

**BETON RINGAN STRUKTURAL DENGAN MEMANFAATKAN  
AGREGAT BUATAN DARI TANAH LIAT**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RAHMA AMILIA**

**1815011082**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## **ABSTRACT**

### **STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE UTILIZING ARTIFICIAL AGGREGATE FROM CLAY**

**By**

**RAHMA AMILIA**

*The high specific gravity of concrete, which significantly increases the weight of the structure itself, is one of its drawbacks. One way that can be done to reduce the weight of concrete is to make lightweight concrete using lightweight aggregates. From this research it is expected to know whether the use of artificial aggregate from clay as a split replacement material can meet the requirements for structural lightweight concrete. In this study the specimens used were cylinders with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm for testing the compressive strength and split tensile strength of concrete. The mixed design used was the ACI 211.2-98 method. Variations of artificial lightweight aggregate from clay used are 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of the total split coarse aggregate with a concrete test time of 28 days and added superplasticizer of 0.5% by weight of cement. From the results of the tests that have been carried out, the greatest compressive strength and tensile strength occur in normal concrete with a compressive strength value of 26.42 MPa and a split tensile strength of 2.17 MPa. As for the compressive strength and split tensile strength of concrete, the lowest occurred in concrete containing 100% light aggregate made from clay and 0% split with a compressive strength value of 15.09 MPa and a split tensile strength of 1.65 MPa. It can be concluded that in terms of the required unit weight value, lightweight concrete with 100% light aggregate content made from clay is included in the lightweight concrete category, but when viewed from the results of the compressive strength and split tensile strength tests, concrete is not included in structural lightweight concrete but is included in lightweight concrete types for lightweight structures.*

*Key words : Lightweight concrete, clay, compressive strength, splitting tensile strenght.*

## **ABSTRAK**

### **BETON RINGAN STRUKTURAL DENGAN MEMANFAATKAN AGREGAT BUATAN DARI TANAH LIAT**

**Oleh**

**RAHMA AMILIA**

Berat jenis beton yang tinggi, yang meningkatkan berat struktur itu sendiri secara signifikan, adalah salah satu kelemahannya. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi berat beton, yaitu membuat beton ringan dengan menggunakan agregat ringan. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui apakah dengan pemanfaatan agregat buatan dari tanah liat sebagai bahan pengganti *split* dapat memenuhi persyaratan untuk beton ringan struktural. Dalam penelitian ini benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Rancang campur yang digunakan yaitu metode ACI 211.2-98. Variasi agregat ringan buatan dari tanah liat yang digunakan adalah 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dari total agregat kasar *split* dengan waktu pengujian beton berumur 28 hari serta ditambahkan *superplasticizer* sebesar 0,5% dari berat semen. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh kuat tekan dan kuat tarik terbesar terjadi pada beton normal dengan nilai kuat tekan 26,42 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,17 MPa. Sedangkan untuk nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton terendah terjadi pada beton dengan kandungan 100% agregat ringan buatan dari tanah liat dan 0% *split* dengan nilai kuat tekan 15,09 MPa dan kuat tarik belah sebesar 1,65 MPa. Dapat disimpulkan ditinjau dari nilai berat volume yang disyaratkan beton ringan dengan kadar 100% agregat ringan buatan dari tanah liat termasuk dalam kategori beton ringan, namun jika ditinjau dari hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton tidak termasuk pada beton ringan struktural akan tetapi termasuk pada jenis beton ringan untuk struktural ringan.

Kata kunci : Beton ringan, tanah liat, kuat tekan, kuat tarik belah.

**BETON RINGAN STRUKTURAL DENGAN MEMANFAATKAN  
AGREGAT BUATAN DARI TANAH LIAT**

**Oleh**

**RAHMA AMILIA**

**1815011082**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada  
Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

Judul Skripsi : **BETON RINGAN STRUKTURAL DENGAN  
MEMANFAATKAN AGREGAT BUATAN  
DARI TANAH LIAT**

Nama Mahasiswa : **Rahma Amilia**

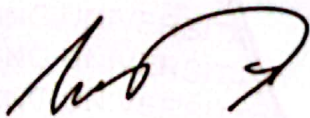
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011082

Jurusan : Teknik Sipil

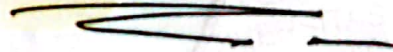
Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

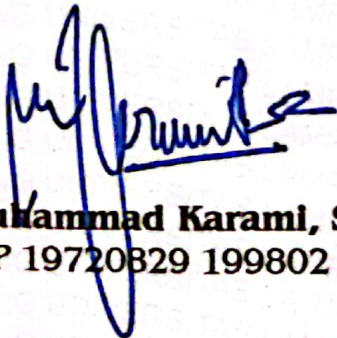


**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**  
NIP 19620408 198903 2 001



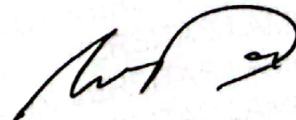
**Ir. Surya Sebayang, M.T.**  
NIP 19580124 198703 1 001

2. Ketua Program Studi Teknik Sipil



**Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19720829 199802 1 001

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil



**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**  
NIP 19620408 198903 2 001

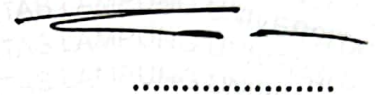
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

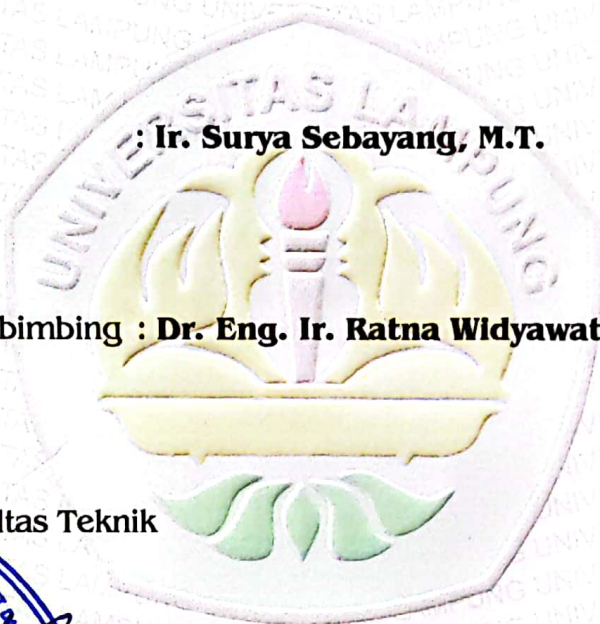
**Ketua : Ir. Laksmi Irianti, M.T.**



**Sekretaris : Ir. Surya Sebayang, M.T.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T. ....**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. J**  
NIP. 19750928 200112 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Desember 2022**



## PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **RAHMA AMILIA**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815011082**

Judul : **Beton Ringan Struktural Dengan Memanfaatkan  
Agregat Buatan Dari Tanah Liat**

Jurusan : **Teknik Sipil**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah karya penulisan ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 13 Desember 2022

Penulis,



**RAHMA AMILIA**

**NPM: 1815011082**

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis merupakan anak kedua dari Bapak Sudarmadi dan Ibu Elisatriana. Penulis dilahirkan di Pekanbaru pada tanggal 13 Oktober 2000.

Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN 197/III Kemantan Kebalai lulus pada tahun 2012 kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 26 Kerinci lulus pada tahun 2015. Sekolah Menengah Atas di SMAN 2 Kerinci dan lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswi S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi dalam maupun luar kampus yakni: sebagai anggota KMB (KORPS MUDA) di BEM-U UNILA pada tahun 2019, lalu sebagai anggota kementerian Luar Negeri BEM-U UNILA pada tahun 2020, menjadi anggota *Creativity and Financial* (CnF) di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) English Society (ESO) Universitas Lampung pada tahun 2019, serta menjadi anggota bidang Hubungan Luar HIMATEKS pada tahun 2019. Pada tahun 2021 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di salah satu proyek Pembangunan Gedung Sistem Ujian Online dan Arsip UPBJJ-UT Lampung oleh PT. Satriamas Karyatama dan melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sinar Petir, Kecamatan Talang Padang, Kabupaten Tanggamus, Lampung.



## **PERSEMBAHAN**

Puji Syukur kepada Allah SWT, karena atas limpahan berkah, rahmat, dan karunia-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Ku persembahkan karya ku ini kepada :

Bapak dan Ibu ku tercinta yang selalu mendukung, membimbing, mendoakan, memberi semangat, dan motivasi dan hal yang tak dapat kuungkapkan dengan kata-kata.

Kakak, Adik dan Nenekku yang tidak pernah putus doanya, banyak membantu, menemani dan memotivasi agar aku bisa mencapai semua mimpi ku selama ini.

Dosen Pembimbing dan Penguji yang sangat berjasa dan selalu mendidikku untuk segera menyelesaikan kewajibanku.

