

SKRIPSI

**SIFAT MEKANIS BETON GEOPOLIMER
BERBAHAN DASAR *GGBFS* DENGAN AGREGAT
KASAR LUMPUR SIDOARJO DENGAN VARIASI
AGREGAT HALUS ALAMI**



**JASON NATANAEL
NPM : 6101901059**

PEMBIMBING: Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING: Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

**MECHANICAL PROPERTIES OF GGBFS-BASED
GEOPOLYMER CONCRETE WITH COARSE AGGREGATE
LUMPUR SIDOARJO WITH VARIATIONS OF NATURAL FINE
AGGREGATE**



**JASON NATANAEL
NPM : 6101901059**

ADVISOR: Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro

CO-ADVISOR: Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARY 2023**

SKRIPSI

**SIFAT MEKANIS BETON GEOPOLIMER
BERBAHAN DASAR *GGBFS* DENGAN AGREGAT
KASAR LUMPUR SIDOARJO DENGAN VARIASI
AGREGAT HALUS ALAMI**



**JASON NATANAEL
NPM : 6101901059**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**KO-
PEMBIMBING: Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.**

PENGUJI 1: Herry Suryadi, Ph.D.

PENGUJI 2: Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

PERNYATAAN

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

Nama : Jason Natanael

NPM : 6101901059

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

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

Sifat Mekanis Beton Geopolimer Berbahan Dasar GGBFS dengan Agregat Kasar Lumpur Sidoarjo dengan Variasi Agregat Halus Alami

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: 6 Januari 2023


Jason Natanael

6101901059

*) coret yang tidak perlu

SIFAT MEKANIS BETON GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR *GGBFS* DENGAN AGREGAT KASAR LUMPUR SIDOARJO DENGAN VARIASI AGREGAT HALUS ALAMI

Jason Natanael
NPM : 6101901059

Pembimbing : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
Ko-pembimbing : Sisi Nova Rizkiani

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023

ABSTRAK

Material konstruksi yang paling sering digunakan saat ini adalah material beton sehingga membutuhkan semen sebagai material utamanya. Dalam pembuatan semen, masih banyak menghasilkan gas CO₂ yang berbahaya bagi lingkungan. Upaya dalam mengatasi gas CO₂ ini adalah mengganti semen menjadi *GGBFS* sebagai *binder* dalam campuran beton. *GGBFS* harus diaktifkan dengan menggunakan sodium hidroksida dan sodium silikat agar dapat menjadi *binder* dalam campuran beton. Dalam mendukung lingkungan yang ramah, material agregat kasar yang digunakan merupakan lumpur sidoarjo yang sudah diolah menjadi kerikil Agregat halus yang digunakan merupakan campuran dari agregat halus alami dan pasir sidoarjo yang merupakan hasil pengolahan juga. Campuran dari *GGBFS*, aktivator, kerikil lumpur sidoarjo dan pasir merupakan beton geopolimer. Campuran beton yang digunakan pada penelitian ini dilakukan dengan 3 macam variasi agregat halus, 0% pasir sidoarjo, 15% pasir sidoarjo dan 30% pasir sidoarjo. Perbandingan antara agregat dan *binder* 60%:40%. Perbandingan antara agregat kasar dan agregat halus 60%:40%. Perbandingan larutan aktivator NaOH dan Na₂SiO₃ 40%:60%. Pengujian yang dilakukan kuat tekan, kuat tarik belah, kuat geser, modulus elastisitas, *poisson ratio* dan UPV NDT. Seluruh pengujian menggunakan benda uji silinder 100 x 200 mm kecuali pengujian kuat geser menggunakan benda uji balok 100 x 100 x 300 mm. Pengujian kuat tekan 28 hari pada 0%, 15% dan 30% sebesar 31,65 MPa, 31,08 MPa dan 34,04 MPa. Pengujian kuat tarik belah maksimum sebesar 2,83 MPa. Pengujian kuat geser maksimum sebesar 2,82 MPa. Pengujian modulus elastisitas dan *poisson ratio* maksimum sebesar 16039,67 MPa dan 0,31. Pengujian UPV NDT menunjukkan seluruh beton pada penelitian ini memiliki kualitas baik. Kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat geser maksimum berturut-turut terletak pada variasi agregat halus 30%, 15% dan 15%.

Kata kunci : beton geopolimer, *GGBFS*, lumpur sidoarjo, sifat mekanis.

**MECHANICAL PROPERTIES OF *GGBFS*-BASED
GEOPOLYMER CONCRETE WITH COARSE
AGGREGATE SIDOARJO MUD
WITH VARIATIONS OF NATURAL FINE AGGREGATE**

**Jason Natanael
NPM : 6101901059**

**Advisor : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
Co-Advisor: Sisi Nova Rizkiani**

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

(Accredited by SK BAN-PT Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JANUARY 2023**

ABSTRACT

The most commonly used construction material today is concrete, which requires cement as its main material. In the manufacture of cement, it still produces a lot of CO₂, which is harmful to the environment. Efforts to overcome this CO₂ gas are to replace cement with GGBFS as a binder in the concrete mixture. GGBFS must be activated using sodium hydroxide and sodium silicate so that it can become a binder in the concrete mixture. In support of a friendly environment, the coarse aggregate material used is Sidoarjo mud, which has been processed into gravel. The fine aggregate used is a mixture of natural fine aggregate and Sidoarjo sand, which is also the result of processing. The mixture of GGBFS, activator, Sidoarjo mud, gravel, and sand is a geopolymer concrete. The concrete mixture used in this study was carried out with 3 types of fine aggregate variations: 0% Sidoarjo sand, 15% Sidoarjo sand, and 30% Sidoarjo sand. Comparison between aggregate and binder: 60%:40% Comparison between coarse aggregate and fine aggregate: 60%:40% Comparison of NaOH and Na₂SiO₃ activator solutions: 40%:60% Tests were carried out for compressive strength, split tensile strength, shear strength, modulus of elasticity, Poisson ratio, and UPV NDT. All tests used 100 x 200 mm cylindrical specimens, except for the shear strength test, which used 100 x 100 x 300 mm beam specimens. The compressive strength test for 28 days at 0%, 15%, and 30% was 31,65 MPa, 31,08 MPa, and 34,04 MPa. The maximum split tensile strength test is 2,83 MPa. The maximum shear strength test is 2,82 MPa. Tests for the maximum modulus of elasticity and Poisson ratio are 16039,665 MPa and 0,31. UPV NDT test showed that all concrete in this study was of good quality. Optimal compressive strength, split tensile strength, and shear strength are located on fine aggregate variations of 30%, 15%, and 15%.

