

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU BALOK
BETON RINGAN GEOPOLIMER BERTULANG
DENGAN AGREGAT BERBAHAN DASAR LUMPUR
SIDOARJO**



ANNISA SOLIHA ARIENING

NPM : 2014410087

PEMBIMBING : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)

BANDUNG

JUNI 2018

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU BALOK
BETON RINGAN GEOPOLIMER BERTULANG
DENGAN AGREGAT BERBAHAN DASAR LUMPUR
SIDOARJO**



ANNISA SOLIHA ARIENING

NPM : 2014410087

BANDUNG, 8 JUNI 2018

PEMBIMBING

Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNI 2018**

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini,

Nama lengkap : Annisa Soliha Ariening

NPM : 2014410087

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul : *Studi Eksperimental Perilaku Balok Beton Ringan Geopolimer Bertulang dengan Agregat Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo* adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 8 Juni 2018



Annisa Soliha Ariening

2014410087

STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU BALOK BETON RINGAN GEOPOLIMER BERTULANG DENGAN AGREGAT BERBAHAN DASAR LUMPUR SIDOARJO

**Annisa Soliha Ariening
NPM : 2014410087**

Pembimbing : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNI 2018**

ABSTRAK

Saat ini lingkungan hidup banyak dicemari oleh limbah akibat aktivitas manusia maupun bencana alam, misalnya pembakaran batu bara yang menghasilkan limbah *fly ash* dan lumpur dari bencana lumpur Sidoarjo. Penelitian ini mengupas penggunaan limbah menjadi bahan dasar beton sebagai bahan konstruksi. Teknologi beton saat ini berkembang tidak hanya pada kekuatan namun juga berat jenisnya yang lebih ringan tetapi memenuhi kekuatan untuk digunakan sebagai elemen struktural.

Penelitian ini mengembangkan potensi *fly ash* dan limbah lumpur Sidoarjo menjadi bahan beton ringan geopolimer struktural melalui studi eksperimental di laboratorium. Beton ringan geopolimer berbahan dasar lumpur Sidoarjo dan penerapannya pada balok beton bertulang diuji kekuatan dan perilakunya. Bahan yang digunakan adalah agregat kasar dan halus berbahan dasar lumpur Sidoarjo dengan *binder* terdiri dari *fly ash* tipe F dan larutan aktivator. Larutan aktivator dari larutan *sodium silikat* dan *sodium hidroksida* dengan konsentrasi NaOH sebesar 8M. Perbandingan larutan aktivator Na_2SiO_3 terhadap NaOH yang digunakan adalah sebesar 2,5.

Dari hasil pengujian material beton diperoleh kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari adalah 19,16 MPa dengan kuat tekan karakteristik adalah 17,80 MPa yang mendekati kekuatan beton untuk elemen struktural. Nilai kuat tarik belah dan kuat geser rata-rata pada umur 28 hari adalah masing-masing 1,16 MPa dan 2,17 MPa. Momen leleh dan ultimit rata-rata hasil pengujian masing-masing adalah 25,25 kNm dan 28,23 kNm. Momen ultimit sebesar 1,12 kali momen leleh dengan daktilitas balok beton ringan geopolimer bertulang adalah 1,34.

Kata kunci: beton geopolimer, agregat kasar lumpur Sidoarjo, agregat halus lumpur Sidoarjo, *fly ash*, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat geser, momen leleh, daktilitas.

EXPERIMENTAL STUDY OF REINFORCED GEOPOLYMER LIGHTWEIGHT CONCRETE BEAM BEHAVIOR WITH AGGREGATE MADE FROM SIDOARJO MUD

NPM : 2014410087

Advisor : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNE 2018**

ABSTRACT

Currently the environment is polluted by the abundant waste caused by human activities and natural disasters e.g. coal burning that produces *fly ash* and waste from the volcanic mud disaster of Sidoarjo. This research explore how the fly ash and Sidoarjo mud can be used as a construction material such as concrete. Recently the development of concrete technology is not only on the strength but also the density of the concrete itself to produce lightweight concrete that still reaches structural elements strength requirements.

This research develop that the waste has its potential to be developed into lightweight structural geopolymer concrete material in laboratory. The strength of geopolymer concrete materials and their application on the reinforced concrete beam was tested. The material used is coarse and fine aggregates made from Sidoarjo mud and the binder composed of *fly ash* type F and activator solution. The activator solution comprises a solution of sodium silicate and sodium hydroxide and the activator solution has 8M NaOH concentration. The ratio of Na_2SiO_3 to NaOH used is 2.5.

The research results show that the average compressive strength of concrete at age 28 days is 19.16 MPa and the compressive characteristic strength is 17.48 MPa closed to the requirement strength of the structural element. The mean of splitting tensile and shear strength value at 28 days is 1.16 MPa and 2.11 MPa respectively. The average of yield and ultimate moment of reinforced concrete beam from the test result is 25.25 kNm and 28.23 kNm respectively. The ultimate momen is 1.12 times yield moment with ductility of 1.34.

