.....</b>                        | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                      | <b>x</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                      | <b>xii</b> |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                                   | <b>xiv</b> |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>                                 | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                       | 1          |
| 1.2 Inti Permasalahan.....                                     | 3          |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                    | 3          |
| 1.4 Pembatasan Masalah.....                                    | 3          |
| 1.5 Metode Penelitian .....                                    | 5          |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                                | 5          |
| 1.7 Diagram Alir Penelitian .....                              | 6          |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                             | <b>8</b>   |
| 2.1 <i>High Strength Concrete</i> (HSC).....                   | 8          |
| 2.2 Metode Volume Absolut.....                                 | 8          |
| 2.3 Material Campuran <i>High Strength Concrete</i> (HSC)..... | 10         |
| 2.3.1 Semen.....   | 10         |
| 2.3.2 Air .....  | 12         |
| 2.3.3 Agregat Halus.....                                       | 13         |
| 2.3.4 Agregat Kasar.....                                       | 14         |
| 2.3.5 <i>Slag</i> Feronikel .....                              | 14         |
| 2.3.6 <i>Silica Slurry</i> .....                               | 15         |
| 2.3.7 <i>Superplasticizer</i> .....                            | 16         |
| 2.4 Kadar Air pada Agregat .....                               | 16         |
| 2.5 <i>Specific Gravity</i> .....                              | 18         |
| 2.5.1 <i>Specific Gravity</i> Semen.....                       | 18         |
| 2.5.2 <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....               | 18         |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| 2.5.3        | <i>Specific Gravity</i> Agregat Kasar dan <i>Slag Feronikel</i> .....                     | 19        |
| 2.6          | Perawatan Beton ( <i>Curing</i> ) .....   | 19        |
| 2.7          | Metode Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).....                                     | 20        |
| 2.8          | Metode Pengujian Kekuatan Lentur Beton / Modulus of Rupture ( <i>f<sub>r</sub></i> ) . 21 |           |
| 2.8.1        | Hubungan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan Kekuatan Tekan Beton<br>22               |           |
| <b>BAB 3</b> | <b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>   | <b>24</b> |
| 3.1          | Material Campuran Beton.....  | 24        |
| 3.1.1        | Semen.....  | 24        |
| 3.1.2        | Agregat Halus.....  | 24        |
| 3.1.3        | Agregat Kasar.....  | 25        |
| 3.1.4        | <i>Silica Slurry</i> .....  | 25        |
| 3.1.5        | <i>Slag Feronikel</i> .....   | 26        |
| 3.1.6        | Air .....   | 27        |
| 3.1.7        | <i>Superplasticizer</i> .....   | 27        |
| 3.2          | Pengujian Material Campuran Beton.....  | 28        |
| 3.2.1        | Pengujian pada <i>Silica Slurry</i> .....   | 28        |
| 3.2.2        | Pengujian pada Semen .....  | 29        |
| 3.2.3        | Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Halus.....                                      | 29        |
| 3.2.4        | Pengujian Absorpsi Agregat Halus .....  | 30        |
| 3.2.5        | Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus .....   | 31        |
| 3.2.6        | Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Kasar.....                                      | 31        |
| 3.2.7        | Pengujian Absorpsi Agregat Kasar .....  | 32        |
| 3.3          | Proporsi Campuran Beton Bermutu Tinggi .....  | 33        |
| 3.3.1        | Penggantian 0% Agregat Kasar dengan <i>Slag Feronikel</i> .....                           | 33        |
| 3.3.2        | Penggantian 15% Agregat Kasar dengan <i>Slag Feronikel</i> .....                          | 34        |
| 3.3.3        | Penggantian 30% Agregat Kasar dengan <i>Slag Feronikel</i> .....                          | 34        |
| 3.3.4        | Penggantian 45% Agregat Kasar dengan <i>Slag Feronikel</i> .....                          | 34        |
| 3.4          | Pembuatan Benda Uji .....   | 35        |
| 3.5          | Pengujian Slump ( <i>Slump Test</i> ).....  | 38        |
| 3.6          | Perawatan Benda Uji.....  | 39        |
| 3.7          | Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....                                     | 40        |
| 3.8          | Pengujian Kekuatan Lentur ( <i>Modulus of Rupture</i> ).....                              | 41        |
| <b>BAB 4</b> | <b>ANALISIS DATA .....</b>  | <b>43</b> |

