

**SKRIPSI**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH  
MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TERHADAP  
KUAT TEKAN, *DRYING SHRINKAGE*, DAN  
POROSITAS PASTA TANPA SEMEN BERBAHAN  
DASAR SLAG FERONIKEL HALUS YANG  
DIAKTIVASI DENGAN LARUTAN SODIUM  
HIDROKSIDA DAN SODIUM SILIKAT**



**NATALIA SUSANTO SALIM  
NPM : 2016410080**

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)  
BANDUNG  
DESEMBER 2019**

**SKRIPSI**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH  
MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TERHADAP  
KUAT TEKAN, *DRYING SHRINKAGE*, DAN  
POROSITAS PASTA TANPA SEMEN BERBAHAN  
DASAR SLAG FERONIKEL HALUS YANG  
DIAKTIVASI DENGAN LARUTAN SODIUM  
HIDROKSIDA DAN SODIUM SILIKAT**



**NATALIA SUSANTO SALIM  
NPM : 2016410080**

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)  
BANDUNG  
DESEMBER 2019**

**SKRIPSI**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH  
MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TERHADAP  
KUAT TEKAN, *DRYING SHRINKAGE*, DAN  
POROSITAS PASTA TANPA SEMEN BERBAHAN  
DASAR SLAG FERONIKEL HALUS YANG  
DIAKTIVASI DENGAN LARUTAN SODIUM  
HIDROKSIDA DAN SODIUM SILIKAT**



**NATALIA SUSANTO SALIM  
NPM : 2016410080**

**BANDUNG, 20 DESEMBER 2019  
PEMBIMBING:**

**Herry Suryadi, Ph.D.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)  
BANDUNG  
DESEMBER 2019**

## PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini,

Nama lengkap : Natalia Susanto Salim

NPM : 2016410080

dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul: “KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TERHADAP KUAT TEKAN, *DRYING SHRINKAGE*, DAN POROSITAS PASTA TANPA SEMEN BERBAHAN DASAR SLAG FERONIKEL HALUS YANG DIAKTIVASI DENGAN LARUTAN SODIUM HIDROKSIDA DAN SODIUM SILIKAT” adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 20 Desember 2019



Natalia Susanto Salim

2016410080

**KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH  
MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TERHADAP  
KUAT TEKAN, *DRYING SHRINKAGE*, DAN  
POROSITAS PASTA TANPA SEMEN BERBAHAN  
DASAR SLAG FERONIKEL HALUS YANG  
DIAKTIVASI DENGAN LARUTAN SODIUM  
HIDROKSIDA DAN SODIUM SILIKAT**

**Natalia Susanto Salim  
NPM: 2016410080**

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)  
BANDUNG  
DESEMBER 2019**

**ABSTRAK**

Semen portland merupakan salah satu bahan konstruksi utama yang mempunyai sifat hidrolis, yaitu suatu material yang dapat mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kuat dan akan mengeras apabila bersentuhan dengan air. Namun, proses pembuatan semen portland merupakan *anthropogenic emission* CO<sub>2</sub> terbesar ketiga setelah oksidasi bahan bakar fosil dan pengalihan lahan sehingga menyebabkan pencemaran udara. Reaksi kimia pembuatan klinker semen dan pembakaran bahan bakar fosil dengan suhu mencapai 1000°C lebih untuk memanaskan bahan mentah dalam pembuatan semen portland menghasilkan emisi gas CO<sub>2</sub> yang sangat besar. Untuk menyikapi masalah tersebut, penelitian dan pengembangan teknologi beton dapat dilakukan dengan tujuan mencari alternatif pengganti semen portland dengan material yang lebih ramah lingkungan. Material alternatif pengganti semen yang dikaji dalam uji eksperimental ini adalah slag feronikel halus. Slag feronikel halus yang digunakan sebagai pengganti semen harus dicampur dengan larutan aktivator untuk memicu aktivitas hidrolis slag. Pada uji eksperimental ini, slag feronikel halus digunakan sebagai bahan utama pembuatan pasta tanpa semen dengan sodium silikat dan variasi molaritas sodium hidroksida sebagai aktivator. Variasi molaritas sodium hidroksida yang digunakan adalah 6M, 8M, dan 10M. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, *drying shrinkage*, porositas, dan penyerapan air. Hasil rata-rata pengujian pada umur 28 hari diurutkan berdasarkan molaritas 6M, 8M, 10M, dan semen *w/c* 0,5 berturut-turut adalah sebagai berikut: kuat tekan (55,240 MPa, 56,953 MPa, 41,662 MPa, dan 34,900 MPa), porositas (33,778%, 34,728%, 36,136%, dan 19,090%), penyerapan air (19,364%, 19,688%, 20,619%, dan 11,471%), serta *drying shrinkage* (-1,224%, -0,590%, -0,695%, dan -0,055%).

Kata Kunci: *drying shrinkage*, kuat tekan, pasta, porositas dan penyerapan air, slag feronikel halus.