Sahabat dan teman-temanku. Terimakasih selalu menemani, mendukung dan memotivasiku selama ini untuk menjadi manusia terbaik dalam hidupku.

**Almamaterku Universitas Lampung**

## **KATA INSPIRASI**

“Ada 4 kunci penting dalam kehidupan, yakni niat, usaha, ikhlas dan tawakkal”  
(Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P.)

“Apabila menekuni suatu pekerjaan maka kerjakanlah dengan sungguh-sungguh,  
dan kamu akan merasakan nikmat dan hasil dari pekerjaan tersebut”  
(Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P.)

“Hiduplah seolah engkau mati besok. Belajarlah seolah engkau hidup selamanya”  
(Mahatma Gandhi)

“Start where you are. Use what you have. Do what you can”  
(Me)

“Maka apabila kamu selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-  
sungguh (urusan) yang lain”  
(QS: AL-Insyirah Ayat 7)

“Tuntutlah ilmu. Di saat kamu miskin, ia akan menjadi hartamu. Di saat kamu  
kaya, ia akan menjadi perhiasanmu”  
(Luqman al-Hakim)

## SANWACANA

Segala puji dan syukur Penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan Hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Beton Ringan Struktural Dengan Memanfaatkan Agregat Buatan Dari Tanah Liat”. Dalam menyelesaikan skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu Penulis dalam memberikan bantuan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak.

Untuk itu, iringan doa dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Eng Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil sekaligus dosen Pembimbing Utama yang memberikan bimbingan, pengarahan dan saran kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Surya Sebayang, M.T. selaku Pembimbing Kedua yang memberikan motivasi saran dan membimbing penulisan skripsi.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T. selaku pembahas atas kesediannya memberikan kritik dan saran bagi perbaikan skripsi.
6. Bapak Bayzoni, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dan arahan selama perkuliahan.
7. Bapak Ibu Dosen dan seluruh staf Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan bekal ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
8. Ayah dan Ibu Penulis yang tidak henti-hentinya selalu mendoakan dan memberikan motivasi dalam hal apapun untuk keberhasilan Penulis.

9. Kakakku Rozi Saputra, Amd. T, dan Kakak Delvia Yunita, S.Pd serta Adikku Ahmad Bafadhal yang selalu mendoakan, mendukung, dan memotivasi untuk dapat menjadi kebanggaan keluarga dan juga untuk dapat meraih kesuksesan.
10. Indra Janitra Verdianto terima kasih telah banyak membantu, memberikan motivasi dan arahan dalam segala kegiatan.
11. Yeshe Anggraini, Nur Insyani Zuherman, dan Anisa Cesarani yang selalu memberikan saran, dukungan serta memotivasi penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
12. Rivaldo Hartono Putra, Eko Purwanto dan Sinung Gistyantoro yang sudah membantu di laboratorium, selalu sedia membantu dalam proses skripsi ini. Dan juga terima kasih atas kesabarannya dari awal hingga skripsi ini selesai.
13. Teman seperjuangan angkatan 2018 yang telah menemani sejak diterima menjadi mahasiswa Teknik Sipil, diterima di keluarga besar Teknik Sipil, menjalankan organisasi HIMATEKS yang tidak terasa sudah empat (4) tahun lamanya sudah menjadi keluarga kedua bagi penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
14. Adik-Adik Angkatan 2020 yang sudah membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
15. Seluruh pihak terkait lainnya yang telah banyak membantu yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dari skripsi ini, akan tetapi besar harapan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 13 Desember 2022  
Penulis



**RAHMA AMILIA**  
**NPM. 1815011082**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Hipotesis Penelitian.....	4
1.7. Sistematika Penulisan Skripsi .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1. Beton Ringan.....	6
2.2. Bahan Penyusun Beton Ringan Struktural .....	10
2.3. Kuat Tekan Beton.....	15
2.4. Kuat Tarik Belah Beton.....	15
2.5. Penelitian Terkait .....	16
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	20
3.1. Lokasi Penelitian .....	20
3.2. Diagram Alir Penelitian .....	20
3.3. Persiapan Alat dan Bahan .....	22
3.4. Pembuatan Agregat Ringan.....	25
3.5. Pembuatan Benda Uji.....	26
3.6. Pengujian <i>Workability</i> Beton Segar .....	27
3.7. Perawatan Benda Uji ( <i>Curing</i> ).....	28
3.8. Pengujian Benda Uji.....	28
3.9. Perhitungan dan Analisis Data .....	29
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
4.1. Umum.....	31
4.2. Hasil Penentuan Keausan Agregat Ringan.....	31
4.3. Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Material .....	32
4.4. Hasil Perhitungan Bahan Campuran Beton.....	33
4.5. Kelecekan ( <i>Workability</i> ) .....	34

4.6. Berat Volume Beton.....	35
4.7. Kuat Tekan Beton.....	37
4.8. Kuat Tarik Belah Beton.....	40
<b>V. PENUTUP .....</b>	<b>43</b>
5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran.....	44

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir penelitian.....	21
2. Hubungan nilai <i>slump</i> beton terhadap kadar agregat ringan buatan dari tanah liat.....	34
3. Hubungan berat volume beton terhadap kadar agregat ringan buatan dari tanah liat.....	37
4. Hubungan kuat tekan beton terhadap kadar agregat ringan buatan dari tanah liat.....	39
5. Hubungan kuat tarik belah beton terhadap kadar agregat ringan buatan dari tanah liat.....	41



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi dan Kode Benda Uji.....	4
2. Jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Massa Beton dan Jenis Agregat.....	6
3. Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah.....	9
4. Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural...	9
5. Komposisi Kimia Dasar Semen <i>Portland</i> .....	10
6. Jenis-jenis Semen <i>Portland</i> .....	11
7. Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar.....	13
8. Komposisi Unsur Kimia Pada Tanah Liat (Lempung).....	14
9. Jumlah Benda Uji.....	26
10. Hasil Pemeriksaan Pengujian Material Penyusun Beton (Agregat Halus dan Agregat Kasar).....	32
11. Hasil Pemeriksaan Pengujian Material Penyusun Beton (Agregat Ringan Buatan Dari Tanah Liat).....	33
12. Komposisi Kebutuhan Material Bahan Campuran Beton Per m <sup>3</sup> .....	33
14. Nilai <i>Slump</i> Beton.....	34
15. Hasil Perhitungan Berat Volume Beton.....	36
16. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	38
17. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	41

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Semen *portland*, agregat kasar, agregat halus dan air adalah bahan-bahan yang digunakan untuk membuat beton. Jika dibandingkan dengan baja, pembuatan beton relatif lebih murah, lebih mudah dibentuk, lebih tahan api dan bahan bakunya mudah diperoleh.

Berat jenis beton yang tinggi, yang meningkatkan berat struktur itu sendiri secara signifikan, adalah salah satu kelemahannya. Dalam suatu struktur bangunan, *self-weight* merupakan fungsi yang sangat penting dan dominan, terutama pada saat analisis gempa. Semakin berat bangunan, semakin besar gaya inersia akibat berat bangunan itu sendiri. Ada beberapa cara untuk mengurangi berat beton, seperti menggunakan agregat ringan untuk membuat beton ringan, tidak menggunakan pasir, dan membuat beton berongga. Beton ringan struktural umumnya digunakan pada bangunan yang terlindungi seperti kolom, pelat dan elemen dinding pada bangunan rangka baja dan beton. Dengan kuat tekan minimal 17,24 MPa dan maksimal 41,36 MPa.

Berdasarkan SNI-03-2847-2002, beton ringan adalah jenis beton yang mengandung agregat ringan dengan berat jenis kurang dari 1900 Kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan berdasarkan SK SNI 03-3449-2002, beton yang menggunakan agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan menggunakan beton dengan berat jenis lebih rendah dari 1850 Kg/m<sup>3</sup> dan harus memenuhi syarat kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

Berat jenis bahan penyusun beton, khususnya berat jenis agregat, menentukan berat beton. Berat jenis yang ringan dapat diperoleh dengan berbagai cara, antara lain dengan memanfaatkan kandungan udara dalam beton dan agregatnya. Beton ringan digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk isolasi, pengisian kekuatan, dan elemen struktural.

Selain penggunaan gelembung udara dalam campuran semen, pembuatan beton ringan juga dapat melibatkan penggunaan bahan pengisi ringan dengan berat jenis kurang dari  $2000 \text{ kg/m}^3$ , seperti tanah liat bakar, batu apung dan sebagainya (Kardiyono, 1992).

Mineral lempung/tanah liat merupakan komponen batuan sedimen dan komponen utama tanah. Tanah liat/lempung memiliki sifat fisika dan kimia yang penting, seperti plastisitas yang berperan sebagai pengikat dalam proses pembentukan agar tidak retak atau berubah bentuk. Tanah liat juga memiliki kemampuan untuk terbakar pada suhu tinggi (Laintarawan, 2009). Tanah liat mengandung unsur kimia yang hampir sama dengan semen, antara lain aluminium (Al), silika (Si), kalsium oksida (CaO), oksida besi (FeO), dan magnesium oksida (MgO), yang memberikan ikatan dan berperan penting dalam pengerasan beton.