|                             |  |           |
|-----------------------------|--|-----------|
| 4.1                         | Analisis Massa Jenis dan <i>Slump</i> Beton Segar.....                           | 43        |
| 4.1.1                       | Analisis <i>Slump</i> Beton Segar.....   | 43        |
| 4.1.2                       | Massa Jenis Benda Uji.....   | 45        |
| 4.2                         | Analisis <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV).....                             | 47        |
| 4.2.1                       | Variasi FNS 0% .....   | 47        |
| 4.2.2                       | Variasi FNS 15% .....  | 48        |
| 4.2.3                       | Variasi FNS 30% .....  | 48        |
| 4.2.4                       | Variasi FNS 45% .....  | 49        |
| 4.3                         | Analisis Perbandingan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Antar Variasi FNS ...     | 50        |
| 4.4                         | Analisis Hubungan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV) dan Kekuatan Tekan..... | 51        |
| 4.4.1                       | Variasi FNS 0% .....   | 51        |
| 4.4.2                       | Variasi FNS 15% .....  | 52        |
| 4.4.3                       | Variasi FNS 30% .....  | 52        |
| 4.4.4                       | Variasi FNS 45% .....  | 53        |
| 4.5                         | Analisis Kekuatan Lentur Beton.....  | 54        |
| 4.5.1                       | Variasi FNS 0% .....   | 54        |
| 4.5.2                       | Variasi FNS 15% .....  | 55        |
| 4.5.3                       | Variasi FNS 30% .....  | 56        |
| 4.5.4                       | Variasi FNS 45% .....  | 57        |
| 4.6                         | Analisis Perbandingan Kekuatan Lentur Antar Variasi FNS .....                    | 58        |
| <b>BAB 5</b>                | <b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  | <b>60</b> |
| 5.1                         | Kesimpulan .....   | 60        |
| 5.2                         | Saran .....  | 61        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b> |  | <b>62</b> |