Keywords: geopolymer concrete, GGBFS, Sidoarjo mud, mechanical properties

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan berkat, rahmat dan tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Sifat Mekanis Beton Geopolimer Berbahan Dasar *GGBFS* dengan Agregat Kasar Lumpur Sidoarjo dengan variasi Agregat Halus Alami.

Penulisan skripsi merupakan mata kuliah wajib yang harus ditempuh di Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan tempat penulis menjalankan studinya. Penulisan skripsi merupakan salah satu mata kuliah syarat kelulusan yang harus ditempuh oleh penulis dengan bobot 6 sks dan memiliki syarat sudah lulus 120 sks.

Dalam pelaksanaan skripsi, penulis tidak lepas dari hambatan dan tantangan dalam persiapan, pelaksanaan pengecoran, pengujian dan penulisan laporan. Oleh karena itu, penulis sangat berterimakasih kepada pihak-pihak yang sudah memberikan saran, kritik dan motivasi sehingga penulisan skripsi dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing yang senantiasa membimbing, membantu dan memberikan saran dan semangat selama pelaksanaan skripsi
2. Ibu Sisi Nova Rizkiani selaku dosen ko-pembimbing yang senantiasa membimbing, membantu, memberikan saran dan menemani selama proses pelaksanaan skripsi
3. Bapak Herry Suryadi selaku kepala laboratorium Teknik Struktur yang telah memberi masukan selama di laboratorium
4. Bapak Teguh, Bapak Didi dan Bapak Herry yang telah membantu penulis selama bekerja di laboratorium
5. Bapak Hisham selaku perwakilan PT. KRnG yang telah membantu dalam penyediaan *GGBFS* untuk penelitian
6. Orang tua penulis yang senantiasa mendoakan dan mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi

7. Yeremia Grant dan Efnus Sinuhaji selaku teman seperjuangan yang membantu selama persiapan, pengujian dan penulisan skripsi
 8. Jose Andreas dan Styvean Haley selaku selaku teman seperjuangan laboratorium yang membantu selama proses pelaksanaan pengecoran dan pengujian
 9. Nicholas Tjandra, Calvin Hindarto, Vannes Pinadi dan Alvin Tjahyadi yang telah membantu selama proses pengecoran
 10. Jesslyn Angelica yang telah menghibur dan menemani di masa-masa sulit penulis
 11. Jovansen Hiustar dan Raymond Susanto yang telah menemani main basket dan makan sate selama skripsi
 12. Sipil 2019 atas kebersamaannya selama studi di Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan
 13. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu namanya yang telah membantu dan mendoakan selama proses pelaksanaan skripsi
- Skripsi yang sudah ditulis masih memiliki banyak kekurangan di dalamnya sehingga penulis menerima segala bentuk kritik dan saran agar skripsi yang sudah ditulis dapat menjadi semakin baik dan dapat berguna untuk penelitian di masa mendatang.

Bandung, 20 Januari 2023

Penulis,



Jason Natanael

6101901059

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| LEMBAR PERNYATAAN | i |
| ABSTRAK | ii |
| ABSTRACT | iii |
| PRAKATA | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR NOTASI | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xviii |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1-1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1-1 |
| 1.2 Inti Permasalahan | 1-3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 1-3 |
| 1.4 Pembatasan Masalah..... | 1-3 |
| 1.5 Metode Penelitian..... | 1-5 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 1-7 |
| BAB 2 DASAR TEORI..... | 2-1 |
| 2.1 Beton..... | 2-1 |
| 2.2 Beton Geopolimer | 2-3 |
| 2.3 Material Beton | 2-4 |
| 2.3.1 Agregat Kasar | 2-4 |
| 2.3.2 Agregat Halus | 2-6 |
| 2.3.3 <i>GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)</i> | 2-6 |
| 2.3.4 Aktivator..... | 2-8 |