Dalam penelitian ini, enam variasi agregat ringan buatan dari tanah liat dirancang untuk digunakan dalam campuran beton. Sebelum digunakan untuk pencampuran, tanah liat terlebih dahulu dibentuk menjadi bola-bola kecil (pelet) berukuran 20 mm dan digunakan sebagai agregat kasar. Setelah itu, tanah liat dibakar pada suhu  $800\text{-}900^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan *superplasticizer* sebagai aditif untuk meningkatkan kuat tekan beton.

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh pemanfaatan agregat ringan buatan dari tanah liat sebagai pengganti sebagian agregat kasar pada beton ringan?

2. Berapa kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang dibuat dengan agregat ringan buatan dari tanah liat?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Beton dengan menggunakan agregat ringan buatan dari tanah liat dimaksudkan untuk menghitung kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan struktural pada umur 28 hari.
2. Untuk mengetahui nilai berat jenis beton dengan menggunakan agregat ringan buatan dari tanah liat sehingga bisa memenuhi spesifikasi untuk beton ringan.

### **1.4. Batasan Masalah**

1. Tanah liat yang digunakan berasal dari Dusun Sidoharjo, Kecamatan Natar, Lampung Selatan.
2. Agregat ringan buatan dari tanah liat dibuat melalui proses pembakaran dengan menggunakan tungku di tempat kerajinan gerabah Dusun Sidoharjo.
3. *Superplasticizer* yang digunakan dengan merk Sika Visconcrete-10 3115N.
4. Perhitungan *mix design* menggunakan metode ACI 211.2-98.
5. Dalam penelitian ini digunakan sampel sebanyak 36 silinder beton dengan 6 variasi yang masing-masing variasi terdiri dari 6 sampel sebagai benda uji. Dengan diameternya 15 cm dan tinggi 30 cm.
6. Kuat tekan rencana adalah 20 MPa.
7. Uji tekan dan uji tarik belah dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari.
8. Beton dibuat dengan semen PCC merek Semen Padang, agregat halus dan kasar dari Gunung Sugih, dan air dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.

9. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.

10. Berikut komposisi campuran benda uji dan kode benda uji:

Tabel 1. Komposisi dan Kode Benda Uji

No	Kode Benda Uji	Persentase Agregat Kasar	Persentase Agregat Ringan Buatan dari Tanah Liat	Uji Tekan	Uji Tarik Belah
1	BRT0	100%	0%	3	3
2	BRT1	80%	20%	3	3
3	BRT2	60%	40%	3	3
4	BRT3	40%	60%	3	3
5	BRT4	20%	80%	3	3
6	BRT5	0	100%	3	3
		<b>Jumlah</b>		18	18
		<b>Jumlah keseluruhan</b>		<b>36 sampel</b>	

### 1.5. Manfaat Penelitian

1. Hasil penelitian ini diterapkan untuk pemahaman lebih lanjut tentang karakteristik beton ringan dan untuk menentukan pengaruh tanah liat sebagai agregat ringan buatan pada struktur beton ringan.
2. Ikut serta mengembangkan teknologi material untuk ilmu struktur, khususnya dalam pembuatan beton ringan struktural menggunakan agregat ringan buatan dari tanah liat.
3. Dapat dijadikan sebagai sumber atau referensi untuk penelitian berikutnya.

### 1.6. Hipotesis Penelitian

Berbeda dengan beton yang dibuat dengan agregat kasar (*split*), hipotesis penelitian ini adalah bahwa penggunaan agregat ringan buatan dari tanah liat akan menurunkan berat jenis beton dan akan menghasilkan beton ringan struktural dengan kuat tekan dan kuat tarik belah yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

## 1.7. Sistematika Penulisan Skripsi

Secara umum, penulis menggunakan sistematika penulisan berikut untuk penyelesaian skripsi ini:

- BAB I PENDAHULUAN  
Berisikan mengenai latar belakang penyusunan skripsi, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis penelitian dan sistematika penulisan skripsi.
- BAB II TINJAUAN PUSTAKA  
Berisikan tentang kajian teori dan penelitian terkait yang berhubungan dengan judul skripsi yang penulis kerjakan.
- BAB III METODE PENELITIAN  
Berisikan tentang lokasi penelitian, diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, langkah-langkah pembuatan beda uji dan analisis data.
- BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN  
Berisikan tentang hasil uji material, hasil pengujian *workability* beton, berat volume, pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton.
- BAB V PENUTUP  
Berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium.
- DAFTAR PUSTAKA  
Berisi referensi yang digunakan untuk penyelesaian skripsi.
- LAMPIRAN  
Berisikan data-data dan gambar pendukung.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis lebih ringan dari beton biasa. Selain itu, bahan konstruksi ringan seperti *fly ash*, batu apung, dan tanah liat dapat digunakan untuk membuat beton ringan. Campuran semen, asam silikat, pozzolan, atau semen dengan bahan kimia yang menghasilkan gelembung udara dikenal sebagai beton ringan (Ngabdurrochman, 2009).

Menurut SNI 03-3449-2002, berdasarkan kuat tekannya, massa beton, dan agregat yang digunakan, beton ringan diklasifikasikan pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Massa Beton dan Jenis Agregat

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (Kg/m <sup>3</sup> )	
Struktural:			Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan batu serpih, batu apung, batu sabak, terak besi atau abu terbang;
– Minimum	17,24	1400	
– Maksimum	41,36	1850	
Struktural Ringan:			Agregat ringan alami seperti skoria atau batu apung;
– Minimum	6,89	800	
– Maksimum	17,24	1400	
Struktural sangat ringan sebagai isolasi:			Perlit atau vermikulit
– Minimum	-	-	
– Maksimum	-	800	

(Sumber: SNI 03-3449-2002)



Dalam pembuatan beton ringan, agregat disiapkan ke keadaan SSD sebelum pencampuran karena agregat ringan sering memiliki kapasitas penyerapan air yang tinggi, menyebabkan beton mengeras dengan cepat hanya dalam beberapa menit setelah pencampuran. Saat pencampuran, agregat dan air yang digunakan harus digabungkan sebelum menambahkan semen (Kardiyono, 1992).

Berdasarkan berat jenis, kekuatan, dan jenis agregat ringan yang digunakan, beton ringan dibedakan menjadi tiga kategori (Prawito, 2010). Klasifikasi beton ringan adalah sebagai berikut:

1. Beton Insulasi (*Insulating Concrete*)

Beton ringan dengan berat jenis  $300 \text{ kg/m}^3$  hingga  $800 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan berkisar antara 0,69 hingga 6,89 MPa. Beton jenis ini sering digunakan sebagai beton penahan panas (isolasi termal) atau sebagai beton dengan densitas yang lebih rendah. Beton ini sering digunakan untuk tujuan insulasi karena konduktivitas panasnya yang rendah. *Perlite* dan *vermiculite* adalah jenis perekat yang paling sering digunakan.

2. Beton Ringan Dengan Kekuatan Sedang (*Moderate Strength Concrete*)

Pada umumnya bahan konstruksi ringan atau *filler* terbuat dari beton ringan dengan berat jenis antara 800 dan  $1440 \text{ kg/m}^3$ . Beton ini terbuat dari bahan ringan buatan termasuk terak, abu terbang, tanah liat, batu tulis serta bahan ringan alami seperti batu apung dan tufa. Beton ini biasanya memiliki ketahanan tekanan pada kisaran 6,89 hingga 17,24 MPa.

3. Beton Struktural (*Structural Concrete*)

Bila digunakan sebagai bahan konstruksi, beton ringan dengan berat antara 1440 dan  $1850 \text{ kg/m}^3$  dapat memenuhi persyaratan setelah 28 hari dan memiliki kuat tekan lebih dari 17,24 MPa. Agregat kasar seperti *shale*, *clay* dan *slag* dapat digunakan untuk mencapai ketahanan tekanan yang diinginkan.

Menurut Kardiyono (1992), pada dasarnya beton ringan dibuat dengan menambahkan gelembung udara ke dalam campuran beton. Oleh karena itu, teknik berikut dapat digunakan untuk menghasilkan beton ringan:

1. Membuat gelembung udara dalam campuran semen. Beton akan mengembangkan banyak pori-pori udara sebagai hasilnya.
2. Menggunakan agregat ringan, seperti batu apung dan tanah liat bakar. Ini akan membuat beton yang dibuat lebih ringan dari beton biasa.
3. Membuat beton tanpa agregat halus. Satu-satunya komponen beton ini, sering dikenal sebagai beton non-pasir, adalah semen dan agregat kasar (menggunakan butir maksimum agregat kasar 20 mm atau 10 mm).