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

|                  |   |
|------------------|---|
| %                | : Persen  |
| ACI              | : <i>American Concrete Institute</i>                            |
| ASTM             | : <i>American Standard Testing and Material</i>                 |
| CA               | : <i>Coarse Aggregate/Agregat Kasar</i>                         |
| CTM              | : <i>Compression Testing Machine.</i>                           |
| $f_c$            | : Kekuatan tekan  |
| $f_r$            | : Kekuatan lentur   |
| FNS              | : <i>Ferronickel Slag</i>                                       |
| FNS 0%           | : Kode variasi kadar <i>Ferronickel Slag</i> 0%                 |
| FNS 15%          | : Kode variasi kadar <i>Ferronickel Slag</i> 15%                |
| FNS 30%          | : Kode variasi kadar <i>Ferronickel Slag</i> 30%                |
| FNS 45%          | : Kode variasi kadar <i>Ferronickel Slag</i> 45%                |
| g                | : Gram  |
| kg               | : Kilogram  |
| cm               | : Sentimeter  |
| mm               | : Milimeter   |
| $k$              | : Koefisien hubungan antara kekuatan tekan dan kuat tarik belah |
| OD               | : <i>Oven Dry</i> atau kering oven                              |
| SSD              | : <i>Saturated Surface Dry</i>                                  |
| OPC              | : <i>Ordinary Portland Cement</i>                               |
| PPC              | : <i>Portland Pozzolan Cement</i>                               |
| PCC              | : <i>Portland Cement Composite</i>                              |
| UPV              | : <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>                              |
| SG               | : <i>Specific Gravity</i>                                       |
| SNI              | : Standar Nasional Indonesia                                    |
| SP               | : <i>Superplasticizer</i>                                       |
| w                | : Kadar air/ <i>moisture content</i>                            |
| S/A              | : <i>Sand to Aggregate Ratio</i>                                |
| w/c              | : <i>Water-cement Ratio</i>                                     |
| SiO <sub>2</sub> | : Silika  |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 1.1</b> Diagram Alir Penelitian.....   | 6  |
| <b>Gambar 2.1</b> Alat <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (Sumber: Bungey, dkk, 2006)..... | 20 |
| <b>Gambar 2.2</b> Skema Kekuatan Lentur <i>Third Point Loading</i> (ASTM C78-16).....    | 22 |
| <b>Gambar 3.1</b> Portland Composite Cement (PCC).....                                   | 24 |
| <b>Gambar 3.2</b> Pasir Galunggung .....   | 25 |
| <b>Gambar 3.3</b> Agregat Kasar .....  | 25 |
| <b>Gambar 3.4</b> <i>Silica Slurry</i> .....   | 26 |
| <b>Gambar 3.5</b> <i>Slag Feronikel</i> .....  | 26 |
| <b>Gambar 3.6</b> Air.....   | 27 |
| <b>Gambar 3.7</b> <i>Superplasticizer</i> .....  | 28 |
| <b>Gambar 3.8</b> Alat untuk <i>Slump Test</i> dan Molen Besar .....                     | 35 |
| <b>Gambar 3.9</b> Cetakan Silinder dan Balok.....  | 36 |
| <b>Gambar 3.10</b> Proses Memasukkan Agregat Halus dan Semen .....                       | 36 |
| <b>Gambar 3.11</b> Proses Memasukkan Agregat Kasar ke Dalam Molen .....                  | 37 |
| <b>Gambar 3.12</b> <i>Plastic Wrap</i> digunakan untuk Menutup Benda Uji.....            | 38 |
| <b>Gambar 3.13</b> Peralatan untuk <i>Slump Test</i> .....                               | 38 |
| <b>Gambar 3.14</b> Hasil Pengukuran Uji <i>Slump</i> .....                               | 39 |
| <b>Gambar 3.15</b> Metode <i>Sealed Curing</i> pada Beton .....                          | 39 |
| <b>Gambar 3.16</b> Alat <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> .....                           | 40 |
| <b>Gambar 3.17</b> Nilai Hasil UPV .....   | 41 |
| <b>Gambar 3.18</b> Proses Uji Kekuatan Lentur.....                                       | 41 |
| <b>Gambar 3.19</b> Data <i>Peak Load</i> Kekuatan Lentur.....                            | 42 |
| <b>Gambar 4.1</b> Pengujian <i>Slump</i> pada FNS 0% .....                               | 44 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 4.2</b> Pengujian <i>Slump</i> pada FNS 15% .....                     | 44 |
| <b>Gambar 4.3</b> Pengujian <i>Slump</i> pada FNS 30% .....                     | 44 |
| <b>Gambar 4.4</b> Pengujian <i>Slump</i> pada FNS 45% .....                     | 44 |
| <b>Gambar 4.5</b> Grafik Perbandingan Massa Jenis Rata-rata Antar Variasi ..... | 46 |
| <b>Gambar 4.6</b> Perbandingan Kecepatan Rata-rata Antar Variasi .....          | 50 |
| <b>Gambar 4.7</b> Grafik Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV FNS 0% .....           | 51 |
| <b>Gambar 4.8</b> Grafik Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV FNS 15% .....          | 52 |
| <b>Gambar 4.9</b> Grafik Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV FNS 30% .....          | 52 |
| <b>Gambar 4.10</b> Grafik Hubungan Kekuatan Tekan dan UPV FNS 45% .....         | 53 |
| <b>Gambar 4.11</b> Sampel 1,2, dan 3 Kekuatan Lentur Variasi FNS 0% .....       | 55 |
| <b>Gambar 4.12</b> Sampel 1,2, dan 3 Kekuatan Lentur Variasi FNS 15% .....      | 56 |
| <b>Gambar 4.13</b> Sampel 1,2, dan 3 Kekuatan Lentur Variasi FNS 30% .....      | 57 |
| <b>Gambar 4.14</b> Sampel 1,2, dan 3 Kekuatan Lentur Variasi FNS 45% .....      | 58 |
| <b>Gambar 4.15</b> Perbandingan Kekuatan Lentur Rata-rata Antar Variasi .....   | 59 |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Persen Lolos Agregat Halus Menurut ASTM C33 .....                 | 14 |
| <b>Tabel 2.2</b> Kualitas Beton pada Nilai UPV (Sumber: Djayaprabha, dkk, 2020)... | 21 |
| <b>Tabel 3.1</b> Properti Material.....  | 33 |
| <b>Tabel 3.2</b> Proporsi Campuran FNS 0% (per m <sup>3</sup> ).....               | 33 |
| <b>Tabel 3.3</b> Proporsi Campuran FNS 15% (per m <sup>3</sup> ).....              | 34 |
| <b>Tabel 3.4</b> Proporsi Campuran FNS 30% (per m <sup>3</sup> ).....              | 34 |
| <b>Tabel 3.5</b> Proporsi Campuran FNS 45% (per m <sup>3</sup> ).....              | 35 |
| <b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....                                | 43 |
| <b>Tabel 4.2</b> Massa Jenis FNS 0% .....  | 45 |
| <b>Tabel 4.3</b> Massa Jenis FNS 15% .....   | 45 |
| <b>Tabel 4.4</b> Massa Jenis FNS 30% .....   | 45 |
| <b>Tabel 4.5</b> Massa Jenis FNS 45% .....   | 46 |
| <b>Tabel 4.6</b> Perbandingan Massa Jenis Rata-rata Antar Variasi .....            | 46 |
| <b>Tabel 4.7</b> <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Variasi FNS 0%.....              | 47 |
| <b>Tabel 4.8</b> <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Variasi FNS 15%.....             | 48 |
| <b>Tabel 4.9</b> <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Variasi FNS 30%.....             | 48 |
| <b>Tabel 4.10</b> <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Variasi FNS 30% (Lanjutan)..... | 49 |
| <b>Tabel 4.11</b> <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> Variasi FNS 45%.....            | 49 |
| <b>Tabel 4.12</b> Perbandingan UPV Rata-rata antar Variasi FNS .....               | 50 |
| <b>Tabel 4.13</b> Kekuatan Lentur Variasi FNS 0% .....                             | 54 |
| <b>Tabel 4.14</b> Kekuatan Lentur Variasi FNS 15% .....                            | 55 |
| <b>Tabel 4.15</b> Kekuatan Lentur Variasi FNS 30% .....                            | 56 |
| <b>Tabel 4.16</b> Kekuatan Lentur Variasi FNS 45% .....                            | 57 |