Keywords: geopolymer concrete, fine aggregate of Sidoarjo mud, coarse aggregate of Sidoarjo mud, fly ash, compressive strength, splitting tensile strength, shear strength, yield moment, ductility.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan penyertaanNya selama penulis menjalani penyusunan skripsi yang berjudul *Studi Eksperimental Perilaku Balok Beton Ringan Geopolimer Bertulang dengan Agregat Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo* akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan studi S-1 Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung tempat penulis menjalankan studinya.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat kelulusan studi S-1 Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Mata kuliah skripsi ini merupakan mata kuliah wajib berbobot 6 sks dan dapat ditempuh setelah lulus 120 sks.

Proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari hambatan, baik selama proses persiapan, pelaksanaan, pengujian, maupun penulisan. Oleh karenanya penulis sangat berterima kasih atas saran, kritik, serta dorongan yang diberikan oleh berbagai pihak selama proses pembuatan skripsi ini hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam – dalamnya kepada :

1. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing yang selalu membantu dan membimbing serta memberi masukan dan saran selama proses pembuatan skripsi ini.
2. Para dosen penguji skripsi yang banyak memberi masukan dan saran.
3. Orang tua penulis Arief Sabaruddin dan Sri Anggani Ariesita Gamawati yang senantiasa memberi dorongan semangat dan bantuan dalam proses penelitian skripsi ini.
4. Bapak Lasino, ST, APU yang senantiasa memberikan ilmunya terkait dengan teknologi bahan bangunan berbasis lumpur Sidoarjo serta memberi saran mengenai beton ringan Lusi.

5. Bapak Ir. Sutadji Yuwasdiki, Dipl.E.Eng senantiasa memberi dukungan fasilitas laboratorium selama penelitian.
6. Bapak Ismono, Bapak Amin, Bapak Suradi, Bapak Agil, Bapak Cahyadi, dan Bapak Obed yang banyak membantu dan memberi arahan dalam persiapan bahan, pembuatan benda uji, dan uji eksperimental di laboratorium balai bahan bangunan PUSKIM.
7. Bapak Yudhistira, Bapak Rizal, Bapak Azhar, dan Bapak Jono yang banyak membantu dan memberi arahan dalam pengujian balok beton bertulang di laboratorium balai struktur PUSKIM.
8. Teman – teman seperjuangan skripsi yang senantiasa membantu dan memberikan semangat atas penyusunan skripsi ini.
9. Teman – teman, Gina, Bella, Almira, Zulfahmi, Kevin, dan yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas dorongan semangat dalam pembuatan skripsi ini.
10. Sipil 2014 atas kebersamaannya selama studi di UNPAR.
11. Semua pihak yang telah membantu dan mendoakan yang tak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Penulis menerima segala bentuk saran dan kritik yang membangun dan berharap skripsi ini dapat berguna untuk penelitian dan penerapan kelak di masa yang akan datang.

Bandung, 8 Juni 2018

Penulis,



Annisa Soliha Ariening
2014410087

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
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	1-4
1.5 Metode Penelitian	1-5
1.6 Sistematika Penulisan	1-7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	2-1
2.1 Beton	2-1
2.2 Beton Geopolimer	2-3
2.3 Material Beton	2-4
2.3.1 Air	2-4
2.3.2 Agregat	2-4
2.3.3 Agregat Ringan	2-5
2.3.4 Agregat Kasar	2-9
2.3.5 Agregat Halus	2-9
2.3.6 Kadar Air pada Agregat	2-10

2.3.7	<i>Fly Ash</i>	2-11
2.3.8	Aktivator.....	2-14
2.4	Baja Tulangan.....	2-16
2.5	Metode Pengujian.....	2-19
2.5.1	Uji Kuat Tekan.....	2-19
2.5.2	Uji Kuat Tarik Belah.....	2-20
2.5.3	Uji Kuat Geser.....	2-21
2.5.4	Uji Kuat Lentur.....	2-21
2.5.5	Daktilitas.....	2-24
2.6	Metode Perawatan Beton Geopolimer.....	2-25
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 Material.....	3-5
3.2.1	Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus.....	3-5
3.2.2	Pengujian Baja Tulangan.....	3-13
3.3	Mix Design.....	3-17
3.4	Prosedur Pengecoran Beton Geopolimer.....	3-19
3.4.1	Pencampuran Bahan, Material, dan Pengecoran.....	3-19
3.4.2	Perawatan / <i>Curing</i>	3-25
3.5	Prosedur Pengujian Beton Geopolimer.....	3-25
3.5.1	Uji Kuat Tekan.....	3-25
3.5.2	Uji Kuat Tarik Belah.....	3-28
3.5.3	Uji Kuat Geser.....	3-29
3.5.4	Uji Kuat Lentur Balok Beton Bertulang.....	3-31

BAB 4 ANALISIS HASIL PENGUJIAN.....	4-1
4.1 Berat Jenis	4-1
4.2 Analisis Uji Kuat Tekan	4-2
4.3 Analisis Uji Kuat Tarik Belah	4-10
4.4 Analisis Uji Kuat Geser	4-12
4.5 Analisis Uji Kuat Lentur	4-14
4.6 Analisis Pola Retak.....	4-17
4.7 Analisis Kegagalan Geser.....	4-19
4.8 Daktilitas.....	4-21
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	5-1
5.1 Kesimpulan.....	5-1
5.2 Saran.....	5-2
DAFTAR PUSTAKA	6-1
LAMPIRAN A Hasil Uji Material	LA-1
LAMPIRAN B Mix Design Beton Ringan Geopolimer	LB-1
LAMPIRAN C Perhitungan Kuat Lentur Balok.....	LC-1
LAMPIRAN D Foto Hasil Pengujian	LD-1