| | | |
|--|--|------------|
| 2.3.4.1 | <i>Sodium Hydroxide</i> (NaOH)..... | 2-9 |
| 2.3.4.2 | <i>Sodium Silicate</i> (Na ₂ SiO ₃)..... | 2-10 |
| 2.3.5 | <i>Superplasticizer</i> | 2-10 |
| 2.3.6 | Air | 2-11 |
| 2.4 | Metode Pengujian Beton..... | 2-11 |
| 2.4.1 | Uji Kuat Tekan..... | 2-11 |
| 2.4.2 | Uji Kuat Tarik Belah..... | 2-12 |
| 2.4.3 | Uji Kuat Geser..... | 2-13 |
| 2.4.4 | Uji Modulus Elastisitas dan <i>Poisson Rasio</i> | 2-13 |
| 2.4.5 | Uji NDT | 2-14 |
| 2.5 | Metode Perawatan Beton Geopolimer | 2-15 |
| 2.6 | Analisis Statistik | 2-16 |
| BAB 3 PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN | | 3-1 |
| 3.1 | Bahan dan Benda Uji | 3-1 |
| 3.1.1 | Bahan Uji | 3-1 |
| 3.1.2 | Benda Uji | 3-5 |
| 3.2 | Pengujian Benda Uji | 3-8 |
| 3.2.1 | Pengujian Agregat Kasar..... | 3-8 |
| 3.2.1.1 | <i>Specific Gravity</i> (SG) Agregat Kasar Lumpur Sidoarjo | 3-8 |
| 3.2.2 | Pengujian Agregat Halus..... | 3-9 |
| 3.2.2.1 | <i>Specific Gravity</i> (SG) Agregat Halus Pasir Sidoarjo | 3-9 |
| 3.2.2.2 | <i>Specific Gravity</i> (SG) Agregat Halus Pasir Alami..... | 3-10 |
| 3.3 | <i>Mix Design</i> Beton Geopolimer..... | 3-11 |
| 3.3.1 | Penentuan Komposisi Aktivator | 3-12 |
| 3.3.2 | Penentuan Komposisi <i>Binder</i> | 3-12 |
| 3.3.3 | Penentuan Komposisi Beton Geopolimer | 3-12 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.4 Perhitungan <i>Mix Design</i> Beton Geopolimer..... | 3-12 |
| 3.4 Pelaksanaan Pengecoran Beton Geopolimer | 3-15 |
| 3.4.1 Pembuatan Larutan Aktivator..... | 3-16 |
| 3.4.2 Penimbangan Material Beton Geopolimer | 3-17 |
| 3.4.3 Pengecoran | 3-17 |
| 3.4.4 <i>Curing</i> /Perawatan Beton Geopolimer | 3-19 |
| 3.5 Pelaksanaan Pengujian Beton Geopolimer..... | 3-19 |
| 3.5.1 Pengujian Kuat Tekan | 3-20 |
| 3.5.2 Pengujian Kuat Tarik Belah | 3-23 |
| 3.5.3 Pengujian Kuat Geser | 3-25 |
| 3.5.4 Pengujian Modulus Elastisitas..... | 3-27 |
| 3.5.5 Pengujian <i>Poisson Ratio</i> | 3-40 |
| 3.5.6 Pengujian UPV NDT..... | 3-50 |
| BAB 4 ANALISIS HASIL PENGUJIAN..... | 4-1 |
| 4.1 Analisis Uji Kuat Tekan | 4-1 |
| 4.1.1 Faktor Umur Pengujian Kuat Tekan..... | 4-1 |
| 4.1.2 Analisis Kuat Tekan Beton Geopolimer pada Umur 28 Hari..... | 4-8 |
| 4.1.3 Analisis Pengaruh Agregat Halus Pasir Sidoarjo terhadap Kuat Tekan..... | 4-10 |
| 4.2 Analisis Uji Kuat Tarik Belah | 4-12 |
| 4.2.1 Analisis Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer..... | 4-13 |
| 4.2.2 Analisis Pengaruh Agregat Halus Pasir Sidoarjo terhadap Kuat Tarik Belah..... | 4-17 |
| 4.3 Analisis Uji Kuat Geser..... | 4-18 |
| 4.3.1 Analisis Uji Kuat Geser Beton Geopolimer | 4-18 |
| 4.3.2 Analisis Pengaruh Agregat Halus Pasir Sidoarjo terhadap Kuat Geser | 4-22 |

| | |
|--|------|
| 4.4 Analisis Uji Modulus Elastisitas | 4-23 |
| 4.4.1 Analisis Uji Modulus Elastisitas Beton Geopolimer | 4-23 |
| 4.4.2 Analisis Pengaruh Agregat Halus Pasir Sidoarjo terhadap Modulus Elastisitas | 4-28 |
| 4.5 Analisis Uji <i>Poisson Ratio</i> | 4-29 |
| 4.5.1 Analisis Uji <i>Poisson Ratio</i> | 4-30 |
| 4.5.2 Analisis Pengaruh Agregat Halus Pasir Sidoarjo terhadap <i>Poisson Ratio</i> | 4-31 |
| 4.6 Uji UPV NDT | 4-32 |
| 4.6.1 Analisis Uji UPV NDT | 4-33 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | 5-1 |
| 5.1 Kesimpulan | 5-1 |
| 5.2 Saran..... | 5-2 |
| DAFTAR PUSTAKA | xx |
| LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN <i>SPECIFIC GRAVITY</i> | L1-1 |
| LAMPIRAN 2 MIX DESIGN BETON GEOPOLIMER | L2-1 |
| LAMPIRAN 3 <i>TRIAL MIX</i> BETON GEOPOLIMER | L3-1 |
| LAMPIRAN 4 DOKUMENTASI PENGECORAN DAN PENGUJIAN | L4-1 |

DAFTAR NOTASI

| | | |
|----------------------------------|--|--------------------|
| A | = Luas Penampang | (mm ²) |
| Al | = Alumunium | |
| Al ₂ O ₃ | = Alumunium Oksida | |
| A _r | = Massa Atom Relatif | |
| CaO | = Kalsium Oksida | |
| Cl | = Klorida | |
| CO ₂ | = Karbon Dioksida | |
| d | = Diameter Benda Uji | (mm) |
| E | = Modulus Elastisitas Beton | (MPa) |
| f'_c | = Kuat Tekan Beton | (MPa) |
| f_v | = Kuat Geser Beton | (MPa) |
| Fe ₂ O ₃ | = Ferioksida | |
| GGBFS | = <i>Ground Granulated Blast Furnace GGBFS</i> | |
| l | = Panjang Benda Uji | (mm) |
| M | = Molaritas | |
| MgO | = Magnesium Oksida | |
| M _r | = Massa Molekul Relatif | |
| Na ₂ SiO ₃ | = Natrium Silikat | |
| NaOH | = Natrium Hidroksida | |
| P | = Gaya Maksimum | (N) |
| S | = Sulfur | |
| S ₁ | = Tegangan saat ϵ_1 , 0,00005 | (MPa) |
| S ₂ | = Tegangan saat 40% beban maksimum | (MPa) |
| SG | = <i>Specific Gravity</i> | |
| | (gr/cm ³) | |
| Si | = Silika | |
| SiO ₂ | = Silikon Dioksida | |
| SO ₃ | = Sulfur Trioksida | |