**Tabel 4.17** Perbandingan Kekuatan Lentur Rata-rata Antar Variasi..... 58



## DAFTAR LAMPIRAN

|            |  |    |
|------------|--|----|
| LAMPIRAN 1 | PENGUJIAN PROPERTI MATERIAL .....                                  | 65 |
| LAMPIRAN 2 | <i>TECHNICAL DATA SHEET SILICA SLURRY DAN SUPERPLACIZIER</i> ..... | 76 |
| LAMPIRAN 3 | PERHITUNGAN <i>MIX DESIGN</i> .....                                | 81 |



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang sangat penting dan banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur di seluruh dunia. Beton adalah bahan konstruksi buatan yang terdiri dari bahan-bahan dasar campuran seperti agregat kasar (kerikil alami atau batu pecah), agregat halus (pasir alami atau debu batu), semen sebagai pengikat, air, dan bahan tambahan lainnya seperti serat atau bahan kimia penambah kekuatan dalam proporsi tertentu. Sejak dahulu manusia telah menggunakan beton untuk membangun berbagai struktur mulai dari bangunan tinggi hingga jembatan yang kokoh. Kekuatan beton berasal dari interaksi antara semen dan air yang membentuk matriks keras, sedangkan agregat memberikan kepadatan dan kekuatan tambahan. Untuk menghasilkan beton berkekuatan tinggi, pemilihan, pengawasan, dan proporsi semua bahan dasar yang dicampur sangat penting. (ACI 211.4R, 2008).