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

α	=	Koefisien kuat tarik belah	
λ	=	Koefisien untuk beton ringan	
f_c	=	Kuat tekan beton	(MPa)
f'_c	=	Kuat tekan karakteristik beton	(MPa)
f_{ct}	=	Kuat tarik beton	(MPa)
f_v	=	Kuat geser beton	(MPa)
f_r	=	Kuat lentur beton	(MPa)
A	=	Luas permukaan benda uji tertekan	(mm ²)
Ar	=	Massa atom relatif	
C	=	Gaya tekan beton	(N)
D	=	Diameter benda uji	(mm)
P	=	Panjang benda uji	(mm)
S	=	Gaya geser beton	
T	=	Tinggi benda uji	(mm)
T	=	Gaya tarik belah beton	
L	=	Lebar benda uji	(mm)
d	=	Tinggi efektif tulangan tarik	(mm)
d'	=	Tinggi efektif tulangan tekann	(mm)
h	=	Tinggi penampang balok	(mm)
sb	=	Selimut beton	(mm)
ds	=	Diameter sengkang	(mm)
D	=	Diameter tulangan longitudinal	(mm)
n	=	Mol	
M	=	Molaritas	(M)
Mr	=	Massa atom relatif unsur	
P	=	Beban	(N)
V	=	Volume benda uji	(mm ²)
ACI	=	<i>American Concrete Institute</i>	
AD	=	<i>Air Dry</i>	

Al	=	Aluminium
Al ₂ O ₃	=	<i>Aluminium Trioksida</i>
ASTM	=	<i>American Society for Testing and Material</i>
C	=	Karbon
CaO	=	<i>Kalsium Oksida</i>
Cl	=	Klorida
CO ₂	=	<i>Karbon Dioksida</i>
Cr ₂ O ₃	=	<i>Krom (III) Oksida</i>
CTM	=	<i>Compression Testing Machine</i>
Fe	=	Besi
Fe ₂ O ₃	=	<i>Besi (II) Trioksida</i>
H	=	Hidrogen
HP	=	Hilang Pijar
H ₂ O	=	Air
K ₂ O	=	<i>Kalium Dioksida</i>
M	=	Alkali
MnO ₂	=	<i>Mangan (IV) Oksida</i>
MgO	=	<i>Magnesium Oksida</i>
Na	=	Natrium
NaOH	=	<i>Sodium Hidroksida</i>
NaOH _(l)	=	<i>Sodium Hidroksida (liquid)</i>
NaOH _(s)	=	<i>Sodium Hidroksida (solid)</i>
Na ₂ SiO ₃	=	<i>Sodium Silikat</i>
Na ₂ O	=	<i>Sodium Oksida</i>
OD	=	<i>Oven Dry</i>
PBI	=	Peraturan Beton Indonesia
P ₂ O ₅	=	Phosphorus Trioxide
S	=	Sulfat
SG	=	<i>Specific Gravity</i>
Si	=	Silika
SiO ₂	=	Silikat Dioksida

SNI	=	Standar Nasional Indonesia
SO ₃	=	<i>Sulfat Trioksida</i>
SSD	=	<i>Saturated Surface Dry</i>
TiO ₂	=	Titanium Dioxide

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Diagram Alir Penelitian	1-6
Gambar 2. 1	Proses Terbentuknya Beton	2-1
Gambar 2. 2	Proses Pembuatan Agregat Ringan Lusi.....	2-8
Gambar 2. 3	Kondisi Kadar Air Agregat.....	2-11
Gambar 2. 4	Pengaruh Rasio Larutan Na_2SiO_3 / NaOH terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer, Lazarescu dkk (2017).....	2-15
Gambar 2. 5	Hubungan Regangan – Tegangan Tulangan Baja	2-18
Gambar 2. 6	Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan.....	2-19
Gambar 2. 7	Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Belah.....	2-21
Gambar 2. 8	Posisi Pengujian Kuat Lentur berdasarkan ASTM C78	2-22
Gambar 3. 1	Agregat Kasar Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo	3-1
Gambar 3. 2	Agregat Halus Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo Lolos Saringan No.4 Sampai No.100	3-2
Gambar 3. 3	<i>Fly ash</i> Tipe F.....	3-2
Gambar 3. 4	<i>Sodium Silikat</i>	3-3
Gambar 3. 5	Larutan <i>Sodium Hidroksida</i>	3-3
Gambar 3. 6	<i>Sodium Hidroksida Flakes</i>	3-3
Gambar 3. 7	Tulangan Baja Ulir MS.....	3-4
Gambar 3. 8	Tulangan Baja Polos MS	3-4
Gambar 3. 9	Sampel Uji Kadar Air Agregat Kasar	3-6
Gambar 3. 10	Sampel Uji Kadar Air Agregat Halus	3-6
Gambar 3. 11	Peralatan Pemeriksaan SSD Agregat Halus	3-10
Gambar 3. 12	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	3-10
Gambar 3. 13	Pengujian dengan Piknometer	3-11
Gambar 3. 14	Penimbangan Silinder Berisi Air untuk Agregat Halus.....	3-12
Gambar 3. 15	Penimbangan Silinder Berisi Air untuk Agregat Kasar.....	3-12
Gambar 3. 16	Alat Pematat.....	3-12
Gambar 3. 17	Bentuk Benda Uji yang Mempunyai Diameter ≤ 15 mm	3-14
Gambar 3. 18	Bentuk Benda Uji yang Mempunyai Diameter > 15 mm.....	3-14
Gambar 3. 19	Grafik Hasil Pengujian Mutu Baja Tulangan Polos $\varnothing 10$	3-15
Gambar 3. 20	Grafik Hasil Pengujian Mutu Baja Tulangan Ulir D13.....	3-16