| | | |
|-------------------|---|-------------------|
| SO_4 | = Sulfat | |
| SP | = <i>Superplasticizer</i> | |
| SSD | = <i>Saturated Surface Dry</i> | |
| T | = Kuat Tarik Belah Beton | (MPa) |
| V_{agg} | = Volume Agregat | (m ³) |
| $V_{aktivator}$ | = Volume aktivator | (m ³) |
| V_{alami} | = Volume Agregat Halus Alami | (m ³) |
| V_{alami} | = Volume pasir alami | (m ³) |
| V_{ca} | = Volume agregat kasar | (m ³) |
| V_{ca} | = Volume Agregat Kasar | (m ³) |
| V_{GGBFS} | = Volume <i>GGBFS</i> | (m ³) |
| $V_{sidoarjo}$ | = Volume Agregat Halus Pasir Sidoarjo | (m ³) |
| $V_{sidoarjo}$ | = Volume pasir sidoarjo | (m ³) |
| $W_{aktivator}$ | = Berat larutan aktivator | (kg) |
| W_{alami} | = Berat pasir alami | (kg) |
| W_{ca} | = Berat agregat kasar | (kg) |
| W_{GGBFS} | = Berat <i>GGBFS</i> | (kg) |
| $W_{Na_2SiO_3}$ | = Berat larutan natrium silikat | (kg) |
| $W_{NaOH\ solid}$ | = Berat natrium hidroksida solid | (kg) |
| W_{NaOH} | = Berat larutan natrium hidroksida | (kg) |
| $W_{sidoarjo}$ | = Berat pasir sidoarjo | (kg) |
| W_{SP} | = Berat <i>superplasticizer</i> | (kg) |
| ϵ_2 | = Regangan longitudinal saat S_2 | |
| ϵ_2 | = Regangan longitudinal saat tegangan S_2 | |
| ϵ_{t1} | = Regangan transversal saat S_1 | |
| ϵ_{t2} | = Regangan transversal saat S_2 | |
| κ | = Perbandingan <i>GGBFS</i> terhadap aktivator | |
| ξ | = Perbandingan pasir alami terhadap agregat kasar | |

ν = *Poisson ratio*

ψ = Perbandingan pasir sidoarjo terhadap agregat kasar



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|------|
| Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian..... | 1-6 |
| Gambar 2.1 Kondisi kadar air dalam agregat | 2-5 |
| Gambar 2.2 Ilustrasi pengujian kuat tarik belah..... | 2-13 |
| Gambar 3.1 Agregat kasar lumpur sidoarjo | 3-1 |
| Gambar 3.2 Agregat halus pasir alami | 3-2 |
| Gambar 3.3 Agregat halus pasir sidoarjo | 3-2 |
| Gambar 3.4 <i>GGBFS</i> dari PT. KRnG | 3-3 |
| Gambar 3.5 <i>Sodium silicate</i> dari PT. Brataco | 3-3 |
| Gambar 3.6 <i>Superplasticizer</i> Sika ViscoCrete 3115-N..... | 3-4 |
| Gambar 3.7 Pengujian kuat tekan dengan <i>Compressing Testing Machine</i> | 3-21 |
| Gambar 3.8 Pengujian kuat tarik belah dengan <i>Compressing Testing Machine</i> .. | 3-24 |
| Gambar 3.9 Pengujian kuat geser dengan <i>Universal Testing Machine</i> | 3-26 |
| Gambar 3.10 Pengujian modulus elastisitas dengan <i>compressometer</i> | 3-28 |
| Gambar 3.11 Modulus elastisitas variasi 1 | 3-32 |
| Gambar 3.12 Modulus elastisitas variasi 2..... | 3-36 |
| Gambar 3.13 Modulus elastisitas variasi 3 | 3-40 |
| Gambar 3.14 Pengujian <i>poisson ratio</i> dengan <i>compressometer</i> | 3-41 |
| Gambar 4.1 Grafik hubungan kuat tekan dengan faktor umur terhadap kuat tekan variasi 1 | 4-3 |
| Gambar 4.2 Grafik hubungan kuat tekan dengan faktor umur terhadap kuat tekan variasi 3 | 4-3 |
| Gambar 4.3 Grafik hubungan kuat tekan regresi terhadap umur uji | 4-5 |
| Gambar 4.4 Grafik perbandingan kuat tekan variasi 1, 2 dan 3 | 4-9 |
| Gambar 4.5 Grafik pengaruh agregat halus terhadap kuat tekan 28 hari | 4-10 |