Keunggulan beton ringan adalah sebagai berikut:

1. Karena beton ringan umumnya lebih ringan dari beton konvensional, penerapannya pada bangunan dapat secara drastis mengurangi berat bangunan itu sendiri.
2. Tidak mentransfer panas  
Nilai isolasi beton ringan 3-6 kali lebih besar dari bata dan 10 kali lebih besar dari beton biasa.
3. Tahan api  
Karena konduktivitas termalnya yang rendah, beton ringan sangat efektif untuk melindungi bangunan dari dampak kebakaran.
4. Kedap suara yang baik atau tahan suara
5. Mudah dikerjakan  
Beton yang ringan mudah dibor, digergaji, dan dipaku. Karena itu, beton ringan mudah dibuat dan mudah diperbaiki di tempat tanpa membahayakan komponen lainnya.
6. Tahan lama  
Keawetan beton ringan struktural mirip dengan beton biasa.
7. Harga murah  
karena bobotnya yang kecil dan kegunaan perbandingan kekuatan tekan dan berat jenis. Ini dapat menggunakan lebih sedikit tulangan dengan menggunakan beton ringan.

Sedangkan memiliki nilai kuat tekan yang rendah merupakan kekurangan dari beton ringan. Oleh karena itu diperlukan tulangan baja jika digunakan untuk konstruksi struktur.

Berdasarkan SNI 2461:2014, persyaratan sifat fisik, persyaratan kuat tekan, dan persyaratan kuat tarik belah beton yang dihasilkan adalah sebagai berikut untuk agregat ringan untuk beton struktural.

Tabel 3. Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Densitas Keseimbangan Terhitung maks, kg/m <sup>3</sup> (lb/ft <sup>3</sup> )	Kekuatan Tarik Belah 28 Hari, Rata-Rata, min, MPa (psi)	Kekuatan Tekan 28 Hari, Rata-rata, min, MPa (psi)
<b>Agregat Ringan Semua</b>		
1760 (110)	2,2 (320)	28 (4000)
1680 (105)	2,1 (300)	21 (3000)
1600 (100)	2,0 (290)	17 (2500)
<b>Kombinasi dari Agregat Berat Normal dan Ringan</b>		
1840 (115)	2,3 (330)	28 (4000)
1760 (110)	2,1 (310)	21 (3000)
1680 (105)	2,1 (300)	17 (2500)

(Sumber: SNI 2461:2014 Tabel 3)

Tabel 4. Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural

No	Sifat Fisis	Persyaratan
1	Berat jenis	1,0-1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum:	
	– Gembur kering (Kg/cm)	1120
	– Agregat halus	880
	– Agregat kasar	1040
	– Campuran agregat kasar dan halus	60
4	Nilai persentase volume padat (%)	9-14
5	Nilai 10% kehalusan (ton)	-
6	Nilai bagian yang terapung setelah direndam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah ( <i>clay dump</i> ) (%)	< 1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16-18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

(Sumber: SNI 2461:2014 Tabel 2)

Campuran beton yang digunakan dalam agregat ringan penelitian ini dibuat menjadi enam variasi yang berbeda. Tanah liat digiling terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai campuran yang akan digunakan; Untuk

digunakan sebagai agregat kasar, tanah liat dibentuk menjadi bola-bola kecil (pelet) berdiameter 20 mm. Tanah liat tersebut kemudian dikeringkan terlebih dahulu hingga berwarna coklat keabu-abuan, kemudian dibakar selama dua jam pada suhu 800–900°C.

## 2.2. Bahan Penyusun Beton Ringan Struktural

Bahan seperti semen, agregat halus, agregat kasar, air, *superplasticizer*, dan agregat pengganti, seperti tanah liat sebagai pengganti agregat kasar (*split*) digunakan dalam pembuatan beton ringan struktural.

### 2.2.1. Semen

Untuk memadatkan partikel-partikel agregat dan mengisi celah-celah antara material partikulat, maka digunakan semen. Semen *portland* adalah jenis semen yang sering digunakan dalam produksi beton. Komposisi dasar semen *portland* terdiri dari kalsium, silika, aluminium, dan besi oksida. Tabel 5 menunjukkan unsur-unsur yang menyusun semen.

Tabel 5. Komposisi Kimia Dasar Semen *Portland*

Oksida	Persentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO <sub>2</sub> )	17 – 25
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3 – 8
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,5 – 6
Magnesium (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1 – 2
Soda/Potash (Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O)	0,5 – 1

(Sumber: Tjokrodinuljo, 1996)

Semen *portland* diklasifikasikan menjadi 5 jenis seperti yang ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Jenis-jenis Semen *Portland*

Jenis Semen	Karakteristik Umum
Jenis I	Semen <i>portland</i> untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus.
Jenis II	Semen <i>portland</i> yang aplikasinya membutuhkan ketahanan terhadap garam dan panas yang tidak tertahankan dalam jumlah sedang.
Jenis III	Semen <i>portland</i> yang penggunaannya memerlukan persyaratan ketahanan awal yang tinggi setelah pengikatan.
Jenis IV	Semen <i>portland</i> yang digunakan membutuhkan suhu hidrasi yang rendah.
Jenis V	Semen <i>portland</i> membutuhkan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

(Sumber: Tjokrodimuljo, 1996)

OPC (*Ordinary Portland Cement*) atau Semen *portland* tipe I adalah semen hidrolis yang dibuat dengan cara menggiling klinker semen dan *gypsum*. Semen ini digunakan untuk bangunan bertingkat, perumahan, jembatan dan jalan raya bandara, beton prategang, bendungan saluran irigasi, dan elemen bangunan seperti genteng, batu bata, *paving block*, buis beton, roster, dan lain-lain dengan kuat tekan yang tinggi (tidak diperlukan persyaratan khusus).

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*). Berdasarkan SNI 15-7046-2004, semen PCC adalah pengikat hidrolik yang dibuat dengan menggabungkan terak dan gipsum dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau dengan menggabungkan bubuk semen *portland* dengan bubuk anorganik lainnya. Terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat, dan batu kapur adalah contoh bahan anorganik, dengan kandungan anorganik berkisar antara 6% hingga 35% dalam semen *portland* komposit. Pekerjaan beton, pasangan bata, drainase, jalan, pagar, dan komponen konstruksi khusus seperti beton pracetak, beton prategang, pelat beton, *paving brick*, dan lain-lain semuanya dapat dilakukan dengan semen *portland* komposit.

### 2.2.2. Agregat Halus

Menurut L. J. Murdock (1999), pasir atau agregat halus adalah agregat yang dapat lolos saringan uji (ukuran butir 5 mm). Pasir adalah hasil alami dari pemecahan batu awal, dan dapat ditemukan di dekat atau jauh dari lokasi aslinya karena terseret oleh air atau angin dan mengendap di suatu tempat. Pasir yang digunakan dalam campuran beton dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk sungai atau kegiatan konstruksi (seperti pemecah batu). Kontaminasi tanah galian dibersihkan terlebih dahulu, biasanya tanah tajam, keropos, bersudut, dan bebas garam.

### 2.2.3. Agregat Kasar

Menurut ASTM C33-03 dan ASTM C125-07, agregat kasar adalah agregat dengan ukuran partikel lebih besar dari 4,75 mm. Di antara peraturan agregat kasar adalah:

1. Harus terbuat dari partikel yang keras dan tidak berpori.
2. Butiran agregat kasar harus tahan lama. Dengan kata lain, ketika terkena unsur-unsur seperti panas matahari dan hujan, tidak akan rusak atau hancur.
3. Harus bebas dari zat-zat yang merusak beton. Zat yang relatif basa.
4. Seharusnya tidak mengandung lebih dari 1% Lumpur. Jika kandungan lumpur melebihi 1%, agregat kasar harus dibersihkan. Spesifikasi standar ASTM C 33-03 standar yang direkomendasikan untuk beton agregat mencakup persyaratan untuk rasio ayakan campuran beton. Prosedur pengujian lainnya juga didasarkan pada standar yang direkomendasikan ASTM. Agregat kasar adalah bahan yang menahan butiran dalam saringan 4,75 mm (No. 4).

Tabel 7. Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

<b>Diameter Saringan (mm)</b>	<b>Persen Lolos (%)</b>	<b>Gradasi Ideal (%)</b>
25,00	100	100
19,00	90 – 100	95
12,50	-	-
9,50	20 – 55	37,5
4,75	0 – 10	5
2,36	0 – 5	2,5

(Sumber: ASTM C 33 – 03)

Agregat kasar dengan rongga yang besar tidak boleh digunakan dalam campuran beton. Karena agregat tidak padat, hal ini dapat berpengaruh pada kuat tekan beton. Karena ini biasanya sesuai dengan nilai keausan, tingkat penyerapan air juga tinggi. Namun, jika pori-pori kecil, tingkat penyerapan air rendah.