Gambar 3. 21	Tulangan Baja setelah Uji Tarik	3-17
Gambar 3. 22	Bahan Pengecoran	3-20
Gambar 3. 23	Campuran Agregat Halus I, II, dan III	3-20
Gambar 3. 24	Cetakan.....	3-20
Gambar 3. 25	Mixer	3-21
Gambar 3. 26	Penuangan Larutan Aktivator	3-21
Gambar 3. 27	Agregat Kasar dalam Pengecoran	3-21
Gambar 3. 28	Agregat Halus dalam Pengecoran	3-22
Gambar 3. 29	Adonan Beton.....	3-22
Gambar 3. 30	Uji Slump	3-22
Gambar 3. 31	Penumbukan Beton	3-23
Gambar 3. 32	Hasil Pengecoran dalam Cetakan.....	3-23
Gambar 3. 33	Pembukaan Cetakan Silinder setelah 3 Hari	3-24
Gambar 3. 34	Pembukaan Cetakan Balok Geser setelah 3 Hari	3-24
Gambar 3. 35	Proses Pembuatan Balok Beton Bertulang.....	3-24
Gambar 3. 36	Perawatan Beton dengan Membran	3-25
Gambar 3. 37	Benda Uji sebelum Pengujian	3-26
Gambar 3. 38	Benda Uji dengan Capping	3-26
Gambar 3. 39	Benda Uji pada Mesin Tekan	3-26
Gambar 3. 40	Benda Uji setelah Pengujian	3-27
Gambar 3. 41	Benda Uji sebelum Pengujian Kuat Tarik Belah	3-28
Gambar 3. 42	Benda Uji Menggunakan Alat Bantu Kuat Tarik Belah	3-29
Gambar 3. 43	Hasil Uji Kuat Tarik Belah	3-29
Gambar 3. 44	Uji Geser	3-30
Gambar 3. 45	Hasil Uji Kuat Geser	3-30
Gambar 3. 46	Benda Uji Kuat Lentur	3-31
Gambar 3. 47	Alat UTM untuk Pengujian Kuat Lentur	3-32
Gambar 3. 48	Gambar Pola Keretakan	3-32
Gambar 3. 49	Hasil Uji Kuat Lentur	3-33
Gambar 4. 1	Grafik Hubungan Y' dengan Umur Uji	4-3
Gambar 4. 2	Grafik Hubungan Kuat Tekan terhadap Umur Uji.....	4-6
Gambar 4. 3	Estimasi Kuat Tekan 28 Hari (Konversi).....	4-8

Gambar 4. 4 Bentuk Kehancuran / Pola Retak Benda Uji.....	4-8
Gambar 4. 5 Pola Retak Tipe 2.....	4-9
Gambar 4. 6 Pola Retak Tipe 3.....	4-9
Gambar 4. 7 Pola Retak Tipe 5.....	4-9
Gambar 4. 8 Grafik Koefisien Kuat Tarik Belah Beton	4-11
Gambar 4. 9 Grafik Kuat Tarik Belah Beton.....	4-11
Gambar 4. 10 Grafik Koefisien Kuat Geser Beton.....	4-12
Gambar 4. 11 Grafik Kuat Geser Beton	4-13
Gambar 4. 12 Besi Landasan Beban Uji Geser 3 cm	4-13
Gambar 4. 13 Besi Landasan Beban Uji Geser 4 cm	4-13
Gambar 4. 14 Besi Landasan Benda Uji 1, 2, dan 3.....	4-14
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Beban dan Peralihan	4-16
Gambar 4. 16 Grafik Hubungan Momen dan Peralihan.....	4-16
Gambar 4. 17 Benda Uji 1 Balok Beton Bertulang	4-17
Gambar 4. 18 Pola Retak dan Urutan Terjadinya Benda Uji 1	4-17
Gambar 4. 19 Benda Uji 2 Balok Beton Bertulang	4-18
Gambar 4. 20 Pola Retak dan Urutan Terjadinya Benda Uji 1	4-18
Gambar 4. 21 Benda Uji 3 Balok Beton Bertulang	4-18
Gambar 4. 22 Pola Retak dan Urutan Terjadinya Benda Uji 1	4-19
Gambar 4. 23 Gaya Dalam Uji Kuat Lentur.....	4-19
Gambar LA. 1 Grafik Tegangan - Regangan Tulangan D13	LA-8
Gambar LA. 2 Grafik Tegangan - Regangan Tulangan Ø10	LA-8
Gambar LB. 1 Tabel Kadar Air dan Udara	LB-5
Gambar LB. 2 Tabel W/C	LB-6
Gambar LB. 3 Tabel Volume Agregat Kasar.....	LB-6
Gambar LD. 1 Benda Uji 1 Kuat Tekan.....	LD-2
Gambar LD. 2 Benda Uji 2 Kuat Tekan.....	LD-2
Gambar LD. 3 Benda Uji 3 Kuat Tekan.....	LD-3
Gambar LD. 4 Benda Uji 1 Kuat Tarik Belah.....	LD-3
Gambar LD. 5 Benda Uji 2 Kuat Tarik Belah.....	LD-4
Gambar LD. 6 Benda Uji 3 Kuat Tarik Belah.....	LD-4
Gambar LD. 7 Hasil Pengujian Kuat Geser	LD-5