| | |
|--|------|
| Gambar 4.6 Kuat tarik belah variasi 1 | 4-14 |
| Gambar 4.7 Kuat tarik belah variasi 2 | 4-15 |
| Gambar 4.8 Kuat tarik belah variasi 3 | 4-16 |
| Gambar 4.9 Kuat tarik belah seluruh variasi | 4-17 |
| Gambar 4.10 Kuat geser variasi 1 | 4-19 |
| Gambar 4.11 Kuat geser variasi 2 | 4-20 |
| Gambar 4.12 Kuat geser variasi 3 | 4-21 |
| Gambar 4.13 Kuat geser seluruh variasi | 4-22 |
| Gambar 4.14 Modulus elastisitas variasi 1 | 4-24 |
| Gambar 4.15 Modulus elastisitas variasi 2 | 4-25 |
| Gambar 4.16 Modulus elastisitas variasi 3 | 4-27 |
| Gambar 4.17 Modulus elastisitas seluruh variasi | 4-29 |
| Gambar 4.18 <i>Poisson ratio</i> seluruh variasi | 4-32 |
| Gambar 4.19 Grafik hubungan kuat tekan terhadap kecepatan variasi 1 | 4-34 |
| Gambar 4.20 Grafik hubungan kuat tekan terhadap kecepatan variasi 2 | 4-34 |
| Gambar 4.21 Grafik hubungan kuat tekan terhadap kecepatan variasi 3 | 4-35 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|------|
| Tabel 2.1 Komposisi <i>GGBFS</i> PT. KRnG Indonesia | 2-8 |
| Tabel 2.2 Kelas beton berdasarkan cepat rambat gelombang | 2-15 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi benda uji..... | 3-7 |
| Tabel 3.2 Hasil pengujian kuat tekan variasi 1..... | 3-22 |
| Tabel 3.3 Hasil pengujian kuat tekan variasi 2..... | 3-22 |
| Tabel 3.4 Hasil pengujian kuat tekan variasi 3..... | 3-23 |
| Tabel 3.5 Hasil pengujian kuat tarik belah variasi 1, 2 dan 3 | 3-25 |
| Tabel 3.6 Hasil pengujian kuat geser variasi 1, 2 dan 3..... | 3-27 |
| Tabel 3.7 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 1 silinder 1..... | 3-29 |
| Tabel 3.8 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 1 silinder 2..... | 3-30 |
| Tabel 3.9 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 1 silinder 3..... | 3-31 |
| Tabel 3.10 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 2 silinder 1..... | 3-33 |
| Tabel 3.11 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 2 silinder 2..... | 3-34 |
| Tabel 3.12 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 2 silinder 3..... | 3-35 |
| Tabel 3.13 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 3 silinder 1..... | 3-37 |
| Tabel 3.14 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 3 silinder 2..... | 3-38 |
| Tabel 3.15 Hasil pengujian modulus elastisitas variasi 3 silinder 3..... | 3-39 |
| Tabel 3.16 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 1 silinder 1 | 3-42 |
| Tabel 3.17 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 1 silinder 2 | 3-43 |
| Tabel 3.18 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 1 silinder 3 | 3-44 |
| Tabel 3.19 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 2 silinder 1 | 3-45 |
| Tabel 3.20 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 2 silinder 2 | 3-46 |
| Tabel 3.21 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 2 silinder 3 | 3-47 |
| Tabel 3.22 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 3 silinder 1 | 3-48 |

| | |
|--|------|
| Tabel 3.23 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 3 silinder 2 | 3-49 |
| Tabel 3.24 Hasil pengujian <i>poisson ratio</i> variasi 3 silinder 3 | 3-50 |
| Tabel 3.25 Hasil pengujian UPV NDT variasi 1, 2 dan 3 | 3-52 |
| Tabel 4.1 Tabel faktor umur terhadap kuat tekan | 4-2 |
| Tabel 4.2 Persamaan regresi beton geopolimer | 4-4 |
| Tabel 4.3 Tabel kuat tekan regresi dan faktor umur variasi 1 | 4-4 |
| Tabel 4.4 Tabel kuat tekan regresi dan faktor umur variasi 3 | 4-5 |
| Tabel 4.5 Kuat tekan karakteristik beton geopolimer variasi 1 | 4-6 |
| Tabel 4.6 Kuat tekan karakteristik beton geopolimer variasi 3 | 4-7 |
| Tabel 4.7 Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer umur 28 hari | 4-8 |
| Tabel 4.8 Berat isi beton geopolimer variasi 1 | 4-11 |
| Tabel 4.9 Berat isi beton geopolimer variasi 2 | 4-11 |
| Tabel 4.10 Berat isi beton geopolimer variasi 3 | 4-12 |
| Tabel 4.11 Analisis kuat tarik belah variasi 1 | 4-13 |
| Tabel 4.12 Analisis kuat tarik belah variasi 2 | 4-15 |
| Tabel 4.13 Analisis kuat tarik belah variasi 3 | 4-16 |
| Tabel 4.14 Analisis kuat geser variasi 1 | 4-19 |
| Tabel 4.15 Analisis kuat geser variasi 2 | 4-20 |
| Tabel 4.16 Analisis kuat geser variasi 3 | 4-21 |
| Tabel 4.17 Analisis modulus elastisitas variasi 1 | 4-24 |
| Tabel 4.18 Perbandingan modulus elastisitas rumus dan regresi variasi 1 | 4-24 |
| Tabel 4.19 Analisis modulus elastisitas variasi 2 | 4-25 |
| Tabel 4.20 Perbandingan modulus elastisitas rumus dan regresi variasi 2 | 4-26 |
| Tabel 4.21 Analisis modulus elastisitas variasi 3 | 4-26 |
| Tabel 4.22 Perbandingan modulus elastisitas rumus dan regresi variasi 2 | 4-27 |
| Tabel 4.23 Analisis koefisien modulus elastisitas | 4-28 |