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF SODIUM  
HYDROXIDE MOLARITY ON COMPRESSIVE STRENGTH,  
DRYING SHRINKAGE, AND POROSITY OF NO-CEMENT  
PASTE MADE WITH GROUND GRANULATED  
FERRONICKEL SLAG ACTIVATED BY SODIUM  
HYDROXIDE AND SODIUM SILICATE**

**Natalia Susanto Salim  
NPM: 2016410080**

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

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
(Accredited by SK BAN-PT No. 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)  
BANDUNG  
DECEMBER 2019**

**ABSTRACT**

Portland cement is the main construction materials that has a hydraulic properties, which is a material that can bind solid materials together and will be harden when in contact with water. However, the production of portland cement is the third largest source of anthropogenic emissions of CO<sub>2</sub> after the oxidation of fossil fuels and land use change thus causing air pollution. The chemical reaction of making cement clinkers and the combustion of fossil fuels to heat the raw ingredients with temperatures over 1000 °C in the manufacture of portland cement produces a lot of CO<sub>2</sub> gas emissions. In order to solve this problem, research and development of concrete technology can be carried out with the aim of finding alternatives portland cement replacement with eco-friendly materials. The alternative cement replacement that was examined in this experimental test was ground granulated ferronickel slag. Ground granulated ferronickel slag that used for cement replacement must be mixed with an activator solution to trigger the hydraulic activity of the slag. In this experimental test, ground granulated ferronickel slag was used as the main ingredient for making no-cement paste with sodium silicate and molarity variations of sodium hydroxide as activator. The molarity variations of sodium hydroxide used are 6M, 8M, and 10M. The tests were carried out on compressive strength, drying shrinkage, porosity, and water absorption. The average results at 28 days sorted by molarity of 6M, 8M, 10M, and cement *w/c* 0,5 respectively were as follows: compressive strength (55,240 MPa, 56,953 MPa, 41,662 MPa, and 34,900 MPa ), porosity (33,778%, 34,728%, 36,136%, and 19,090%), water absorption (19,364%, 19,688%, 20,619%, and 11,471%), and drying shrinkage (-1,224%, -0,590%, -0,695%, and -0.055%).

Keywords: drying shrinkage, compressive strength, paste, porosity and water absorption, ground granulated ferronickel slag.

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan rahmat-Nya, skripsi yang berjudul **“KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH MOLARITAS SODIUM HIDROKSIDA TERHADAP KUAT TEKAN, *DRYING SHRINKAGE*, DAN POROSITAS PASTA TANPA SEMEN BERBAHAN DASAR SLAG FERONIKEL HALUS YANG DIAKTIVASI DENGAN LARUTAN SODIUM HIDROKSIDA DAN SODIUM SILIKAT”** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan program studi tingkat S-1, Fakultas Teknik-Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan Bandung. Dalam penyusunan skripsi ini banyak terdapat kendala-kendala yang dihadapi penulis baik secara teknis maupun non-teknis. Namun, kendala-kendala tersebut dapat teratasi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik berkat bimbingan, kritik, saran, dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, memberikan pengarahan, bimbingan, dan ilmu selama pembuatan skripsi ini.
2. Ibu Buen Sian, Ir., M.T. dan Bapak Altho Sagara, S.T., M.T. selaku dosen penguji pada sidang skripsi yang telah memberikan kritik dan saran dalam pembuatan skripsi ini.
3. Bapak Teguh Farid, S.T., Bapak Markus Didi, dan Bapak Heri Rustandi yang telah membantu dalam proses pembuatan benda uji dan pengujian di laboratorium.
4. Semua dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu selama proses perkuliahan.
5. Orang tua penulis dan saudara penulis yang selalu mendoakan, memberikan semangat serta dukungan.
6. Teman-teman seperjuangan skripsi, Anggita Stefany Hutauruk, Eduardus Gerald Winata, Ashila Hasya Fatharani, Muhammad Muktar Mukti, Sila Joti,

- dan Vinsensius Soedarso yang saling membantu dan selalu memberi dukungan.
7. Teman-teman kelompok belajar penulis, Giovanni Binar, Angie Oriana, Karen Gratiana, Jonathan Wijaya, Gabriella Junico, Flavia Frederick, dan Astari Ariffianti yang selalu mendukung dan menemani penulis dalam proses penelitian
  8. Teman-teman teknik sipil angkatan 2016 yang telah membantu, mendoakan, dan memberikan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
  9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu, mendoakan, dan memberi dukungan dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dan semoga skripsi ini dapat berguna untuk pembaca dan penelitian di masa mendatang.

Bandung, 20 Desember 2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Natalia', with a horizontal line underneath the name.

Natalia Susanto Salim

2016410080



# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
PRAKATA .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR NOTASI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1-1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1-1
1.2 Inti Permasalahan .....	1-3
1.3 Tujuan Penelitian .....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah .....	1-4
1.5 Metodologi Penelitian .....	1-4
1.6 Diagram Alir .....	1-6
1.7 Sistematika Penulisan .....	1-7
BAB 2 DASAR TEORI .....	2-1
2.1 Pasta .....	2-1
2.2 Komposisi Pasta .....	2-1
2.2.1 Semen .....	2-1
2.2.2 Air .....	2-2
2.2.3 Slag Feronikel .....	2-3
2.2.4 Alkali Aktivator .....	2-6
2.2.4.1 Sodium Hidroksida .....	2-7