Gambar LD. 8 Benda Uji 1 Kuat Geser	LD-6
Gambar LD. 9 Benda Uji 2 Kuat Geser	LD-6
Gambar LD. 10 Benda Uji 3 Kuat Geser	LD-7
Gambar LD. 11 Benda Uji 1 Kuat Lentur	LD-7
Gambar LD. 12 Gagal Geser Benda Uji 1	LD-8
Gambar LD. 13 Pola Retak Bagian Atas Benda Uji 1	LD-8
Gambar LD. 14 Benda Uji 2 Kuat Lentur	LD-9
Gambar LD. 15 Gagal Geser Benda Uji 2	LD-9
Gambar LD. 16 Pola Retak Benda Uji 2	LD-10
Gambar LD. 17 Benda Uji 3 Kuat Lentur	LD-10
Gambar LD. 18 Gagal Geser Benda Uji 3	LD-11
Gambar LD. 19 Tulangan Geser Benda Uji 3	LD-11

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Analisis Kimia Lumpur Sidoarjo sebagai Bahan Baku Bangunan, Lasino (2016)	2-6
Tabel 2. 2 Rancangan Uji Coba Suhu Bakar Agregat Ringan	2-7
Tabel 2. 3 Persyaratan Kimia <i>Fly Ash</i> , SNI 2460:2014	2-12
Tabel 2. 4 Persyaratan Fisik <i>Fly Ash</i> , SNI 2460:2014	2-13
Tabel 2. 5 Hasil Pengujian Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i> oleh Sucofindo	2-13
Tabel 2. 6 Ukuran BjTP, SNI 07-2052-2002	2-17
Tabel 2. 7 Ukuran BjTS, SNI 07-2052-2002	2-17
Tabel 2. 8 Toleransi Diameter Baja Tulangan, SNI 07-2052-2002	2-18
Tabel 2. 9 Estimasi Korelasi Kuat Tekan Silinder Berdasarkan Diameter Benda Uji ($L/D = 2$), SNI 1974:2011	2-20
Tabel 2. 10 Parameter Daktilitas Struktur Gedung	2-25
Tabel 3. 1 Detail Benda Uji	3-5
Tabel 3. 2 Massa Minimum Benda Uji Kadar Air, SNI 1971:2011	3-6
Tabel 3. 3 Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji, SNI ASTM C117:2012	3-7
Tabel 3. 4 Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji, SNI 1969:2008	3-9
Tabel 3. 5 Hasil Pengujian Agregat	3-13
Tabel 3. 6 Hasil Pengujian <i>Fly Ash</i>	3-13
Tabel 3. 7 Hasil Uji Tarik Tulangan Baja Ulir D13	3-16
Tabel 3. 8 Hasil Uji Tarik Tulangan Baja Ulir $\varnothing 10$	3-16
Tabel 3. 9 Perbandingan <i>Trial Mix</i>	3-17
Tabel 3. 10 Hasil <i>Trial Mix</i>	3-18
Tabel 3. 11 <i>Mix Design</i> Beton per m^3	3-18
Tabel 3. 12 Data Hasil Uji Tekan Silinder	3-27
Tabel 3. 13 Data Hasil Uji Tarik Belah Silinder	3-29
Tabel 3. 14 Data Hasil Uji Geser Balok	3-31
Tabel 3. 15 Data Hasil Uji Kuat Lentur Balok Beton Bertulang	3-33
Tabel 4. 1 Berat Jenis Beton Ringan Geopolimer	4-1
Tabel 4. 2 Hasil Uji Kuat Tekan	4-2
Tabel 4. 3 Nilai Faktor Y'	4-3

Tabel 4. 4 Kuat Tekan Regresi dan Faktor Umur	4-4
Tabel 4. 5 Kuat Tekan Regresi dan Faktor Umur Perhari	4-5
Tabel 4. 6 Estimasi Kuat Tekan 28 Hari dan Kuat Tekan Karakteristik	4-7
Tabel 4. 7 Hasil Uji Kuat Tarik Belah	4-10
Tabel 4. 8 Hasil Uji Kuat Geser	4-12
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Momen Leleh dan Momen Runtuh	4-14
Tabel 4. 10 Hasil Analisis Momen Leleh Pengujian dan Teoritis	4-15
Tabel 4. 11 Hasil Analisis Momen Runtuh Pengujian dan Teoritis	4-15
Tabel 4. 12 Kuat Geser Nominal, Senggang, dan Beton	4-20
Tabel 4. 13 Daktilitas Benda Uji.....	4-21
Tabel LA. 1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	LA-2
Tabel LA. 2 Kadar Air Agregat Kasar.....	LA-2
Tabel LA. 3 Kadar Lumpur Agregat Kasar	LA-3
Tabel LA. 4 Bobot Isi Agregat Kasar	LA-3
Tabel LA. 5 Analisa Saringan Agregat Kasar	LA-4
Tabel LA. 6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	LA-4
Tabel LA. 7 Kadar Air Agregat Halus.....	LA-5
Tabel LA. 8 Kadar Lumpur Agregat Halus	LA-6
Tabel LA. 9 Bobot Isi Agregat Halus	LA-6
Tabel LA. 10 Analisa Saringan Agregat Halus	LA-7
Tabel LB. 1 Total Kebutuhan Material.....	LB-5