Selain dikenal dengan kekuatan tekannya yang tinggi, beton juga dapat dimodifikasi untuk menghasilkan beton berkekuatan tinggi (*High Strength Concrete/HSC*) yang diperlukan untuk konstruksi bangunan tinggi, jembatan, gedung pencakar langit dan struktur lainnya yang memikul beban berat. Penggunaan HSC memberikan beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan beton biasa, seperti kemampuan memikul beban yang lebih besar, dimensi elemen struktur yang lebih ramping, serta peningkatan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim. Rasio air-semen yang rendah dan pemadatan yang baik juga sangat penting untuk menghasilkan HSC dengan kinerja optimal. Meskipun demikian, sifat mekanik dan durabilitas HSC perlu dikaji secara komprehensif agar dapat diaplikasikan dengan aman pada struktur beton bertulang maupun struktur khusus lainnya.

Untuk meningkatkan kinerja HSC, dapat dilakukan modifikasi pada komposisi campuran dengan menambahkan bahan tambah (*admixture*) seperti

*silica slurry* dan *superplasticizer* yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan kekedapan beton. *Silica slurry* adalah suspensi khusus yang terdiri dari partikel-partikel silika koloid ( $\text{SiO}_2$ ) yang diencerkan dalam larutan air atau pelarut organik tertentu (Mourhly, 2015). Bahan ini menjadi fokus penelitian dan pengembangan karena kemampuannya untuk meningkatkan kinerja beton, terutama dalam hal kekuatan dan ketahanan terhadap korosi serta penetrasi air. Penggunaan *silica slurry* menghasilkan gel silika yang mengisi pori-pori dan retakan mikroskopis dalam struktur beton, sehingga meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap keausan. *Superplasticizer* (SP) adalah campuran kimiawi yang digunakan untuk mengurai partikel semen sehingga dapat melepaskan air yang terikat di antaranya. SP digunakan untuk membuat beton dengan w/c yang rendah agar mudah dikerjakan dan memiliki *workability* yang baik.

Selain itu, pemanfaatan limbah industri seperti *slag* feronikel juga berpotensi untuk menggantikan sebagian agregat kasar pada campuran HSC. *Slag* feronikel adalah salah satu jenis limbah industri yang dihasilkan dari proses peleburan bijih nikel dengan suhu yang tinggi untuk memproduksi feronikel (paduan besi-nikel). *Slag* ini memiliki karakteristik fisik berbentuk butiran kasar/granular yang mirip dengan agregat alam. Kehadiran *slag* feronikel dalam campuran beton dapat mengurangi permeabilitas beton, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi air, bahan kimia agresif, dan korosi, yang sangat penting untuk struktur bangunan yang tahan lama.

Jika dikutip dari data kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), produksi feronikel Indonesia semakin meningkat setiap tahun hingga mencapai angka 2,47 juta ton pada tahun 2021 (Mediatama, 2022). Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah limbah dari feronikel tersebut juga meningkat. *Slag* feronikel dikategorikan termasuk limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) oleh Peraturan Pemerintah No.101 Tahun 2014. Oleh karena itu, penelitian ini meneliti penggunaan *slag* feronikel yang termasuk limbah B3 sebagai pengganti parsial agregat kasar dalam pembuatan beton. *Slag* ini berpotensi untuk dimanfaatkan kembali karena jumlahnya cukup banyak sebagai limbah industri. Diharapkan bahwa *slag* ini akan meningkatkan kinerja beton dan mengurangi dampak limbah industri.

*Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) merupakan teknik atau metode yang mengevaluasi sifat-sifat material, termasuk keretakan, kepadatan, dan dapat mendeteksi adanya cacat atau kerusakan yang mungkin terjadi di dalam struktur. Dengan metode ini, beton yang diuji tidak rusak dan kualitas beton dapat dicek secara cepat di lapangan dan hasil yang telah diuji dapat dikorelasikan dengan kekuatan tekan beton. Oleh karena itu, UPV banyak digunakan untuk memastikan kualitas beton dalam suatu konstruksi.

## **1.2 Inti Permasalahan**

Inti permasalahan dari studi eksperimental ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *silica slurry* dan variasi penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel terhadap kekuatan lentur dan UPV pada beton berkekuatan tinggi.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Studi eksperimental ini dilakukan dengan tujuan:

1. Membandingkan hasil kekuatan lentur beton dengan berbagai variasi penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel.
2. Membandingkan hasil UPV dengan berbagai variasi penggantian sebagian agregat kasar dengan *slag* feronikel.
3. Mengetahui hubungan UPV dengan kekuatan tekan beton pada masing-masing variasi campuran beton.

## **1.4 Pembatasan Masalah**

Pembatasan yang diterapkan pada studi eksperimental ini mencakup:

1. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Galunggung.
2. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dari daerah Rumpin, Bogor yang diperoleh dari PT Wijaya Karya Beton, Tbk. dengan ukuran agregat maksimum sebesar 9,5 mm.
3. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement Composite* (PCC) dengan merek Semen Tiga Roda.
4. *Slag* yang digunakan adalah *Slag* Feronikel dari PT Growth Java Industry.

5. *Silica Slurry* yang digunakan adalah MasterLife SF 3263 dari PT Sika Indonesia.
6. *Superplasticizer (SP)* yang digunakan adalah MasterEase® 3079 dari PT Sika Indonesia
7. Rasio air terhadap sementitus ( $w/c$ ) yang digunakan adalah sebesar 0,20.
8. Variasi persentase penggantian *slag* feronikel sebagai penggantian sebagian agregat kasar adalah sebesar 0%, 15%, 30%, dan 45%.
9. Perencanaan *mix design* menggunakan metode volume absolut.
10. Pengujian kekuatan tekan beton dan UPV dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm sesuai dengan standar ASTM C469.
11. Perawatan benda uji dilakukan dengan metode *sealed curing*.
12. Pengujian kekuatan lentur beton dilakukan pada umur 28 hari dengan benda uji berbentuk balok (100 × 100 × 350 mm).
13. *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.
14. Rincian benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dan UPV adalah 12 buah berbentuk balok dan 36 buah berbentuk silinder dapat dilihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2.

**Tabel 1. 1 Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Kekuatan Tekan dan UPV**

| Jenis Pengujian        | Bentuk dan Ukuran               | Variasi (%)     | Umur Pengujian (hari) | Jumlah Benda Uji (buah) |
|------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
|                        |                                 | 0%              |                       | 9                       |
| Kekuatan Tekan dan UPV | Silinder berukuran 100 x 200 mm | 15%             | 7, 14, dan 28         | 9                       |
|                        |                                 | 30%             |                       | 9                       |
|                        |                                 | 45%             |                       | 9                       |
|                        |                                 | Total Benda Uji |                       | 36                      |

**Tabel 1. 2 Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Kekuatan Lentur**

| <b>Jenis Pengujian</b> | <b>Bentuk dan Ukuran</b>           | <b>Variasi (%)</b> | <b>Umur Pengujian (hari)</b> | <b>Jumlah Benda Uji (buah)</b> |
|------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                        |                                    | 0%                 |                              | 3                              |
| Kekuatan Lentur        | Balok berukuran 100 x 100 x 350 mm | 15%                | 28                           | 3                              |
|                        |                                    | 30%                |                              | 3                              |
|                        |                                    | 45%                |                              | 3                              |
|                        |                                    | Total Benda Uji    |                              | 12                             |

### 1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada studi eksperimental ini adalah:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan meneliti sejumlah sumber, seperti jurnal, *paper*, buku, dan karya tulis ilmiah. Tujuannya adalah untuk memperluas pengetahuan dan wawasan yang diperlukan dalam melaksanakan penelitian di laboratorium.