2.2.4.2 Sodium Silikat .....	2-9
2.3 Penyusutan ( <i>Shrinkage</i> ) .....	2-10
2.3.1 Jenis Penyusutan ( <i>Shrinkage</i> ) .....	2-11
2.3.1.1 <i>Plastic Shrinkage</i> .....	2-11
2.3.1.2 <i>Autogeneous Shrinkage</i> .....	2-12
2.3.1.3 <i>Drying Shrinkage</i> .....	2-13
2.3.1.4 <i>Carbonation Shrinkage</i> .....	2-14
2.3.2 Metode Pengujian <i>Drying Shrinkage</i> .....	2-16
2.4 Porositas .....	2-17
2.4.1 Metode Pengujian Porositas .....	2-19
2.5 Penyerapan Air .....	2-19
2.5.1 Metode Pengujian Penyerapan Air .....	2-20
2.6 Kuat Tekan .....	2-20
2.6.1 Metode Pengujian Kuat Tekan .....	2-21
<b>BAB 3 PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN .....</b>	<b>3-1</b>
3.1 Bahan Uji .....	3-1
3.1.1 Semen .....	3-1
3.1.2 Slag Feronikel Halus .....	3-1
3.1.3 Sodium Hidroksida .....	3-2
3.1.4 Sodium Silikat .....	3-2
3.1.5 Air .....	3-3
3.2 Karakteristik Bahan Uji .....	3-3
3.2.1 <i>Specific Gravity</i> Semen .....	3-3
3.2.2 <i>Specific Gravity</i> Slag Feronikel Halus .....	3-4
3.2.3 <i>Specific Gravity</i> Sodium Hidroksida .....	3-5
3.2.4 <i>Specific Gravity</i> Sodium Silikat .....	3-7

3.3 Perhitungan Perencanaan Campuran ( <i>Mix Design</i> ) .....	3-7
3.3.1 Perencanaan Campuran ( <i>Mix Design</i> ) Benda Uji Slag .....	3-7
3.3.2 Perencanaan Campuran ( <i>Mix Design</i> ) Benda Uji Kontrol.....	3-10
3.4 Pembuatan Benda Uji.....	3-11
3.5 Perawatan Benda Uji.....	3-14
3.6 Pengujian Benda Uji .....	3-14
3.6.1 Uji <i>Drying Shrinkage</i> .....	3-14
3.6.2 Uji Porositas.....	3-17
3.6.3 Uji Penyerapan Air.....	3-17
3.6.4 Uji Kuat Tekan.....	3-18
BAB 4 ANALISIS DATA .....	4-1
4.1 Analisis Hasil Uji Kuat Tekan .....	4-1
4.1.1 Analisis Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 6M.....	4-1
4.1.2 Analisis Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 8M.....	4-2
4.1.3 Analisis Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 10M.....	4-3
4.1.4 Analisis Kuat Tekan Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5 .....	4-4
4.1.5 Perbandingan Kuat Tekan Semua Campuran .....	4-5
4.2 Analisis Hasil Uji <i>Drying Shrinkage</i> .....	4-6
4.2.1 Analisis <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 6M .....	4-6
4.2.2 Analisis <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 8M .....	4-7
4.2.3 Analisis <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 10M .....	4-9
4.2.4 Analisis <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5 .....	4-11
4.2.5 Perbandingan <i>Drying Shrinkage</i> Semua Campuran.....	4-12
4.3 Analisis Hasil Uji Porositas dan Penyerapan Air.....	4-13
4.3.1 Analisis Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 6M .....	4-14

4.3.2 Analisis Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 8M .....	4-15
4.3.3 Analisis Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 10M .....	4-16
4.3.4 Analisis Porositas dan Penyerapan Air Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5.....	4-17
4.3.5 Perbandingan Porositas dan Penyerapan Air Semua Campuran .....	4-18
4.4 Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas dan Penyerapan Air.....	4-20
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	5-1
5.1 Kesimpulan.....	5-1
5.2 Saran .....	5-2

DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang tekan rata-rata (mm <sup>2</sup> )
Abs	= Penyerapan air (%)
ACI	= <i>The American Concrete Institute</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= Aluminum oksida (alumina)
ASC	= <i>Activated Slag Cement</i>
ASTM	= <i>American Society of Testing and Materials</i>
CaCO <sub>3</sub>	= Kalsium karbonat
CaO	= Kalsium oksida
Ca(OH) <sub>2</sub>	= Kalsium hidroksida
Cl	= Klorin
CO <sub>2</sub>	= Karbon dioksida
CSH	= <i>Calcium Silicate Hydrate</i>
CTM	= <i>Compression Testing Machine</i>
Fe	= Ferrum/besi
$f_c$	= Kuat tekan pasta (MPa)
G	= Panjang pengukur nominal (250 mm)
GGBFS	= <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i>
IPCC	= <i>Intergovernmental Panel of Climate Change</i>
ITZ	= <i>Interfacial Transition Zone</i>
K <sub>2</sub> O	= Kalium oksida
L <sub>i</sub>	= Pembacaan awal panjang benda uji dikurangi pembacaan panjang <i>reference bar</i> pada saat yang sama (mm)
L <sub>x</sub>	= Pembacaan panjang benda uji pada umur ke-x dikurangi pembacaan panjang <i>reference bar</i> pada umur ke-x (mm)
M	= Molaritas (M)
m	= Massa unsur (gram)
MgO	= Magnesium oksida (magnesia)
MnO	= Mangan (II) oksida
Mr	= Massa atom relatif