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam memacu pertumbuhan ekonomi di Indonesia perlu diimbangi dengan peningkatan pembangunan infrastruktur. Kepala Perwakilan Bank Dunia untuk Indonesia Rodrigo Chaves menyatakan, infrastruktur yang lebih baik dan lebih terencana akan membantu Indonesia meningkatkan pertumbuhan serta pemerataan kemakmuran bagi masyarakat (World Bank, 2017). Salah satu material yang paling banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur adalah beton. Beton merupakan bahan bangunan yang terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, air, dan semen. Keuntungan dalam penggunaan beton yaitu mudah dicetak menjadi beragam bentuk penampang, tahan terhadap temperatur tinggi, memiliki kuat tekan tinggi, dan harga relatif murah. Material beton banyak digunakan pada pembangunan rumah, gedung, jembatan, jalan, bangunan air, dan sebagainya.

Kebutuhan material dalam dunia konstruksi seperti pembuatan beton banyak menggunakan bahan yang mengeksploitasi sumber daya alam. Dampak negatif dari eksploitasi yang berlebihan dapat menimbulkan kerusakan alam. Untuk itu perlu dilakukan terobosan pemanfaatan bahan-bahan alternatif pengganti bahan bangunan yang bersumber dari alam, seperti pemanfaatan limbah. Limbah merupakan material yang dapat mengganggu lingkungan maupun kesehatan. Salah satu solusi pemanfaatan limbah adalah menggunakan material alternatif dengan membuat agregat buatan yang berasal dari limbah. Contoh dari limbah yang hingga saat ini belum terkendali dengan baik adalah lumpur Sidoarjo.

Pada tanggal 29 Mei 2006, diduga kegiatan pengeboran yang dilakukan di Sidoarjo menyebabkan munculnya semburan lumpur panas. Mengacu pada laporan *IDN Times* disebutkan bahwa terdapat 16 desa di tiga kecamatan terendam lumpur dengan tinggi enam meter. Lebih dari 25.000 jiwa harus diungsikan, serta lebih dari 600 hektare tanah dengan 1810 rumah, 18 sekolah, 2 kantor, 15 pabrik, 15 masjid, dan mushola (Khusuma, 2016). Semburan lumpur memiliki kapasitas sebesar 30.000 m³ sampai dengan 80.000 m³ perhari (Lasino dan Setiati, 2017). Untuk

pengendaliannya, lumpur dapat dimanfaatkan menjadi bahan konstruksi. Salah satu hasil penelitian yang dibuat dari lumpur Sidoarjo adalah agregat ringan buatan. Pembuatan agregat dilakukan melalui proses pembakaran. Dari segi bentuk, agregat kasar lumpur Sidoarjo ini dibedakan menjadi dua, yaitu bentuk tidak beraturan dan bulat. Agregat ringan buatan tersebut diteliti oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman (PUSKIM).

Dunia konstruksi di Indonesia umumnya menggunakan semen Portland sebagai bahan pengikat material beton. Semen Portland merupakan senyawa kalsium-silikat yang berasal dari hasil pembakaran batu kapur dengan tanah liat, pasir besi, dan pasir silika dengan suhu 1400°C . Studi menunjukkan bahwa produksi 1 ton semen Portland menghasilkan 1 ton gas CO_2 . Dalam kurun tahun 2000-2009, rata-rata penggunaan bahan bakar fosil dan produksi semen melepaskan 7,7 gigaton CO_2 ke udara (Baird dan Cann, 2008). Gas CO_2 tersebut dapat meningkatkan suhu bumi. Dalam usaha mengurangi pencemaran lingkungan penggunaan semen dapat digantikan dengan material geopolimer seperti *fly ash*.

Fly ash itu sendiri berasal dari hasil pembakaran batu bara dengan suhu pembakaran antara 600°C – 800°C (Hakim, 2016). Dengan kata lain CO_2 yang dihasilkan lebih sedikit dibanding semen Portland. *Fly ash* memiliki kandungan tinggi akan silikon (Si) dan alumunium (Al). Namun penambahan air pada *fly ash* tidak akan membuatnya menjadi bahan pengikat. Sehingga untuk material dengan sumber asal geologi atau bahan produk lainnya semacam itu seperti *fly ash* dan abu sekam padi dapat digunakan cairan alkali untuk mereaksikannya dengan silikon (Si) dan alumunium (Al) agar menjadi bahan pengikat (Davidovits, 1988). Cairan alkali merupakan bahan aktivator *fly ash*. Umumnya cairan alkali yang digunakan dalam geopolimerisasi adalah campuran Sodium hidroksida (NaOH) dan Sodium silikat (Na_2SiO_3).