| | |
|--|------|
| Tabel 4.24 Analisis <i>poisson ratio</i> variasi 1 | 4-30 |
| Tabel 4.25 Analisis <i>poisson ratio</i> variasi 2 | 4-31 |
| Tabel 4.26 Analisis <i>poisson ratio</i> variasi 3 | 4-31 |
| Tabel 4.27 Analisis UPV NDT seluruh variasi | 4-33 |
| Tabel 4.28 Persamaan regresi kuat tekan terhadap kecepatan seluruh variasi .. | 4-35 |
| Tabel 4.29 Kuat tekan regresi berdasarkan kecepatan | 4-36 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN <i>SPECIFIC GRAVITY</i> | 1-1 |
| Tabel L1.1 Pengujian <i>specific gravity</i> agregat kasar lumpur sidoarjo..... | 1-1 |
| Tabel L1.2 Pengujian <i>specific gravity</i> agregat halus pasir alami | 1-2 |
| Tabel L1.3 Pengujian <i>specific gravity</i> agregat halus pasir sidoarjo | 1-3 |
| Tabel L1.4 Pengujian <i>specific gravity</i> <i>GGBFS</i> | 1-3 |
| LAMPIRAN 2 MIX DESIGN BETON GEOPOLIMER..... | 2-1 |
| Tabel L2.1 Volume benda uji silinder dan balok | 2-1 |
| Tabel L2.2 Volume pengecoran variasi 1 | 2-1 |
| Tabel L2.3 Proporsi pengecoran variasi 1 per m ³ | 2-2 |
| Tabel L2.4 Proporsi pengecoran variasi 1 untuk sekali pengecoran | 2-2 |
| Tabel L2.5 Volume benda uji untuk variasi 2 | 2-3 |
| Tabel L2.6 Proporsi pengecoran variasi 2 per m ³ | 2-3 |
| Tabel L2.7 Proporsi pengecoran variasi 2 untuk sekali pengecoran | 2-4 |
| Tabel L2.8 Volume benda uji untuk variasi 3 | 2-4 |
| Tabel L2.9 Proporsi pengecoran variasi 3 per m ³ | 2-5 |
| Tabel L2.10 Proporsi pengecoran variasi 3 untuk sekali pengecoran | 2-5 |
| LAMPIRAN 3 <i>TRIAL MIX</i> BETON GEOPOLIMER | 3-1 |
| Tabel L3.1 Proporsi <i>mix design trial mix</i> I..... | 3-1 |
| Tabel L3.2 Proporsi <i>mix design trial mix</i> II..... | 3-2 |
| Tabel L3.3 Proporsi <i>mix design trial mix</i> III | 3-2 |
| Tabel L3.4 Proporsi <i>mix design trial mix</i> IV dengan SP | 3-3 |
| Tabel L3.5 Proporsi <i>mix design trial mix</i> tanpa SP | 3-3 |
| Gambar L3.1 Benda uji <i>trial mix</i> 1 | 3-4 |
| Gambar L3.2 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 1 | 3-4 |
| Gambar L3.3 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 2 | 3-5 |

| | |
|---|-----|
| Gambar L3.4 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 3 silinder 1..... | 3-5 |
| Gambar L3.5 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 3 silinder 2..... | 3-6 |
| Gambar L3.6 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 4 tanpa SP silinder 1..... | 3-6 |
| Gambar L3.7 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 4 tanpa SP silinder 2..... | 3-7 |
| Gambar L3.8 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 4 tanpa SP silinder 3..... | 3-7 |
| Gambar L3.9 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 4 dengan SP silinder 1..... | 3-8 |
| Gambar L3.10 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 4 dengan SP silinder 2..... | 3-8 |
| Gambar L3.11 Hasil uji kuat tekan <i>trial mix</i> 4 dengan SP silinder 3..... | 3-9 |
| Gambar L3.12 Benda uji <i>trial mix</i> 4..... | 3-9 |
| LAMPIRAN 4 DOKUMENTASI PENGECORAN DAN PENGUJIAN..... | 4-1 |
| Gambar L4.1 Pengujian slump variasi 1..... | 4-1 |
| Gambar L4.2 Pengujian slump variasi 2..... | 4-2 |
| Gambar L4.3 Pengujian slump variasi 3..... | 4-2 |
| Gambar L4.4 Hasil bukaan benda uji dari cetakan..... | 4-3 |
| Gambar L4.5 Hasil pengujian kuat tekan..... | 4-3 |
| Gambar L4.6 Hasil pengujian tarik belah..... | 4-4 |
| Gambar L4.7 Hasil pengujian modulus elastisitas..... | 4-4 |
| Gambar L4.8 Hasil pengujian kuat geser..... | 4-5 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, jumlah penduduk di dunia sedang mengalami peningkatan. Berdasarkan PBB, jumlah penduduk tahun 2021 sebanyak 7,87 miliar jiwa, sedangkan pada tahun 2022 jumlah penduduk sebanyak 7,94 miliar jiwa. Angka ini menunjukkan bahwa jumlah penduduk naik sebanyak 700 juta jiwa dalam setahun. Dengan bertambahnya jumlah penduduk maka kebutuhan masyarakat seperti tempat tinggal, sarana dan prasarana umum seperti kantor, gedung dan sebagainya juga bertambah.

Infrastruktur tersebut dibuat dengan berbagai macam material, seperti beton, baja dan kayu. Material yang paling umum digunakan saat ini adalah material beton. Hal ini dikarenakan material beton memiliki berbagai kelebihan, diantaranya memiliki daya tahan terhadap beban yang cukup tinggi, tahan terhadap suhu tinggi, dapat dibentuk sesuai dengan keinginan dan biaya yang relatif murah.

Material beton terbuat dari agregat kasar, agregat halus dan *binder*. *Binder* merupakan material yang digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beton. Pada umumnya, *binder* yang digunakan dalam campuran beton adalah semen. Namun, dalam pembuatan semen ini dianggap tidak ramah lingkungan karena terjadi proses pelepasan gas karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer. Gas karbon dioksida (CO₂) sangat berbahaya jika dilepaskan ke atmosfer dimana akan mengakibatkan hal hal seperti efek rumah kaca, terganggunya metabolisme dan fotosintesis tanaman dan sebagainya.

Berdasarkan penelitian dari *Chatham House* tahun 2018, lebih dari 4 miliar ton diproduksi tiap tahunnya dan menyumbangkan 8% emisi CO₂ dari seluruh sektor. Dalam memproduksi semen sebanyak 1 ton akan menghasilkan gas CO₂ sebanyak 1 ton juga. Berdasarkan laporan dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, produksi semen selama tahun 2018 hingga tahun 2019 meningkat sebesar 32.5% di Indonesia. Dengan meningkatnya jumlah semen setiap tahun maka akan mengakibatkan gas karbon dioksida (CO₂) yang dilepaskan semakin banyak ke

atmosfer. Maka dari itu, diperlukan bahan pengikat campuran beton untuk menggantikan semen. Material ramah lingkungan yang digunakan untuk menggantikan semen yaitu geopolimer. Material geopolimer harus memiliki ikatan yang kuat antara Aluminium (Al) dan Silika (Si).