$n$	= Jumlah mol zat (mol)
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	= Sodium karbonat (soda abu)
$\text{NaOH}$	= Sodium hidroksida
$\text{Na}_2\text{O}$	= Sodium oksida
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{SiO}_3$	= Sodium silikat
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	= Sodium sulfat
$\text{Ni}$	= Nikel
OD	= <i>Oven Dry</i>
P	= Porositas (%)
$P_{\max}$	= Beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji (N)
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
PDAM	= Perusahaan Daerah Air Minum
$\text{P}_2\text{O}_5$	= Difosfor pentaoksida
S	= Sulfur
SEM	= <i>Scanning Elctron Microscope</i>
SG	= <i>Specific Gravity</i> ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
$\text{SiO}_2$	= Silikon dioksida (silika)
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
USGS	= <i>United States Geological Survey</i>
V	= Volume ( $\text{m}^3$ )
W	= Massa (kg)
$W_{\text{OD}}$	= Berat benda uji kering oven (gram)
$W_{\text{SSD}}$	= Berat benda uji dalam kondisi SSD (gram)
$W_{\text{Susp}}$	= Berat benda uji dalam air (gram)
$w/c$	= <i>Water-to-cement ratio</i>
$\Delta L$	= Perubahan panjang umur ke-x (%)
$\rho$	= Massa jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Proses Emisi CO <sub>2</sub> dari produksi semen tahun 1925-2016.....	1-1
<b>Gambar 1.2</b> Diagram Alir.....	1-6
<b>Gambar 2.1</b> Bongkahan Slag Feronikel .....	2-3
<b>Gambar 2.2</b> <i>Granulated Nickel Slag</i> .....	2-4
<b>Gambar 2.3</b> Proses Penggilingan GGBFS.....	2-4
<b>Gambar 2.4</b> Slag Feronikel Halus (GGBFS).....	2-5
<b>Gambar 2.5</b> <i>Tertiary Diagram</i> .....	2-6
<b>Gambar 2.6</b> Efek Aktivator yang Berbeda terhadap Kekuatan Tekan 14 Hari Pasta yang Mengandung 50% GGBFS Berbeda .....	2-7
<b>Gambar 2.7</b> Proses Permulaan <i>Plastic Shrinkage</i> .....	2-12
<b>Gambar 2.8</b> Mekanisme <i>Drying Shrinkage</i> .....	2-14
<b>Gambar 2.9</b> <i>Nominal Gauge Length</i> .....	2-16
<b>Gambar 2.10</b> Pengaruh <i>w/c</i> terhadap Porositas Kapiler .....	2-17
<b>Gambar 2.11</b> Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Porositas Kapiler .....	2-18
<b>Gambar 2.12</b> Efek Dinding .....	2-18
<b>Gambar 3.1</b> Semen Tiga Roda .....	3-1
<b>Gambar 3.2</b> Slag Feronikel Halus PT Growth Java Industry .....	3-2
<b>Gambar 3.3</b> Sodium Hidroksida ( <i>liquid</i> ).....	3-2
<b>Gambar 3.4</b> Sodium Silikat .....	3-2
<b>Gambar 3.5</b> Pengujian <i>Specific Gravity</i> Semen .....	3-4
<b>Gambar 3.6</b> Pengujian <i>Specific Gravity</i> Sodium Hidroksida .....	3-6
<b>Gambar 3.7</b> Cetakan ( <i>mold</i> ): Kubus (Kiri), Prisma (Kanan).....	3-12
<b>Gambar 3.8</b> Urutan Pemasakan Benda Uji Dalam Cetakan .....	3-13
<b>Gambar 3.9</b> Proses Pengecoran dan Pemasakan Pasta .....	3-13
<b>Gambar 3.10</b> Perawatan Benda Uji (Metode <i>Sealed Curing</i> ) .....	3-14
<b>Gambar 3.11</b> Pengukuran Benda Uji Kondisi 1 .....	3-15
<b>Gambar 3.12</b> Pengukuran Benda Uji Kondisi 2 .....	3-15
<b>Gambar 3.13</b> Pengukuran Benda Uji Kondisi 3 .....	3-16
<b>Gambar 3.14</b> Alat Uji <i>Drying Shrinkage</i> .....	3-16

<b>Gambar 3.15</b> Benda Uji <i>Drying Shrinkage</i> : Semen (Kiri), Slag (Kanan).....	3-16
<b>Gambar 3.16</b> Proses Pengujian Porositas dan Penyerapan Air .....	3-17
<b>Gambar 3.17</b> Benda Uji Porositas dan Penyerapan Air Pasca <i>Oven Dry</i> .....	3-18
<b>Gambar 3.18</b> Alat <i>Compression Testing Machine</i> (CTM).....	3-18
<b>Gambar 3.19</b> Benda Uji Pasca Uji Kuat Tekan: Semen (Atas), Slag (Bawah).3-19	
<b>Gambar 4.1</b> Hubungan Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 6M terhadap Umur .....	4-1
<b>Gambar 4.2</b> Hubungan Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 8M terhadap Umur .....	4-2
<b>Gambar 4.3</b> Hubungan Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 10M terhadap Umur.....	4-3
<b>Gambar 4.4</b> Hubungan Kuat Tekan Kontrol Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5 terhadap Umur .....	4-4
<b>Gambar 4.5</b> Hubungan Kuat Tekan Pasta terhadap Umur.....	4-5
<b>Gambar 4.6</b> Hubungan <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 6M terhadap Umur.....	4-7
<b>Gambar 4.7</b> Hubungan <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 8M terhadap Umur.....	4-8
<b>Gambar 4.8</b> Hubungan <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 10M terhadap Umur .....	4-10
<b>Gambar 4.9</b> Hubungan <i>Drying Shrinkage</i> Kontrol Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5 terhadap Umur.....	4-12
<b>Gambar 4.10</b> Hubungan <i>Drying Shrinkage</i> terhadap Umur .....	4-13
<b>Gambar 4.11</b> Hubungan Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 6M terhadap Umur.....	4-14
<b>Gambar 4.12</b> Hubungan Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 8M terhadap Umur.....	4-15
<b>Gambar 4.13</b> Hubungan Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 10M terhadap Umur.....	4-16
<b>Gambar 4.14</b> Hubungan Porositas dan Penyerapan Air Kontrol Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5 terhadap Umur .....	4-17
<b>Gambar 4.15</b> Hubungan Porositas terhadap Umur .....	4-18