Saat ini Indonesia mengarahkan penggunaan material ringan untuk pembangunan infrastruktur. Contoh dari struktur yang menggunakan material ringan adalah beton ringan. Penggunaan beton ringan dalam konstruksi dapat mengurangi berat struktur. Sehingga mengurangi beban gempa. Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis lebih ringan dari pada beton pada umumnya, yaitu kurang dari sama dengan 1.900 kg/m^3 (SNI 03-2847-2002). Banyak metode

yang dapat digunakan dalam pembuatan beton ringan, seperti menggunakan agregat ringan lumpur Sidoarjo.

Agar pemanfaatan beton ringan tersebut dapat diterapkan, maka dilakukan uji eksperimental pada balok beton. Namun balok beton polos memiliki kelemahan dalam menahan gaya tarik yang timbul. Karena itu balok beresiko mengalami kegagalan tarik pada tingkat beban yang rendah sebelum beton mencapai kuat tekannya. Agar hal tersebut tidak terjadi maka perlu digunakan tulangan baja pada serat yang mengalami tegangan tarik.

Dengan penelitian ini, dilakukan eksperimen balok beton geopolimer ringan bertulang dengan agregat kasar tidak beraturan dan agregat halus berbahan lumpur Sidoarjo. Pemanfaatan lumpur Sidoarjo sebagai agregat dan *fly ash* pengganti semen dapat mengurangi eksploitasi alam yang berlebihan, mengatasi limbah lumpur yang berlimpah, dan mengurangi pencemaran lingkungan. Selain itu beton tersebut dapat mendukung penyediaan material yang ringan dan ramah lingkungan.

1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dari penelitian ini adalah mengetahui efek penggunaan agregat ringan buatan dari lumpur Sidoarjo pada kuat tekan, kuat tarik, dan kuat geser dari beton geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Permasalahan berikutnya yaitu perilaku beton ringan geopolimer yang diterapkan pada balok beton bertulang. Dan membandingkan kuat lentur dari balok beton ringan geopolimer bertulang secara teori dan hasil pengujian.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen 100% terhadap campuran beton ringan geopolimer.
2. Mengetahui pengaruh kadar agregat berbahan dasar lumpur Sidoarjo dan binder berbahan dasar *fly ash* terhadap kekuatan beton ringan geopolimer.
3. Mengetahui kuat tekan beton ringan geopolimer.
4. Mengetahui kuat tarik belah beton ringan geopolimer.
5. Mengetahui kuat geser beton ringan geopolimer.

6. Mengetahui kuat lentur balok beton ringan geopolimer bertulang pada umur 28 hari.
7. Mengetahui pola keretakan setelah uji kuat lentur pada balok beton ringan geopolimer bertulang.
8. Mengetahui nilai daktilitas balok beton ringan geopolimer bertulang.

1.4 Pembatasan Masalah

1. Beton menggunakan *mix design* beton normal (ACI 211.1-91) dengan kuat tekan yang direncanakan 20 MPa, pada umur 28 hari.
2. Agregat kasar ringan berbahan dasar lumpur Sidoarjo dengan bentuk tidak beraturan dengan densitas 0,6-0,7 gr/cm³.
3. Agregat halus ringan berbahan dasar lumpur Sidoarjo berukuran 0,1 – 4,8 mm dan densitas 0,6-0,7 gr/cm³.
4. *Fly ash* yang digunakan memiliki kehalusan butir lolos saringan No. 200 (0,074 mm) dengan kadar 100%.
5. *Fly ash* yang digunakan tipe F berasal dari PLTU Suryalaya.
6. Perbandingan agregat kasar : agregat halus : binder = 1 : 1,32 : 1,73
7. Perbandingan agregat halus I (2,4 – 4,75 mm) : agregat halus II (1,2 – 2,4 mm) : agregat halus III (0,1 – 1,2 mm) = 1,33 : 1 : 1
8. Larutan aktivator yang digunakan adalah *Sodium Silikat* (Na₂SiO₃) dan *Natrium Hidroksida* (NaOH) dengan molaritas 8 M
9. Perbandingan padatan padatan *fly ash* : aktivator = 0,67 : 0,33
10. Perbandingan *Sodium Hidroksida* (NaOH) : *Sodium Silikat* (Na₂SiO₃) = 1 : 2,5.
11. Faktor air semen sebesar 0,5.
12. *Workability* ditentukan dari nilai slump antara 75 – 100 mm.
13. Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder berdimensi 200 mm x 100 mm pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari sebanyak 3 buah untuk masing-masing umur.
14. Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan benda uji silinder berdimensi 200 mm x 100 mm pada umur 28 hari sebanyak 3 buah.
15. Pengujian kuat geser beton menggunakan benda uji balok berdimensi 300 mm x 100 mm x 100 mm pada umur 28 hari sebanyak 3 buah.

16. Pengujian kuat lentur balok beton bertulang menggunakan benda uji berdimensi 1200 mm x 200 mm x 200 mm sebanyak 3 buah pada umur 28 hari. Balok beton bertulang menggunakan tulangan ulir berdiameter 13 mm sebanyak 3 buah pada bagian bawah dan 2 buah pada bagian atas balok. Dan menggunakan tulangan polos untuk penulangan geser (sengkang) berdiameter 10 mm dipasang dengan jarak 90 mm.