Untuk mengurangi gas CO₂, dapat digunakan bahan-bahan lain dalam membuat campuran beton. Bahan-bahan lain yang dapat digunakan untuk membuat campuran beton salah satunya adalah limbah. Limbah merupakan bahan atau material yang dapat merusak lingkungan sekitar. Maka dari itu, limbah dapat dimanfaatkan untuk dijadikan bahan-bahan dalam membuat campuran beton. Salah satu limbah yang dapat berperan sebagai material geopolimer adalah *fly ash* dan *GGBFS* (Davidovits, 1994).

GGBFS adalah limbah yang dihasilkan oleh pabrik industri hasil pengolahan produk. Terdapat beberapa jenis *GGBFS*, salah satunya adalah *GGBFS* baja. *GGBFS* baja merupakan limbah yang dihasilkan dari peleburan baja kemudian disemprotkan air sehingga akan menjadi butiran butiran.

Agar *GGBFS* dapat menjadi *binder* atau pengikat dalam campuran beton diperlukan larutan alkali yang menjadi aktivator untuk *GGBFS*. Aktivator yang digunakan harus dapat bereaksi dengan unsur Alumina dan Silika yang terkandung dalam *GGBFS*. *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan *Sodium Silikat* (Na₂SiO₃) dapat digunakan sebagai aktivator yang efektif untuk *GGBFS*.

Selain *GGBFS*, terdapat limbah lain yang dapat dimanfaatkan sebagai material beton, yaitu Lumpur Sidoarjo. Lumpur Sidoarjo (Lumpur Lapindo) merupakan limbah yang dihasilkan dari semburan lumpur panas dari lokasi pengeboran di daerah Sidoarjo, Jawa Timur. Lumpur Sidoarjo ini juga dapat digunakan sebagai material dalam membuat campuran beton. Kerikil dan pasir yang menjadi bahan utama dalam pembuatan campuran beton dapat digantikan oleh Lumpur Sidoarjo. Dalam hal ini, Lumpur Sidoarjo dapat menjadi alternatif untuk dijadikan agregat dalam campuran beton. Hal ini dilakukan agar Lumpur Sidoarjo yang merupakan limbah dapat digunakan kembali.

1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dari penelitian ini adalah mengetahui sifat mekanis beton geopolimer yang terdiri dari agregat kasar berupa lumpur sidoarjo dengan variasi agregat halus lumpur sidoarjo, *GGBFS*, aktivator. Pengujian untuk kuat tekan, kuat geser, kuat tarik belah, *poisson ratio*, modulus elastisitas, dan UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*). Pengujian dilakukan dengan kadar molaritas 10M dalam aktivator.

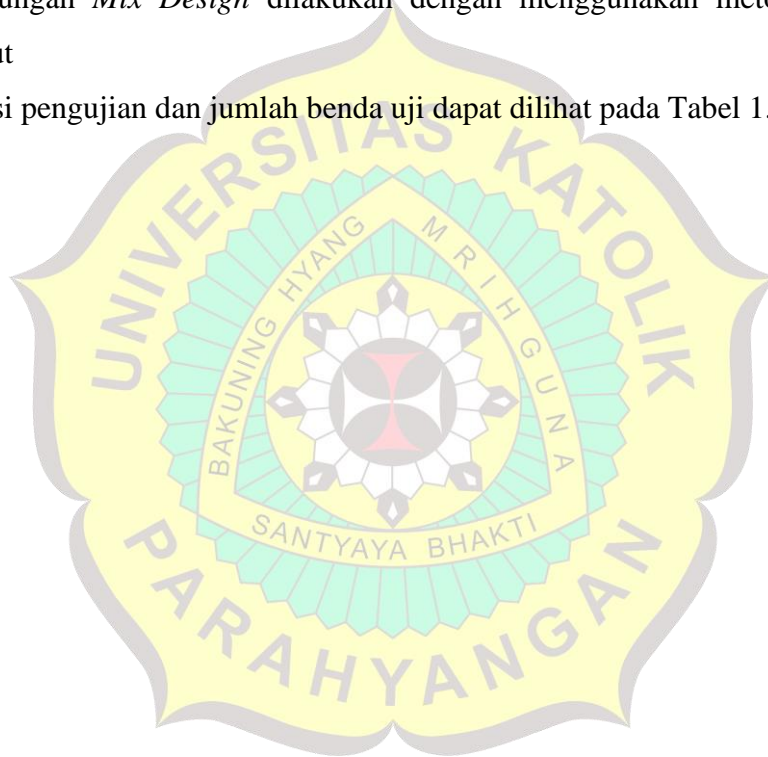
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi agregat halus terhadap sifat mekanis beton (kuat tekan, kuat tarik belah, kuat geser, modulus elastisitas, *poisson ratio* dan UPV) dalam campuran beton geopolimer berbahan dasar *GGBFS* dengan agregat kasar lumpur sidoarjo

1.4 Pembatasan Masalah

1. Ukuran agregat kasar maksimum yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan 1/2" (12,7 mm)
2. Ukuran agregat halus yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dengan variasi campuran agregat halus 100% agregat halus alami dan 0% agregat halus lumpur sidoarjo, 85% agregat halus alami dan 15% agregat halus lumpur sidoarjo dan 70% agregat halus alami dan 30% agregat halus lumpur sidoarjo.
3. *GGBFS* yang digunakan merupakan *GGBFS* yang sudah dihaluskan dari PT KRnG
4. Aktivator yang digunakan adalah *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan *Sodium Silikat* (Na₂SiO₃)
5. Perbandingan agregat dengan binder adalah 60% : 40%
6. Perbandingan *GGBFS* dan aktivator adalah 60% : 40%
7. Perbandingan aktivator *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan *Sodium Silikat* (Na₂SiO₃) adalah 40% : 60%
8. Pengujian kuat tekan, UPV, modulus elastisitas dan *poisson ratio* dilakukan dengan benda uji silinder berdimensi 10 x 20 cm

9. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat *Compressing Testing Machine* berdasarkan ASTM C39
10. Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan dengan menggunakan alat *Compressing Testing Machine* dengan silinder berdimensi 10 x 20 cm berdasarkan ASTM C496
11. Pengujian NDT (*Non-Destructive Test*) dilakukan dengan menggunakan alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) berdasarkan ASTM C597
12. Pengujian modulus elastisitas dan *poisson ratio* menggunakan benda uji silinder berdimensi 10 x 20 cm berdasarkan ASTM C469
13. Perhitungan *Mix Design* dilakukan dengan menggunakan metode volume absolut
14. Variasi pengujian dan jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.1



Tabel 1.1 Variasi Benda Uji

| Komposisi Agregat Halus | | Pengujian | Umur Uji | Jumlah Benda Uji | Dimensi Benda Uji [cm] |
|-------------------------|-----------------|---|----------|------------------|------------------------|
| Alami | Lumpur Sidoarjo | | | | |
| 100% | 0% | Kuat Tekan, UPV, <i>poisson ratio</i> , modulus elastisitas | 7 | 3 | 10 x 20 |
| | | | 14 | 3 | 10 x 20 |
| | | | 21 | 3 | 10 x 20 |
| | | | 28 | 3 | 10 x 20 |
| | | Tarik Belah | 28 | 3 | 10 x 20 |
| | | Kuat Geser | 28 | 3 | 10 x 10 x 30 |
| 85% | 15% | Kuat Tekan, UPV, <i>poisson ratio</i> , modulus | 7 | 3 | 10 x 20 |
| | | | 28 | 3 | 10 x 20 |
| | | Tarik Belah | 28 | 3 | 10 x 20 |
| | | Kuat Geser | 28 | 3 | 10 x 10 x 30 |
| 70% | 30% | Kuat Tekan, UPV, <i>poisson ratio</i> , modulus elastisitas | 7 | 3 | 10 x 20 |
| | | | 14 | 3 | 10 x 20 |
| | | | 21 | 3 | 10 x 20 |
| | | | 28 | 3 | 10 x 20 |
| | | Tarik Belah | 28 | 3 | 10 x 20 |
| | | Kuat Geser | 28 | 3 | 10 x 10 x 30 |

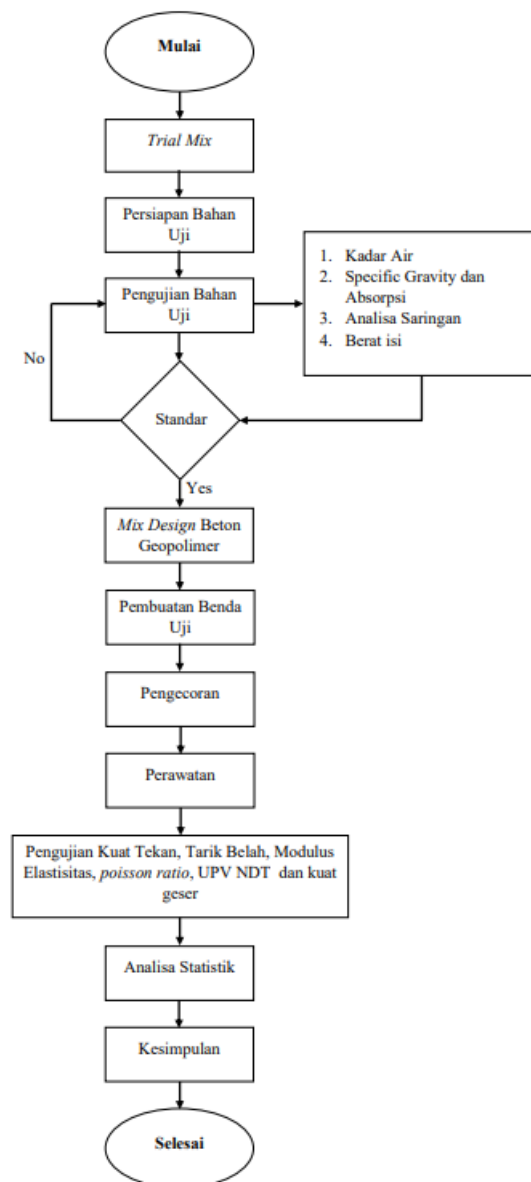
1.5 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah sebuah cara untuk mengumpulkan referensi dari internet berupa *paper*, jurnal, buku dan sebagainya. Studi literatur diharapkan mencakup tentang sifat campuran beton, material-material beton seperti, *binder*, agregat kasar dan agregat halus dalam proses penelitian. Selain itu, studi literatur diharapkan dapat dijadikan pembanding dengan uji eksperimental.

2. Studi Eksperimental

Studi eksperimental adalah sebuah cara untuk mengumpulkan data dari hasil pengujian atau eksperimen. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan, kuat geser, kuat tarik belah, modulus elastisitas, *poisson ratio*, dan NDT (*Non-Destructive Test*). Uji kuat tekan dan tarik belah dilakukan dengan menggunakan alat *Compressing Testing Machine*. Uji kuat geser dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine*. Uji NDT dilakukan dengan menggunakan alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*).



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini dilakukan secara sistematis dalam 5 bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan membahas tentang latar belakang permasalahan, inti permasalahan, tujuan penulisan pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematikan penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan membahas tentang landasan dan dasar teori yang akan digunakan dalam penyusunan skripsi ini

BAB III PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN

Bab ini akan membahas tentang persiapan pengujian, pelaksanaan pengujian dan pencatatan hasil pengujian

BAB IV DATA DAN ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Bab ini akan membahas tentang analisis hasil pengujian serta perbandingan terhadap hasil pengujian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan membahas tentang kesimpulan dari keseluruhan penulisan berdasarkan hasil pengujian serta memberikan saran yang dapat disimpulkan dari hasil pengujian