<b>Gambar 4.16</b> Hubungan Penyerapan Air terhadap Umur .....	4-19
<b>Gambar 4.17</b> Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas dan Penyerapan Air Umur 7 Hari .....	4-21
<b>Gambar 4.18</b> Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas dan Penyerapan Air Umur 14 Hari .....	4-21
<b>Gambar 4.19</b> Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas dan Penyerapan Air Umur 28 Hari .....	4-21

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Benda Uji Pasta Slag Feronikel.....	1-5
<b>Tabel 1.2</b> Benda Uji Pasta Semen .....	1-5
<b>Tabel 2.1</b> Komposisi Kimia Slag Feronikel .....	2-5
<b>Tabel 3.1</b> Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> Semen.....	3-4
<b>Tabel 3.2</b> Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> Slag Feronikel Halus.....	3-5
<b>Tabel 3.3</b> Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> Sodium Hidroksida 6M.....	3-6
<b>Tabel 3.4</b> Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> Sodium Hidroksida 8M.....	3-6
<b>Tabel 3.5</b> Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> Sodium Hidroksida 10M.....	3-6
<b>Tabel 3.6</b> Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> Sodium Silikat.....	3-7
<b>Tabel 3.7</b> Kebutuhan Bahan Uji <i>Drying Shrinkage</i> .....	3-9
<b>Tabel 3.8</b> Kebutuhan Bahan Uji Porositas, Penyerapan Air, dan Kuat Tekan..	3-10
<b>Tabel 3.9</b> Kebutuhan Bahan Uji Kontrol .....	3-11
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 6M.....	4-1
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 8M.....	4-2
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasta Slag Molaritas NaOH 10M.....	4-3
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Pengujian Kuat Tekan Kontrol Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5 .....	4-4
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-Rata.....	4-5
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Pengujian <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 6M..	4-6
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Pengujian <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 8M..	4-7
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Pengujian <i>Drying Shrinkage</i> Pasta Slag Molaritas NaOH 10M	4-9
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Pengujian <i>Drying Shrinkage</i> Kontrol Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5.....	4-11
<b>Tabel 4.10</b> Hasil Pengujian <i>Drying Shrinkage</i> Rata-Rata.....	4-12
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Pengujian Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 6M.....	4-14
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Pengujian Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 8M.....	4-15
<b>Tabel 4.13</b> Hasil Pengujian Porositas dan Penyerapan Air Pasta Slag Molaritas NaOH 10M.....	4-16

<b>Tabel 4.14</b> Hasil Pengujian Porositas dan Penyerapan Air Kontrol Pasta Semen <i>w/c</i> 0,5 .....	4-17
<b>Tabel 4.15</b> Hasil Pengujian Porositas dan Penyerapan Air Rata-Rata.....	4-18
<b>Tabel 4.16</b> Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas dan Penyerapan Air Umur 7 Hari .....	4-20
<b>Tabel 4.17</b> Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas dan Penyerapan Air Umur 14 Hari .....	4-20
<b>Tabel 4.18</b> Hubungan Kuat Tekan dengan Porositas dan Penyerapan Air Umur 28 Hari .....	4-20