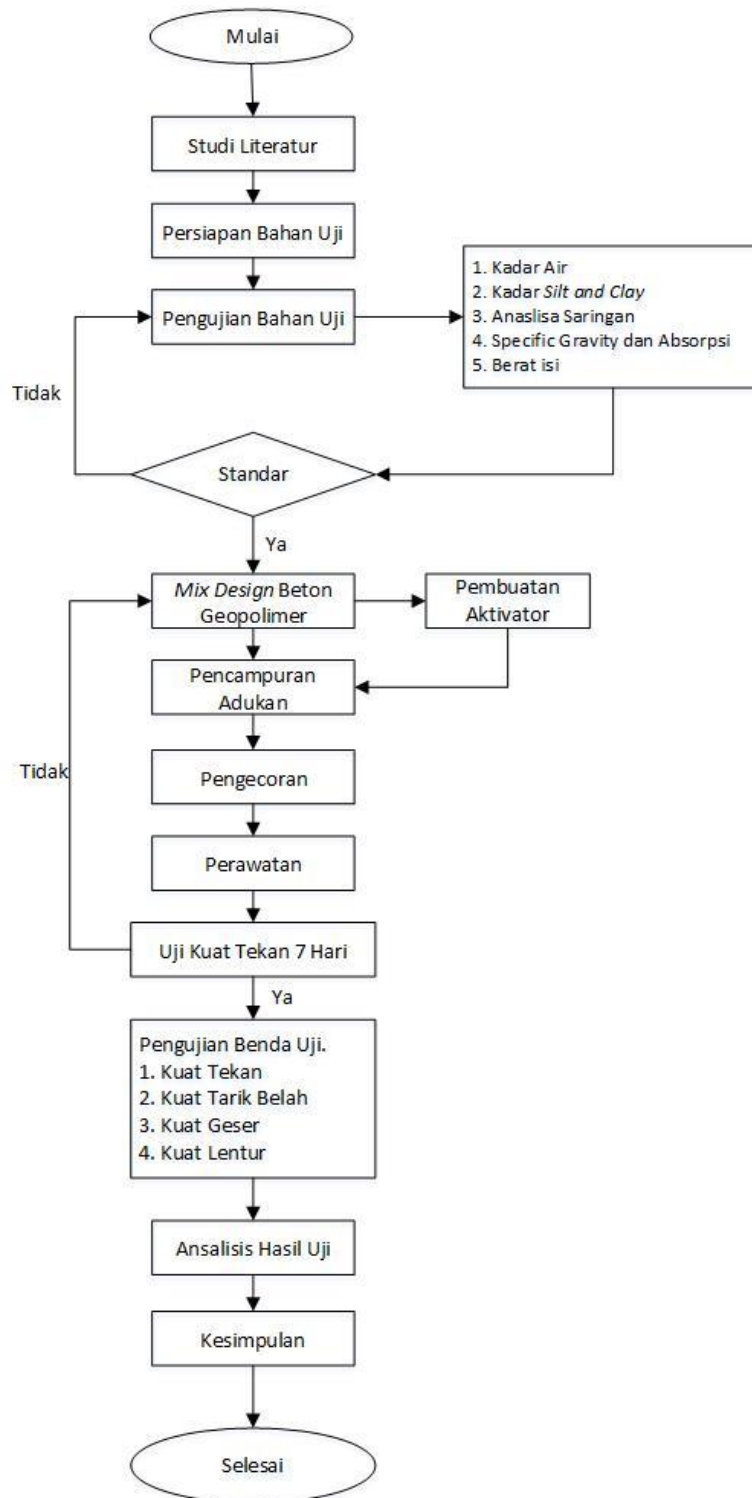
1.5 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah teknik pengumpulan sumber data, informasi, maupun teori untuk menunjang studi eksperimental. Selain itu dapat dijadikan pembandingan dengan hasil uji eksperimental. Bahan studi literatur yang digunakan sebagai sumber data adalah jurnal ilmiah, paper, buku, internet, dan sebagainya. Literatur yang digunakan dapat dijadikan acuan dalam penelitian.

2. Studi Eksperimental

Studi eksperimental dilakukan melalui uji kuat tekan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Sedangkan alat *Universal Testing Machine* (UTM) digunakan untuk uji kuat geser dan uji kuat tarik belah. Kemudian dilakukan juga uji kuat lentur pada balok beton geopolimer bertulang.



Gambar 1. 1 Diagram Alir Penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan dilakukan secara sistematis untuk menyusun skripsi ini dan dibagi dalam 5 bab, yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dibahas latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dibahas mengenai landasan teori yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini.

BAB 3 PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN

Dalam bab ini pembahasan mencakup persiapan pengujian, pelaksanaan pengujian, dan pencatatan hasil pengujian.

BAB 4 ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Dalam bab ini akan ditunjukkan data hasil pengujian. Kemudian dijelaskan analisis hasil pengujian serta dibandingkan dengan hasil teoritis.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini akan dibahas kesimpulan dari hasil pengujian dan penulisan serta saran agar penyusunan skripsi menjadi lebih baik.