#### 2.2.4. Air

Air diperlukan dalam produksi beton untuk memulai proses kimia semen, membasahi agregat, dan memudahkan pekerjaan beton. Akibatnya, fungsi air dalam campuran beton adalah untuk mendukung reaksi kimia yang memulai proses pengikatan dan membuat pekerjaan dengan campuran semen dan agregat menjadi lebih mudah.

Mulyono (2004), menyatakan bahwa secara umum air minum dapat digunakan sebagai campuran beton. Penggunaan air dalam campuran beton yang mengandung senyawa berbahaya yang terkontaminasi garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya dapat menurunkan kualitas beton dan bahkan mengubah sifat-sifatnya.

Untuk air yang tidak memenuhi syarat mutu kuat beton dalam waktu 7 atau 28 hari, kuat tekan beton yang menggunakan air biasa/suling minimal harus 90% (SNI 03-2847-2002). SNI 03-2847-2002 mengatur persyaratan kualitas air yaitu sebagai berikut:



1. Air yang digunakan dalam adukan beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang dapat merusak struktur, seperti minyak, oli, asam, basa, garam, dan zat organik.
2. Kecuali kualitas air telah diuji, air minum tidak boleh digunakan pada beton.
3. Rasio campuran beton harus dipilih berdasarkan campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

Berdasarkan uraian di atas, air yang dapat digunakan sebagai campuran beton adalah air hujan, air tanah, air permukaan, air laut, dan air limbah sepanjang memenuhi persyaratan mutu yang ditentukan.

#### 2.2.5. Superplasticizer

*Superplasticizer* adalah bahan tambahan kimia yang dapat memecah gumpalan dalam pasta semen dengan melapisinya. Ini memastikan bahwa semen didistribusikan secara merata ke seluruh campuran beton dan dapat meningkatkan kemudahan (*workability*) beton.

#### 2.2.6. Tanah Liat

Tanah liat adalah zat yang terdiri dari partikel yang sangat kecil, terutama kaolinit, mineral yang terdiri dari aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ), dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Tabel 8 menunjukkan komposisi unsur-unsur kimia yang ditemukan dalam tanah liat.

Tabel 8. Komposisi Unsur Kimia Tanah Liat (Lempung)

Unsur/Senyawa	Persentase (%)
Silika ( $\text{SiO}_2$ )	$\pm 59,14$
Aluminium Karbonat ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	$\pm 15,34$
Besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	$\pm 0,69$
Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ )	$\pm 0,51$
Natrium Oksida ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	$\pm 0,38$
Magnesium Oksida ( $\text{MgO}$ )	$\pm 0,35$
Kalium ( $\text{K}_2\text{O}$ )	$\pm 0,11$
Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )	$\pm 0,12$

Mineral tanah liat/lempung merupakan penyusun batuan sedimen dan penyusun utama dari tanah. Tanah liat/lempung memiliki sifat fisik dan kimia yang signifikan, seperti plastisitas yang bertindak sebagai pengikat selama pembentukan untuk mencegah retak atau deformasi, dan kemampuan bakar pada suhu tinggi. Tanah liat diklasifikasikan sebagai pozzolan karena mengandung unsur-unsur tingkat tinggi yang tercantum dalam tabel 8 dan mampu bereaksi kuat dengan kapur (Laintarawan, 2009).

### 2.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah salah satu karakteristik kinerja utamanya. Kuat tekan beton didefinisikan sebagai kemampuannya untuk menyerap gaya tekan per satuan luas. Meskipun beton memiliki tegangan tarik yang kecil, semua tegangan tekan diasumsikan ditopang olehnya (Mulyono, 2003). Uji kubus/silinder dapat digunakan untuk menentukan kuat tekan. Berdasarkan SNI 1974-2011, kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

$f'c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$P$  = Gaya tekan aksial (N)

$A$  = Luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

### 2.4. Kuat Tarik Belah Beton

Salah satu parameter kekuatan beton yang terpenting adalah kuat tarik belah. Pengujian tekan di laboratorium menggunakan pembebanan lateral masing-masing benda uji silinder sampai kekuatan maksimumnya menghasilkan nilai kekuatan tarik belah. Pengujian dapat dilakukan pada skala tertentu dengan benda uji yang bervariasi dalam kondisi, jenis, beban, dan ukuran.

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah benda uji berbentuk silinder yang bekerja secara merata sepanjang diameternya. Benda uji akan pecah ketika kekuatan tarik belah tercapai. Berdasarkan SNI 03-2491-2002, persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung kekuatan tarik belah.

$$f_{ct} = \frac{2 P}{\pi L D}$$

Keterangan:

$f_{ct}$  = Kuat tarik belah beton (MPa)

P = Beban uji maksimum (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

$\pi$  = Phi (22/7)

## 2.5. Penelitian Terkait

### 2.5.1. Studi Kuat Tekan Beton Beragregat Ramah Lingkungan

Widyawati (2011) telah melakukan penelitian tentang studi kuat tekan beton beragregat ramah lingkungan. Pada penelitian ini digunakan sampel beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Metode *mix design* yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Dreux-Corrise* dengan jumlah sampel sebanyak 15 buah, 3 sampel untuk pengujian kuat tekan 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 6 sampel untuk pengujian kuat tekan beton 28 hari.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, nilai kuat tekan rata-rata untuk pengujian 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari berturut-turut adalah 7,76 MPa, 9,62 MPa, 15,43 MPa, dan 21,88 MPa. Kuat tekan beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng adalah 21,88 MPa (umur 28 hari), jauh di bawah kuat tekan rencana 27 MPa. Dapat disimpulkan bahwa dari segi berat volume padat yang dipersyaratkan, beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng tidak termasuk dalam kategori beton ringan,

meskipun agregat yang digunakan adalah agregat ringan, sedangkan hasil penelitian tidak mencapai kuat tekan rencana, kuat tekan agregat ramah lingkungan termasuk beton struktur.

### **2.5.2. Penggunaan Agregat Kasar Buatan dari Tanah Liat Bakar Asal Kalimantan pada Beton Ringan**

Basrie (2002) telah melakukan penelitian mengenai penggunaan agregat kasar buatan dari tanah liat yang dibakar pada beton ringan. Pada penelitian ini digunakan 36 sampel beton silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Untuk tanah liat diambil dari wilayah Balikpapan Kalimantan Timur. Agregat kasar dari tanah liat yang dibakar dibentuk menjadi bentuk-bentuk sudut hingga ukuran 2 cm, kemudian dikeringkan dan dibakar pada berbagai suhu 500°C, 700°C dan 900°C selama 4,5 jam dan 30 menit pada suhu yang diinginkan. Selain tanah liat, adapun penambahan agregat berupa abu sekam sebanyak 5%, 10% dan 15% terhadap volume agregat. Pada saat beton berumur 28 hari, dilakukan pengujian kuat tekan silinder.

Menurut hasil penelitian, agregat kasar buatan yang terbuat dari tanah liat ini memiliki nilai keausan yang tinggi antara 61,96% hingga 96,84%, dan daya serap air antara 20,83% hingga 25%. Temperatur pembakaran yang lebih tinggi dan pembakaran agregat yang lebih seragam memberikan nilai keausan dan penyerapan air yang lebih rendah. Semakin tinggi suhu pembakaran agregat, semakin seragam pembakaran, dan semakin tinggi nilai berat jenis. Pada penelitian ini berat jenis agregat kasar yang terbuat dari tanah lempung bakar berkisar antara 1,8182 gr/cm<sup>3</sup> sampai dengan 1,9512 gr/cm<sup>3</sup>. Beton dengan agregat kasar buatan dari tanah liat yang dibakar cenderung mencapai kuat tekan yang lebih tinggi ketika suhu pembakaran yang lebih tinggi. Kuat tekan yang diperoleh berkisar antara 98,0400 kg/cm<sup>2</sup> dan 172,6770 kg/cm<sup>2</sup> dan tergolong beton non struktural. Beton agregat kasar buatan yang terbuat dari tanah liat bakar memiliki berat volume

antara  $1,8836 \text{ g/cm}^3$  dan  $1,9024 \text{ g/cm}^3$  dan oleh karena itu masih merupakan beton ringan. Penambahan agregat kasar abu sekam padi cenderung menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi karena abu sekam padi berperan sebagai pengisi dan membuat agregat menjadi lebih padat.