## DAFTAR LAMPIRAN

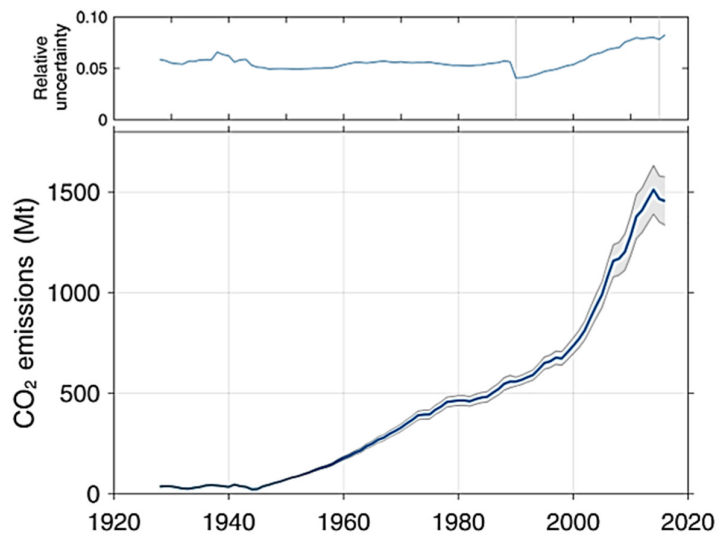
LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN <i>SPECIFIC GRAVITY</i> SLAG.....	L1-1
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN <i>SPECIFIC GRAVITY</i> SEMEN.....	L2-1
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN <i>SPECIFIC GRAVITY</i> LARUTAN NaOH....	L3-1
L3.1 <i>Specific Gravity</i> Larutan Sodium Hidroksida 6M .....	L3-1
L3.2 <i>Specific Gravity</i> Larutan Sodium Hidroksida 8M .....	L3-2
L3.3 <i>Specific Gravity</i> Larutan Sodium Hidroksida 10M .....	L3-3
LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN <i>SPECIFIC GRAVITY</i> LARUTAN Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> L4-1	
LAMPIRAN 5 PERHITUNGAN MIX DESIGN PASTA SLAG.....	L5-1
L5.1 <i>Mix Design Alkali Activated</i> 6M.....	L5-1
L5.2 <i>Mix Design Alkali Activated</i> 8M.....	L5-3
L5.3 <i>Mix Design Alkali Activated</i> 10M.....	L5-5
LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN <i>MIX DESIGN</i> PASTA SEMEN W/C 0,5 ....	L6-1
LAMPIRAN 7 PERHITUNGAN KUAT TEKAN.....	L7-1
LAMPIRAN 8 PERHITUNGAN DRYING SHRINKAGE.....	L8-1
L8.1 Pengukuran Kondisi 1 .....	L8-1
L8.2 Pengukuran Kondisi 2 dan Kondisi 3 .....	L8-2
LAMPIRAN 9 PERHITUNGAN POROSITAS.....	L9-1
LAMPIRAN 10 PERHITUNGAN PENYERAPAN AIR.....	L10-1

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Produksi semen portland melaju dengan cepat di seluruh dunia dengan tingkat produksi global yang tinggi setiap tahunnya. Namun, proses pembuatan semen portland merupakan *anthropogenic emission* CO<sub>2</sub> terbesar ketiga setelah oksidasi bahan bakar fosil dan pengalihan lahan (Andrew, 2017). Ada dua sumber emisi CO<sub>2</sub> pada proses pembuatan semen portland. Sumber emisi yang pertama adalah reaksi kimia ketika memproduksi bahan utama semen (klinker). Pada proses ini, karbonat (sebagian besar batu kapur, CaCO<sub>3</sub>) diuraikan menjadi oksida (kapur mentah, CaO) dan CO<sub>2</sub> dengan penambahan panas. Proses ini menyumbang sekitar 5% dari total *anthropogenic emission* CO<sub>2</sub> (tidak termasuk pengalihan lahan) (Boden et al., 2017). Sumber emisi yang kedua adalah pembakaran bahan bakar fosil dengan suhu mencapai 1000°C lebih dengan tujuan menghasilkan energi signifikan yang diperlukan untuk memanaskan bahan mentah. Total emisi CO<sub>2</sub> industri semen adalah sebanyak 8% dari emisi CO<sub>2</sub> global. (Le Quéré et al., 2016, 2017; IPCC, 2006). Proses emisi CO<sub>2</sub> global dari produksi semen tahun 1925 sampai tahun 2016 dengan interval kepercayaan 95 % adalah sebagai berikut:



**Gambar 1.1** Proses Emisi CO<sub>2</sub> dari produksi semen tahun 1925-2016  
(Sumber: USGS, 2017)

Penelitian dan pengembangan *Alkali-Activated Cement* dilakukan untuk mengurangi penggunaan semen portland. *Alkali-Activated Cement* mempunyai daya tahan yang kuat dan ramah lingkungan. Karena keunggulan tersebut, *Alkali-Activated Cement* banyak diaplikasikan pada transportasi, industri, pertanian, perumahan, pertambangan, serta dalam pengelolaan limbah termasuk pengelolaan limbah radioaktif dan logam beracun. Secara teoritis, bahan yang tersusun dari silika dan aluminium dapat diaktifkan secara alkali. Bahan-bahan yang sudah digunakan dalam penelitian dan pengembangan *Alkali-Activated Cement* sampai saat ini adalah residu pembakaran tanur tinggi, metakaolin, abu terbang, lempung kaolinitik, dan lumpur merah. Penelitian dan pengembangan ini telah menghasilkan produk bernama geopolimer. Geopolimer merupakan alternatif pengikat beton yang ramah lingkungan karena penggunaan energi dan emisi CO<sub>2</sub> yang rendah. Geopolimer ditemukan pada tahun 1979 oleh Joseph Davidovits. Geopolimer adalah semen yang terbentuk dari proses polimerisasi anorganik residu pembakaran tanur tinggi (slag) yang berbahan dasar alumina silikat dengan cairan alkali. Semen geopolimer mampu membentuk ikatan kimia yang kuat dengan semua jenis agregat. Semen ini memiliki proses *curing* yang lebih cepat daripada semen portland. Beton yang dicor menggunakan semen ini akan mendapatkan sebagian besar kekuatannya dalam waktu 24 jam. Tetapi waktu *setting* yang diperlukan semen geopolimer sangat lama sehingga diperlukan bahan pereaksi basa dan air untuk mempercepat pengerasannya pada suhu kamar. Residu pembakaran tanur tinggi (slag) yang sudah dikembangkan menjadi semen geopolimer adalah:

- a. Abu terbang/*fly ash* (limbah pembangkit listrik tenaga batu bara),
- b. Abu sekam (limbah pembakaran sekam),
- c. *Silica fume* (limbah produk logam silikon/campuran ferosilikon), dan
- d. *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS).