#### 2. Studi Eksperimental

Studi eksperimental ini dilakukan di Laboratorium Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan. Rangkaian kegiatan studi mencakup tahapan dari persiapan material, perhitungan jumlah kebutuhan material, pembuatan benda uji, hingga pengujian benda uji.

#### 3. Analisis Data

Analisis data adalah tahap pengolahan data yang dilakukan pada seluruh rangkaian studi eksperimental untuk mencapai tujuan penelitian.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi 5 bab, yaitu:

#### **BAB 1: PENDAHULUAN**

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

## **BAB 2: DASAR TEORI**

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

## **BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi prosedur penelitian yang meliputi persiapan benda uji, pembuatan benda uji, hingga pengujian benda uji di laboratorium.

## **BAB 4: ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

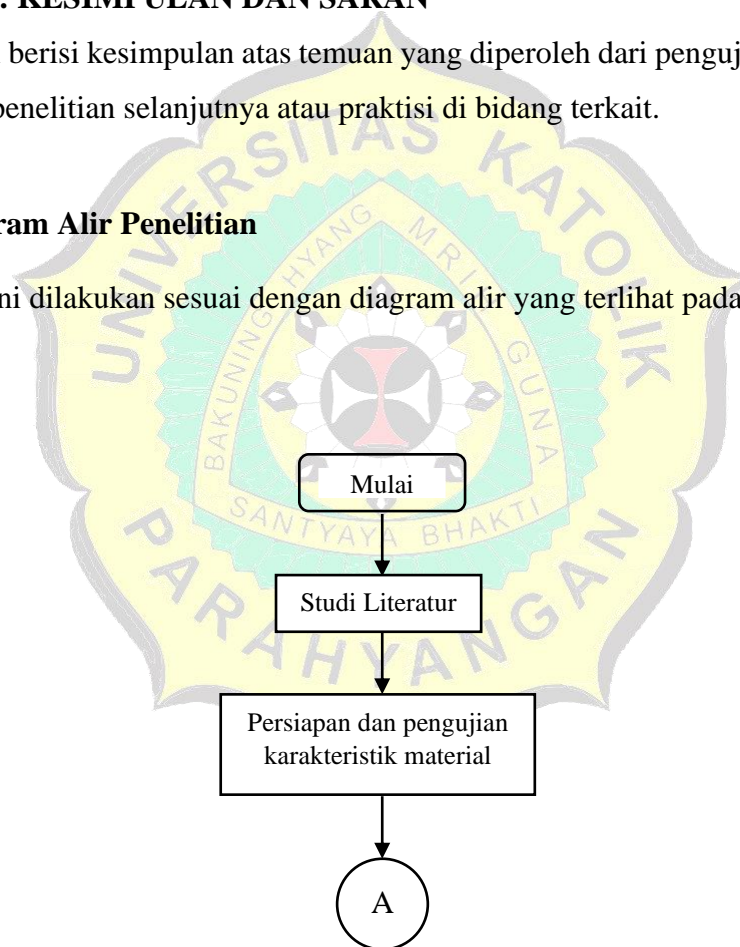
Bab ini berisi analisis dan pembahasan dari proses pengujian benda uji di laboratorium.

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

Bab ini berisi kesimpulan atas temuan yang diperoleh dari pengujian dan saran untuk penelitian selanjutnya atau praktisi di bidang terkait.