### **2.5.3. Analisis Agregat Kasar Buatan Dari Tanah Liat Bakar Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Adukan Beton**

Fauzi (1998) telah melakukan penelitian tentang analisis agregat kasar buatan dari tanah liat bakar sebagai pengganti agregat kasar pada adukan beton. Tanah liat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari desa Bangunjiwo, Kasihan, Bantul. Agregat kasar lempung dibakar pada temperatur berkisar antara  $800^\circ\text{C}$  sampai  $1000^\circ\text{C}$ . Sampel beton yang digunakan berbentuk kubus dengan dimensi panjang, lebar, dan tinggi 15 cm berjumlah 60 sampel, dengan masing-masing variasi temperatur pembakaran 20 sampel. Kuat tekan beton diuji pada umur 28 hari.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan tekanan rata-rata sebesar  $14,0077 \text{ MPa}$  pada suhu operasi  $800^\circ\text{C}$ , tekanan rata-rata  $16,7866 \text{ MPa}$  diperoleh pada suhu operasi  $900^\circ\text{C}$ , dan tekanan rata-rata sebesar  $17,7289 \text{ MPa}$ . Diperoleh pada suhu operasi  $1000^\circ\text{C}$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kekuatan tekanan tanah meningkat sebanding dengan suhu agregat.

### **2.5.4. Pengaruh Penggunaan *Silica Fume* Pada Beton Ringan Dengan Agregat Kasar Gerabah**

Ligawan (2016) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan *silica fume* pada beton ringan dengan agregat kasar gerabah. Sampel beton yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, serta pengujian kuat tekan, kuat

tarik belah, serapan air, dan modulus elastisitas dilakukan pada umur 14, 28, dan 56 hari. Penelitian ini diawali dengan pemilihan jenis lempung untuk agregat, dilanjutkan dengan pembentukan (proses produksi agregat) dan pembakaran hingga mengeras. Agregat kasar ringan diuji sesuai dengan ASTM C330-89.

Setelah dilakukan pengujian campuran beton, dibuat lagi dengan *superplasticizer* kadar 0,2% berat semen dan *silica fume* kadar 0%, 3%, 6,5%, dan 10% berat semen.

Menurut hasil penelitian, berat volume lebih besar dari  $1920 \text{ kg/m}^3$ , dan beton dalam penelitian ini belum tergolong beton ringan. Penambahan *silica fume* 0%, 3%, 6,5%, dan 10% pada berat semen menghasilkan kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari berturut-turut sebesar 12.633 MPa, 12.162 MPa, 20.929 MPa, dan 18.667 MPa, dan kuat tarik belah masing-masing sebesar 1,5509 MPa, 1,8214 MPa, 1,5381 MPa, dan 1,9563 MPa. Berdasarkan hasil kuat tekan beton dan modulus elastisitas dapat disimpulkan bahwa semakin besar kuat tekan beton maka semakin besar nilai modulus elastisitas beton tersebut. Karena beton dalam penelitian ini memiliki tingkat penyerapan air lebih dari 5% akibat penggunaan agregat kasar gerabah, maka tergolong beton tidak tahan air.

### **III. METODE PENELITIAN**

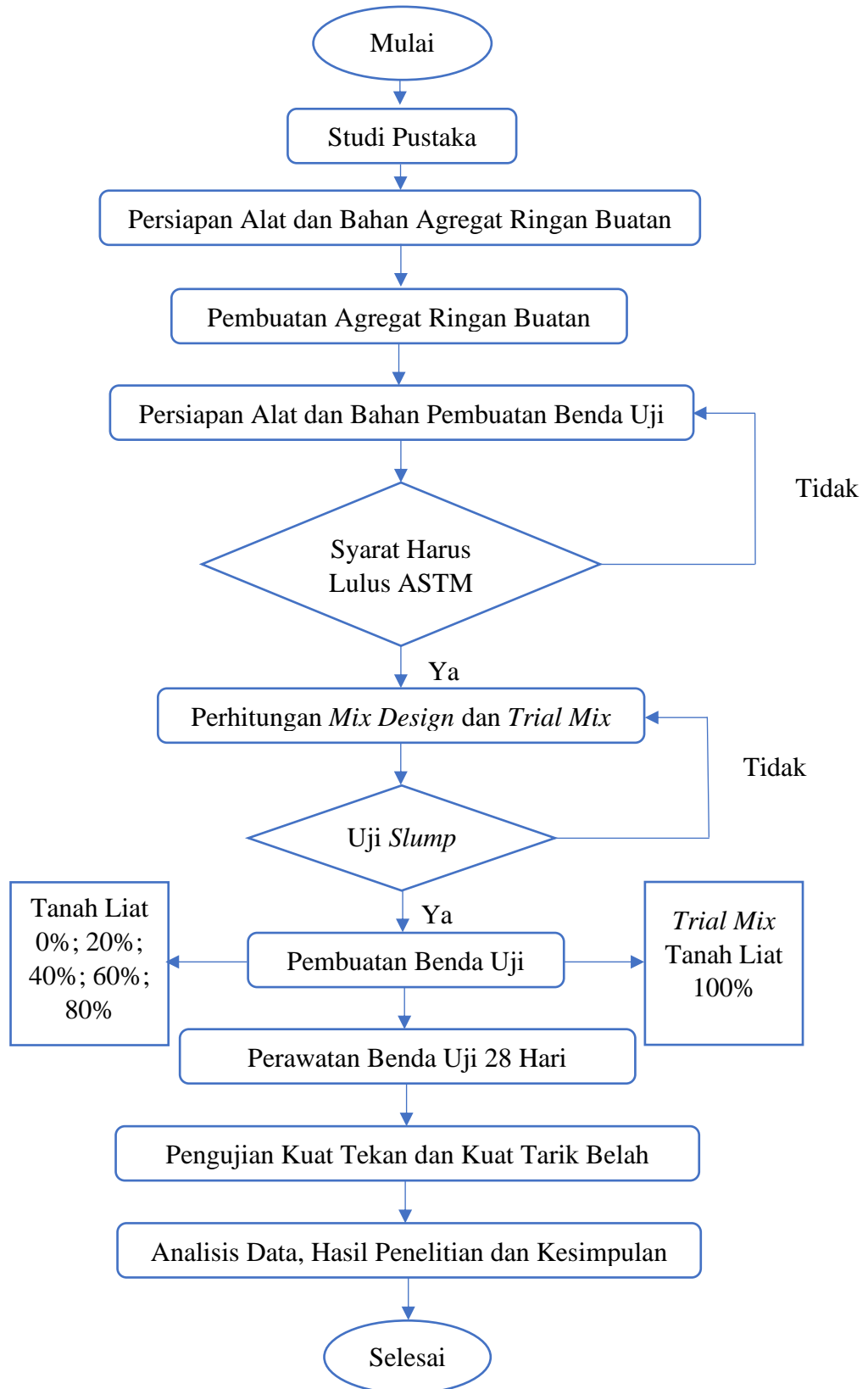
Metode penelitian yang akan dilakukan adalah studi eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data dan hasil penelitian yang dibutuhkan. Bahan dasar tanah liat diambil dari Dusun Sidoharjo Kecamatan Natar Kabupaten Lampung Selatan. Benda uji adalah 36 silinder beton berukuran 150 mm x 300 mm. Enam variasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik agregat yaitu agregat ringan buatan dari tanah liat sebagai pengganti *split* dan penggunaan bahan tambah (*superplasticizer*) untuk meningkatkan kuat tekan beton serta meningkatkan *workability* beton. Untuk setiap variasi dibuat enam benda uji, tiga benda uji tekan dan tiga benda uji kuat tarik belah beton, dan pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Metode standar ACI 211.2-98 untuk memilih proporsi untuk beton ringan struktural digunakan untuk perhitungan desain campuran.

#### **3.1. Lokasi Penelitian**

Penelitian dengan judul beton ringan struktural dengan memanfaatkan agregat buatan dari tanah liat dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.

#### **3.2. Diagram Alir Penelitian**

Gambar 1 menggambarkan alur penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.



### 3.3. Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum melakukan penelitian perlu dipersiapkan terlebih dahulu semua peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini. Alat dan bahan berikut diperlukan untuk penelitian ini:

#### 3.3.1. Alat

##### 3.3.1.1. *Oven*

*Oven* adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mengeringkan bahan yang akan diuji. *Oven* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas suhu maksimum 110° C dan daya 2800 watt.

##### 3.3.1.2. *Infrared Thermometer* 1000 °C

*Infrared Thermometer* yang digunakan adalah dengan suhu maksimum 1000 °C. Alat ini digunakan untuk mengukur suhu saat proses pembakaran tanah liat.

##### 3.3.1.3. Mesin *Los Angeles*

Mesin *los angeles* digunakan untuk mengukur keausan dari agregat ringan (tanah liat bakar).

##### 3.3.1.4. Satu set saringan

Pada penelitian ini digunakan ayakan dengan diameter 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,02 mm, dan pan. Alat ini digunakan untuk memisahkan agregat halus dan kasar secara gradasi.

##### 3.3.1.5. Timbangan

Timbangan adalah alat yang digunakan untuk menentukan massa suatu bahan yang akan digunakan. Timbangan digital elektrik dengan kapasitas 30 kg dan ketelitian 0,1 digunakan dalam penelitian ini.