Sulitnya memperoleh mineral pembuat geopolimer di banyak tempat mendesak para peneliti dan pengembang teknologi beton untuk mempelajari dan mengembangkan *Alkali-Activated Cement* dengan konsep pencampuran mineral baru. Mineral yang sedang diteliti dan dikembangkan saat ini adalah slag feronikel. Slag feronikel adalah produk sampingan yang diperoleh dari proses pembuatan *stainless steel* dan campuran nikel. Peleburan bijih nikel menjadi satu ton logam

feronikel dapat menghasilkan sekitar 14 ton slag feronikel (Huang et al., 2017). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa slag feronikel dapat digunakan untuk memproduksi polimer anorganik dan kaca, namun rasio pemanfaatannya masih rendah sampai saat ini. Banyak slag feronikel yang dibuang atau digunakan sebagai pengisi tanah, menempati area lahan luas, dan mencemari lingkungan. Menurut penelitian, slag feronikel menunjukkan aktivitas pozzolan di dalam komponennya sehingga mineral tersebut berpotensi untuk menjadi bahan campuran beton. Oleh karena itu, penggunaan slag feronikel halus dapat digunakan sebagai alternatif material pengganti semen. Penggunaan material slag sebagai pengganti semen ini dikenal dengan istilah *Activated Slag Cement (ASC)*.

*Drying shrinkage* adalah parameter penting untuk menentukan durabilitas suatu material. *Drying shrinkage* dapat menimbulkan keretakan pada beton. Porositas adalah parameter yang berhubungan dengan tingkat kekuatan beton. Semakin besar volume porositas beton, semakin rendah kekuatan beton tersebut. Sebaliknya semakin kecil volume porositas beton, semakin tinggi kekuatan beton tersebut. Penelitian mengenai slag feronikel halus sebagai pengganti semen portland pada pasta tanpa semen terhadap *drying shrinkage* dan porositas belum pernah dilakukan sehingga menjadi topik yang menarik untuk ditinjau.

## **1.2 Inti Permasalahan**

Permasalahan yang ditinjau dari penelitian ini adalah pengaruh sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebagai aktivator slag feronikel halus terhadap *drying shrinkage*, porositas, penyerapan air, dan kuat tekan pada pasta tanpa semen.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hubungan *drying shrinkage* terhadap umur pada pasta slag dan pasta semen.
2. Mengetahui hubungan porositas terhadap umur pada pasta slag dan pasta semen.
3. Mengetahui hubungan porositas terhadap kuat tekan pasta slag dan pasta semen.

### 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Perencanaan campuran menggunakan metode volume absolut.
2. Rasio aktivator terhadap bahan pengikat (*Alkali liquid-to-binder ratio*) adalah 0,5.
3. Rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  ditetapkan sebesar 2,5.
4. Molaritas NaOH ditetapkan sebesar 6M, 8M, dan 10M.
5. Perawatan dilakukan dengan metode *sealed curing*.
6. Uji *drying shrinkage* dilakukan pada benda uji prisma dengan ukuran  $25 \times 25 \times 285$  mm yang diuji pada umur 1, 5, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan mengambil nilai rata-rata dari minimum 3 buah benda uji.
7. Uji porositas dan penyerapan air dilakukan pada benda uji kubus  $50 \times 50 \times 50$  mm yang diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari.
8. Uji kuat tekan dilakukan pada benda uji kubus  $50 \times 50 \times 50$  mm yang diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari.
9. Benda uji kontrol menggunakan pasta semen dengan  $w/c$  sebesar 0,5.
10. Jumlah total benda uji: 12 buah prisma ( $25 \times 25 \times 285$  mm) dan minimum 72 buah kubus  $50 \times 50 \times 50$  mm.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Penyusunan skripsi ini dibuat dengan metode-metode sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur adalah metode penelitian yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan pengetahuan dasar tentang penelitian yang akan dilakukan dengan cara membaca berbagai macam literatur, jurnal penelitian, buku-buku, dan internet.

2. Studi eksperimental

Studi eksperimental adalah metode penelitian yang dilakukan untuk memperoleh hasil pengujian di laboratorium. Studi eksperimental dimulai dari pengujian karakteristik material, perencanaan *mix design*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji sampai pengujian *drying shrinkage*, porositas, dan penyerapan air pada benda uji.