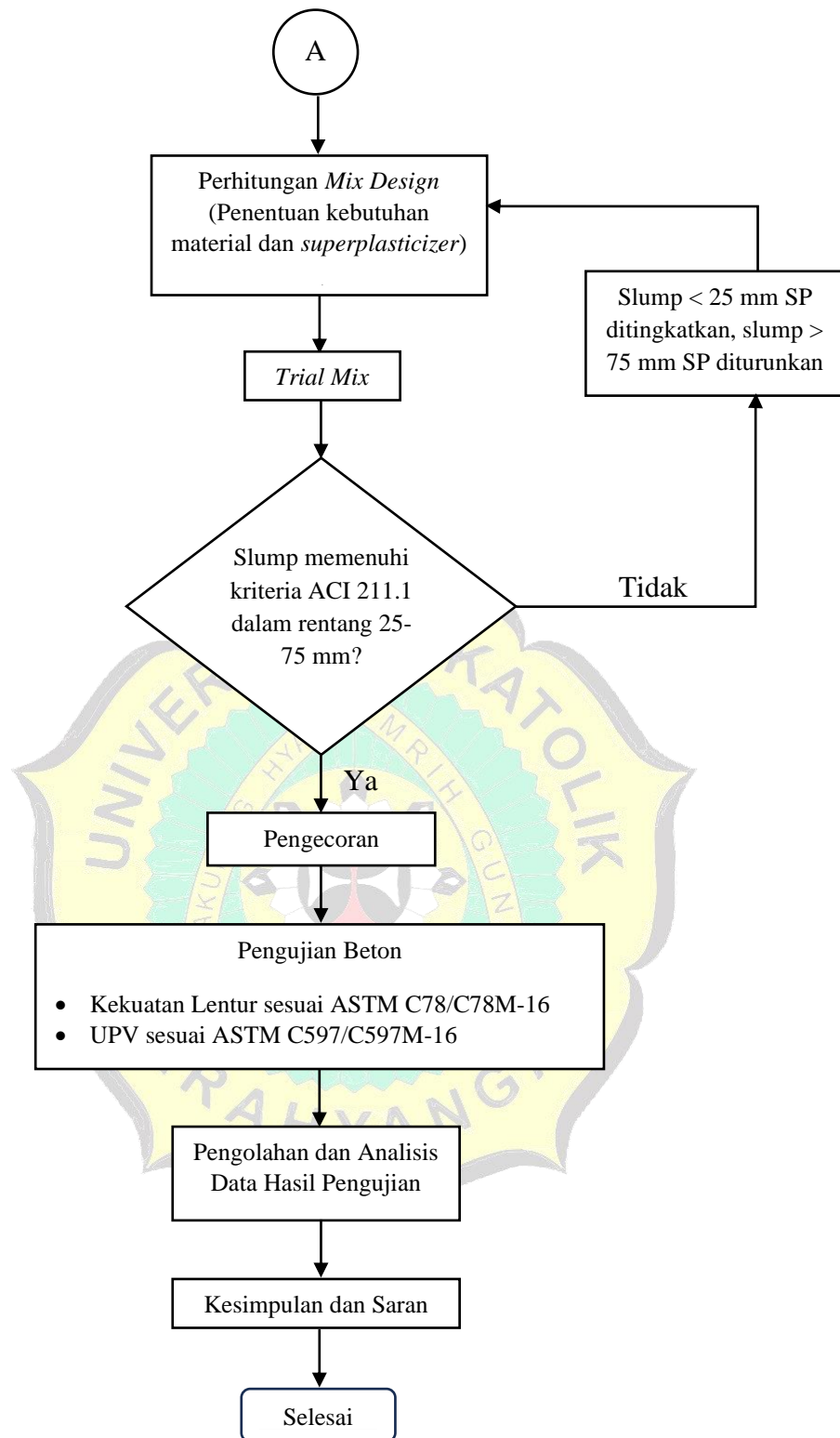
### **1.7 Diagram Alir Penelitian**

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir yang terlihat pada



**Gambar 1.1** Diagram Alir Penelitian





**Gambar 1.1** Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)