#### 3.3.1.6. Piknometer

Piknometer adalah alat yang digunakan untuk menentukan kandungan bahan organik dan berat jenis agregat halus.

#### 3.3.1.7. Gelas ukur 1000 cc

Gelas ukur 1000 cc adalah wadah dan alat ukur yang digunakan untuk menentukan volume air yang dibutuhkan untuk analisis kadar lumpur dan analisis berat jenis agregat halus (*specific gravity*).

#### 3.3.1.8. Cetakan kerucut pasir

Cetakan kerucut pasir merupakan alat yang digunakan untuk melihat kondisi SSD dari pasir (*Saturated Surface Dry*).

#### 3.3.1.9. Bejana silinder

Bejana silinder adalah alat yang digunakan untuk pengujian berat volume pada agregat halus dan kasar. Terdapat 2 bejana yang digunakan yaitu bejana yang berkapasitas 5 liter digunakan untuk pengujian berat volume agregat halus dan bejana yang berkapasitas 10 liter digunakan untuk pengujian berat volume agregat kasar.

#### 3.3.1.10. *Concrete Mixer*

*Concrete mixer* adalah alat yang digunakan untuk mencampur semua material. Alat *concrete mixer* yang digunakan pada penelitian ini adalah molen mini yang memiliki kapasitas maksimal yaitu 0,125 m<sup>3</sup> yang memiliki kecepatan 20-30 putaran permenit.

#### 3.3.1.11. Satu set alat *slump test*

Alat yang dipakai yaitu satu set kerucut *abrams* yang berdiameter atas 102 mm, diameter bawah 203 mm, tinggi 305 mm dan *base plate* memiliki tebal 3 mm dengan ukuran 900 x 900 mm. Alat ini digunakan untuk menguji *workability* beton yang telah memenuhi syarat *slump test*.

#### 3.3.1.12. Meteran

Alat meteran digunakan dalam mengukur tinggi *slump test* pada pengujian *slump test* beton ringan struktural.

#### 3.3.1.13. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji adalah alat untuk mencetak beton dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Benda uji berbentuk silinder yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

#### 3.3.1.14. Bak perendam

Bak perendaman adalah alat yang digunakan selama proses perawatan beton. Hal ini dilakukan untuk menjaga kelembaban beton agar tidak terlalu cepat kehilangan air.

#### 3.3.1.15. *Compression Testing Machine* (CTM)

Mesin uji tekan (CTM) adalah mesin yang mengukur kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

#### 3.3.1.16. Alat bantu

Alat bantu adalah alat yang digunakan untuk membantu dan memperlancar penelitian, seperti kode warna, sekop, pelat, sendok semen, ember, *container*, *trolley*, *stopwatch* dan alat tulis.

### 3.3.2. Bahan

#### 3.3.2.1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan dalam penelitian ini untuk membuat beton ringan struktur adalah semen PPC merk Semen Padang tipe I. Semen ini diperoleh dari toko material dengan keadaan tertutup dalam kemasan berukuran (zak) 50 kg.

#### 3.3.2.2. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini harus bersih dan bebas dari kontaminan seperti minyak, lumpur, garam, gula, dan bahan kimia lainnya yang dapat menurunkan mutu beton.

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.

#### 3.3.2.3. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Gunung Sugih dan harus melewati beberapa uji ASTM, antara lain kadar air, berat jenis dan daya serap, kadar lumpur, gradasi agregat kasar, berat volume, dan kadar bahan organik dalam pasir.

#### 3.3.2.4. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Gunung Sugih dengan ukuran berkisar antara 1 sampai 2. Standar ASTM harus dipenuhi dalam beberapa pengujian, antara lain kadar air, gradasi agregat kasar, berat jenis dan serapan, serta berat volume.

#### 3.3.2.5. Tanah Liat

Tanah liat digunakan sebagai pengganti agregat kasar/kerikil. Tanah liat yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Dusun Sidoharjo, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan, dan volumenya bervariasi dari 0% hingga 20%, 40% hingga 60%, 80% hingga 100% dari agregat kasar yang digunakan. Agregat kasar yang digunakan dalam campuran percobaan adalah 100% tanah liat.

#### 3.3.2.6. *Superplasticizer*

*Superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sika Visconcrete-10 3115N, yaitu 0,5% berat semen dan bertindak sebagai aditif.

### **3.4. Pembuatan Agregat Ringan**

Setelah menyiapkan semua alat dan bahan penelitian, langkah selanjutnya adalah membuat agregat ringan buatan dari tanah liat. Berikut ini adalah tahapan dalam produksi agregat ringan:

- a. Tanah liat yang akan digunakan sudah dilakukan penggilingan terlebih dahulu;
- b. Setelah proses penggilingan, tanah liat dibentuk menjadi bola-bola (pelet) berukuran 20 mm untuk digunakan sebagai agregat ringan;
- c. Tanah liat yang telah dibentuk dijemur terlebih dahulu sampai berwarna coklat keabuan;
- d. Setelah itu dibakar pada suhu 800°-900° C selama 2 jam;

### 3.5. Pembuatan Benda Uji

Setelah membuat agregat ringan dari tanah liat dan perencanaan rancangan campuran yang sesuai, maka selanjutnya adalah pembuatan benda uji. Benda uji berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Uji tekan beton dan uji tarik belah dilakukan. Setiap variasi meliputi enam benda uji yang diuji setelah umur beton 28 hari. Tabel berikut menunjukkan data dari jumlah benda uji.

Tabel 9. Jumlah Benda Uji

No	Kode Benda Uji	Persentase Agregat Kasar	Persentase Tanah Liat	Uji Tekan	Uji Tarik Belah
1	BRT 0	100%	0%	3	3
2	BRT 1	80%	20%	3	3
3	BRT 2	60%	40%	3	3
4	BRT 3	40%	60%	3	3
5	BRT 4	20%	80%	3	3
6	BRT 5	0	100%	3	3
<b>Jumlah</b>				18	18
<b>Jumlah keseluruhan</b>				<b>36 sampel</b>	

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam membuat benda uji:

- a. Pada saat pencampuran beton ringan, campuran pembentuk beton ringan secara berurutan dimasukkan ke dalam *concrete mixer*, dimulai dengan agregat ringan buatan dan agregat halus;
- b. Tambahkan semen secara bertahap setelah mencampur agregat kasar dan halus secara merata;

- c. Tambahkan air sedikit demi sedikit setelah ketiga komponen tercampur rata hingga adonan menjadi plastis;
- d. Setelah campuran bersifat plastis, selanjutnya dilakukan uji *slump* dengan menggunakan kerucut *abrams* dan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan silinder;
- e. Campuran dipadatkan dengan cara dipalu dengan menggunakan tongkat pemadat sebanyak 25 kali setelah dilakukan *slump test* pada setiap sepertiga silinder untuk menghasilkan beton yang cukup padat dan tidak berlubang;
- f. Setelah dilakukan penuangan campuran beton ke dalam cetakan silinder, cetakan didiamkan selama 24 jam;
- g. Benda uji dikeluarkan dari cetakan setelah 24 jam. Benda uji dijaga tetap lembab setiap saat sampai umur yang direncanakan, yaitu 28 hari. Untuk memastikan proses hidrasi yang berkelanjutan.

### 3.6. Pengujian *Workability* Beton Segar

*Slump test* digunakan untuk mengetahui *workability* (kelecekan) benda uji beton pada saat kondisi segar. Menurut SK-SNI-M-12-1989-F, tahapan pelaksanaan pengujian nilai *slump test* sebagai berikut:

- a. Air digunakan untuk mencuci permukaan dalam dan luar kerucut *abrams*;
- b. Di atas pelat baja letakkan cetakan kerucut;
- c. Menjaga kaki kerucut tetap di tempatnya, campuran beton dimasukkan hingga sepertiga tingginya, dan kemudian dipadatkan dengan ditumbuk 25 kali dengan tongkat besi berujung bundar;
- d. Sampai dua lapisan terakhir, pengisian selesai dan dipadatkan dengan cara yang sama seperti sebelumnya, mengisi cetakan sepenuhnya. Bagian atasnya kemudian dihaluskan dengan sendok semen;
- e. Cetakan kemudian dinaikkan secara bertahap sejajar dengan bagian atas; dan
- f. Nilai uji *slump* diukur dari penurunan ketinggian awal dan ukuran penurunan setelahnya .

### 3.7. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Benda uji dirawat dengan merendamnya dalam bak rendam selama 24 jam mengikuti prosedur pencetakan (*final setting*) dan dilanjutkan sampai pengujian pada umur 28 hari untuk beton. Tujuan dari perawatan beton adalah untuk menjaga agar permukaan beton tetap lembab sehingga kelembaban internal beton tidak menguap dan proses hidrasi dapat berjalan sebagaimana mestinya. Diamkan benda uji selama 24 jam setelah dikeluarkan dari air rendaman sebelum diuji kekuatannya.