Tabel 1.1 Benda Uji Pasta Slag Feronikel

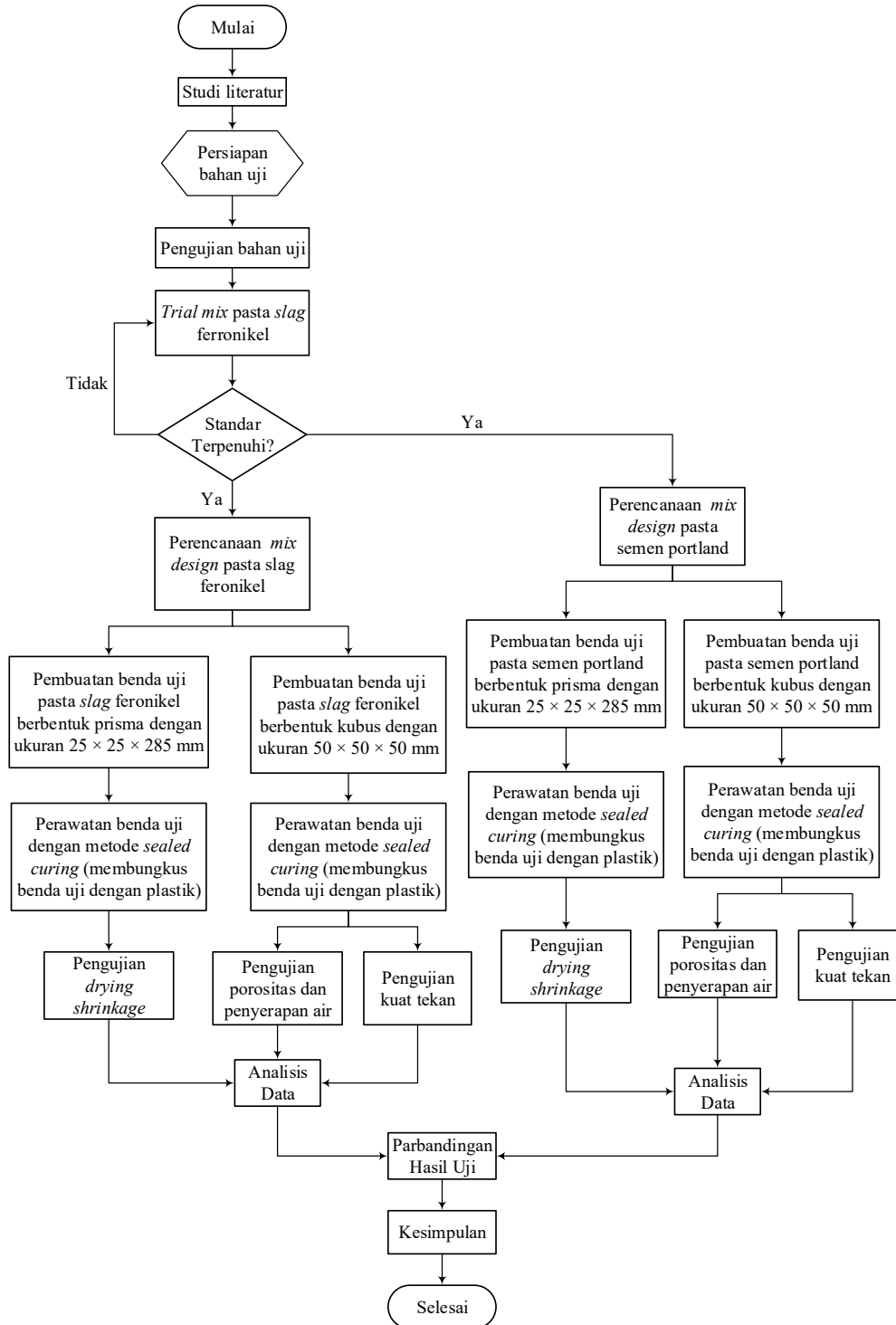
BAHAN UJI	JENIS PENGUJIAN	MOLARITAS	BENDA UJI						JUMLAH SAMPEL	
			BENTUK	UMUR PENGUJIAN						
				1	3	7	14	21		28
Pasta Slag Feronikel	Drying Shrinkage	6M	Prisma 25 × 25 × 285 mm	3						9
		8M		3						
		10M		3						
	Porositas dan Penyerapan Air	6M	Kubus 50 × 50 × 50 mm	-	-	3	3	-	3	27
		8M		-	-	3	3	-	3	
		10M		-	-	3	3	-	3	
	Kuat Tekan	6M	Kubus 50 × 50 × 50 mm	-	-	3	3	-	3	27
		8M		-	-	3	3	-	3	
		10M		-	-	3	3	-	3	

Tabel 1.2 Benda Uji Pasta Semen

BAHAN UJI	JENIS PENGUJIAN	W/C	BENDA UJI						JUMLAH SAMPEL	
			BENTUK	UMUR PENGUJIAN						
				1	3	7	14	21		28
Pasta Semen	Drying Shrinkage	0,5	Prisma 25 × 25 × 285 mm	3						3
	Porositas dan Penyerapan Air	0,5	Kubus 50 × 50 × 50 mm	-	-	3	3	-	3	9
	Kuat Tekan	0,5	Kubus 50 × 50 × 50 mm	-	-	3	3	-	3	9

## 1.6 Diagram Alir

Proses dan tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini didasarkan pada diagram alir pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Diagram Alir

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Secara garis besar sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab, yaitu:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang latar belakang penulisan, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, diagram alir, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 DASAR TEORI**

Bab ini menjelaskan dasar teori yang berkaitan dengan permasalahan. Adapun yang dibahas yaitu teori-teori yang digunakan saat penelitian berdasarkan studi pustaka yang sudah dilakukan.

### **BAB 3 PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN**

Bab ini membahas tentang persiapan pembuatan benda uji pasta sampai pengujian kuat tekan, *drying shrinkage*, serta pengujian porositas dan penyerapan air pada benda uji.

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

Bab ini membahas analisis dari hasil uji kuat tekan, *drying shrinkage*, serta porositas dan penyerapan air yang sudah dilakukan pada benda uji pasta.

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

Bab ini membahas kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan serta memberikan saran dari hasil penelitian.