### 3.8. Pengujian Benda Uji

Benda uji silinder beton berumur 28 hari digunakan untuk pengujian. Ada dua jenis pengujian yang berbeda, yaitu mengukur kuat tekan beton dan mengukur kuat tarik belah. Berikut ini adalah langkah-langkah pengujiannya:

a. Kuat tekan beton

Beton selanjutnya diuji kuat tekannya menggunakan benda uji berbentuk silinder. Salah satu fitur kinerja utama beton adalah kekuatan tekannya. Kapasitas beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas dikenal sebagai kuat tekan. Beton memiliki tegangan tarik yang rendah, namun harus mendukung semua gaya tekan (Mulyono, 2003). Kuat tekan dapat ditentukan dengan menggunakan uji kubus/silinder. Berdasarkan SNI 1974-2011, rumus di bawah ini dapat digunakan untuk menentukan kuat tekan beton:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

b. Kuat tarik belah beton

Uji kuat tarik belah dilakukan selain uji kuat tekan beton. Salah satu indikator penting dari kekuatan beton adalah kekuatan tarik belah. Dengan pembebanan lateral setiap benda uji silinder ke kekuatan maksimumnya selama pengujian tekan di laboratorium, nilai kekuatan tarik belah ditentukan. Dengan benda uji yang bervariasi dalam kondisi, jenis, beban, dan ukuran, pengujian dapat dilakukan pada skala tertentu. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah benda uji berbentuk silinder yang dioperasikan secara seragam pada diameternya. Benda uji akan terbelah setiap kali mencapai kekuatan tarik belah. Berdasarkan SNI 03-2491-2002, persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan kekuatan tarik belah:

$$f_{ct} = \frac{2 P}{\pi L D}$$

Keterangan:

$f_{ct}$  = Kuat tarik belah beton (MPa)

$P$  = Beban uji maksimum (N)

$L$  = Panjang benda uji (mm)

$D$  = Diameter benda uji (mm)

$\pi$  = Phi (22/7)

### 3.9. Perhitungan dan Analisis Data

Setelah pengujian, selanjutnya adalah perhitungan dan analisis data. Berikut perhitungan dan analisis data yang dilakukan:

- a. Membuat grafik hubungan antara pengaruh nilai *slump test* terhadap kadar persentase agregat ringan buatan dari tanah liat yakni 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%;
- b. Membuat grafik hubungan antara pengaruh nilai berat volume terhadap kadar persentase agregat ringan buatan dari tanah liat yakni 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%;



- c. Membuat grafik hubungan antara pengaruh nilai kuat tekan beton terhadap kadar persentase agregat ringan buatan dari tanah liat yakni 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% pada saat beton berumur 28 hari;
- d. Serta membuat grafik hubungan antara pengaruh nilai kuat tarik belah beton terhadap kadar persentase agregat ringan buatan dari tanah liat yakni 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% pada saat beton berumur 28 hari.

## V. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang menggunakan enam variasi agregat tanah liat sebagai pengganti agregat kasar:

1. Ditinjau dari hasil pengujian untuk kode BRT 5, berat volume beton adalah  $1850,32 \text{ kg/m}^3$ , yang memenuhi persyaratan berat maksimum untuk beton ringan  $1850 \text{ kg/m}^3$ . Namun untuk beton kode BRT 0 sampai dengan BRT 4 telah melebihi batas volume untuk beton ringan tetapi tidak melebihi batas berat beton normal ( $2400 \text{ kg/m}^3$ ).
2. Kuat tekan beton yang dibuat dengan menggunakan agregat ringan buatan dari tanah liat berkisar antara  $15,09 \text{ MPa}$  sampai dengan  $26,42 \text{ MPa}$ . Beton dengan kode BRT 0 sampai dengan BRT 4 masih dikategorikan sebagai beton ringan struktural jika dilihat dari nilai kuat tekan yang diperoleh. Akan tetapi beton dengan kode BRT 5 tergolong beton ringan untuk struktural ringan.
3. Kuat tarik belah beton ini tidak memenuhi kuat tarik belah yang diperlukan untuk konstruksi beton ringan yaitu  $>2 \text{ MPa}$ , sesuai dengan nilai kuat tarik belah yang diperoleh beton rata-rata dengan kode BRT 2 – BRT 5 yaitu  $1,86 \text{ Mpa}$  -  $1,65 \text{ Mpa}$ . Rata-rata kuat tarik belah beton dengan kode BRT 0 dan BRT 1 berturut-turut adalah  $2,17 \text{ MPa}$  dan  $2,08 \text{ MPa}$  sehingga nilai tersebut memenuhi spesifikasi untuk konstruksi beton ringan struktural.
4. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, penggunaan tanah liat bakar dari Dusun Sidoharjo sebagai agregat kasar dalam campuran beton dapat menurunkan kuat tekan beton dengan setiap perubahan persentase.

Komponen utama dari semua kombinasi berkurang karena tanah liat menyerap banyak air dan terdegradasi dengan cepat, menurunkan kuat tekan beton dan kuat tarik belah.

## 5.2. Saran

Untuk melengkapi dan mengembangkan tema penelitian ini, maka perlu dilakukan penelitian tambahan sebagai tindak lanjut. Penulis dapat merekomendasikan saran berikut untuk penelitian selanjutnya:

1. Ketelitian dalam mengukur, menimbang, dan membaca data yang diperoleh sangat diperlukan untuk penelitian ini karena dilakukan di laboratorium.
2. Pada saat pelaksanaan pemadatan adukan beton, harus dilakukan dengan teliti agar adukan beton tidak terjadi *bleeding*.
3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan persentase *superplasticizer* lebih dari 0,5% agar mencapai kuat tekan yang disyaratkan.
4. Disarankan untuk menggunakan agregat ringan dengan ketahanan atau nilai keausan yang lebih rendah dalam penelitian selanjutnya untuk memastikan bahwa kuat tekan dan kuat tarik belah beton memenuhi persyaratan untuk beton ringan struktural.
5. Pembakaran agregat suhu yang lebih tinggi diharapkan untuk menghasilkan penurunan berat jenis, keausan, dan nilai penyerapan air.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 33. 2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates, Annual Books of ASTM Standards*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 125. 2007. *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Books of ASTM Standards*. USA: Association of Standard Testing Materials.
- Badan Standarisasi Nasional. 1991. *SNI 03-2417-1991: Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI 03-2491-2002: Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI 03-3449-2002: Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *SNI 1974-2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2014. *SNI 2461:2014: Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Basrie, Muhammad Hasan. 2002. *Penggunaan Agregat Kasar Buatan Dari Tanah Liat Bakar Asal Kalimantan Pada Beton Ringan*. Tugas Akhir. Jogjakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Fauzi, M., dan Sunu Hadi E. S.1998. *Analisis Agregat Kasar Buatan Dari Tanah Liat Bakar Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Adukan Beton*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Laintarawan, I Putu, dkk. 2009. *Konstruksi Beton I*. Buku Ajar. Denpasar: Universitas Hindu Indonesia.

- Ligawan, Kane. 2016. *Pengaruh Penggunaan Silica Fume Pada Beton Ringan Dengan Agregat Kasar Gerabah*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Mahraz, Zubaidi. 2022. *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Genteng Sebagai Campuran Agregat Kasar Pada Beton Normal*. Skripsi. Mataram: Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Mulyadi, Asri dan Fachrul Rozi. 2017. *Pengaruh Limbah Pecahan Genteng Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Mutu Beton 16,9 MPa (K-200)*. Jurnal Teknik Sipil, 7(1).
- Mulyono, Tri. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Murdock, L. J. dan Brook, K. M. 1999. *Bahan dan Praktek Beton Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Ngabdurrochman. 2009. *Teknologi Beton Lanjut*. Makalah Tugas Mata Kuliah Teknologi Beton. Wonosobo: Universitas Sains Al-Qur'an.
- Pithaloka, Erdina Icha. 2021. *Pengaruh Penggantian Sebagian Agregat Kasar Dengan Limbah Genteng Keramik Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Dan Absorpsi Pada Beton Bersilica Fume*. Tugas Akhir. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Prawito, E. 2010. *Analisis Perbandingan Berat Jenis Dan Kuat Tekan Antara Beton Ringan Dan Beton Normal Dengan Mutu Beton 200*. Skripsi. Medan: Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Rosyid, Banu dan Ahmad Mustofa. 1995. *Analisis Kuat Tekan Beton Ringan Dengan Agregat Kasar Pecahan Genteng Dari Godean Sleman Yogyakarta*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1992. *Teknologi Beton*. Buku Ajar. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Buku Ajar. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Warsiti. 2011. *Pengaruh Pemakaian Limbah Genteng Beton Terhadap Mutu Beton Sedang*. Wahana Teknik Sipil, 16(2), 77-86.
- Widyawati, Ratna. 2011. *Studi Kuat Tekan Beton Beragregat Ramah Lingkungan*. Jurnal Rekayasa, 15(3).