

**KUAT LENTUR BALOK BETON RINGAN BERTULANG  
MENGUNAKAN AGREGAT KASAR RINGAN PECAHAN GENTENG**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**PRAYOGA PRATAMA PUTRA**

**1815011102**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

**KUAT LENTUR BALOK BETON RINGAN BERTULANG  
MENGUNAKAN AGREGAT KASAR RINGAN PECAHAN GENTENG**

**Oleh**

**PRAYOGA PRATAMA PUTRA**

**1815011102**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

**SARJANA TEKNIK**

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## **ABSTRAK**

### **KUAT LENTUR BALOK BETON RINGAN BERTULANG MENGUNAKAN AGREGAT KASAR RINGAN PECAHAN GENTENG**

**Oleh**

**PRAYOGA PRATAMA PUTRA**

Beton adalah material yang banyak digunakan sebagai elemen struktur karena memiliki kelebihan kuat dalam menahan gaya tekan, tetapi memiliki kelemahan tidak kuat dalam menahan gaya tarik dan memiliki berat volume tinggi. Solusi untuk mengatasi kelemahannya adalah dengan menggunakan baja tulangan untuk menahan gaya tarik dan menggunakan agregat kasar ringan untuk mengurangi berat volume. Penelitian ini merupakan studi eksperimental dengan melakukan substitusi agregat kasar normal menggunakan pecahan genteng untuk menghasilkan beton ringan struktural. Genteng tanah liat akan dipecah menjadi berukuran 20 mm dan digunakan sebagai substitusi dalam variasi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Sampel penelitian adalah silinder beton (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) dan balok beton bertulang (dimensi 150 mm x 150 mm x 1200 mm). Sampel dibuat sebanyak 3 buah untuk setiap variasi dan diuji pada umur 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan hasil berat volume beton terendah adalah 1868,58 kg/m<sup>3</sup> pada variasi 100% agregat kasar ringan. Didapatkan hasil kuat tekan silinder beton tertinggi sebesar 29,071 MPa dan terendah sebesar 20,054 MPa. Didapatkan hasil kuat lentur balok beton bertulang tertinggi sebesar 14,650 MPa dan terendah sebesar 11,391 MPa. Didapatkan kapasitas lentur hasil pengujian memiliki nilai lebih besar dibandingkan kapasitas lentur hasil perhitungan secara teoritis.

Kata kunci : Beton ringan, pecahan genteng, berat volume, kuat tekan, kuat lentur

## **ABSTRACT**

### **FLEXURAL STRENGTH OF REINFORCED LIGHTWEIGHT CONCRETE BEAMS USING LIGHTWEIGHT COARSE AGGREGATE : CLAY ROOF TILE**

**By**

**PRAYOGA PRATAMA PUTRA**

Concrete is a material that is commonly used as a structure element because it has a high compressive strength, but has a low tensile strength and has a high density are its weaknesses. The solution to solve its weaknesses are using reinforcement steel bar to give the tensile strength and using structural lightweight concrete to reduce the density. This research is an experimental research that is substituting normal coarse aggregates with clay roof tile fractions to make a lightweight concrete. The clay roof tile will be crushed to make a size of 20 mm and will be used as substitution in 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% proportion variations. The samples are concrete cylinders (150 mm diameter and 300 mm height) and reinforced concrete beams (150 x 150 x 1200 mm dimensions). Three samples will be made for each variation and will be tested after 28 days. Based on the result, the lowest concrete density is 1868,58 kg/m<sup>3</sup> in 100% lightweight coarse aggregate variation. The highest concrete cylinder compressive strength value is 29,071 MPa and the lowest is 20,054 MPa. The highest reinforced concrete beam flexural strength value is 14,650 MPa and the lowest is 11,391 MPa. The flexural capacity from loading test has a higher value than flexural capacity by the theoretical calculation.

Keywords : Lightweight concrete, clay roof tile, density, compressive strength, flexural strength

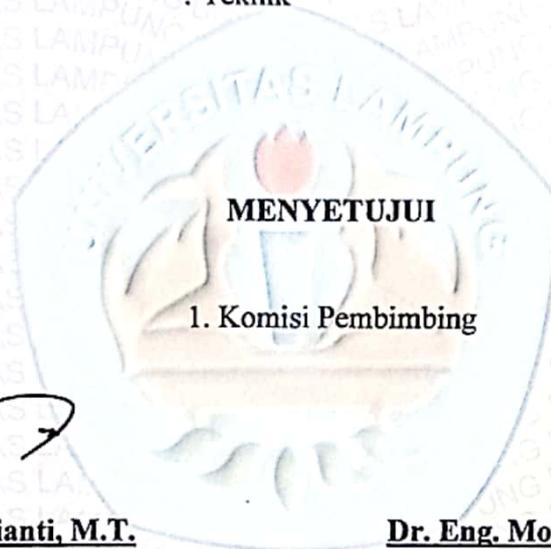
Judul Skripsi : **KUAT LENTUR BALOK BETON RINGAN  
BERTULANG MENGGUNAKAN AGREGAT  
KASAR RINGAN PECAHAN GENTENG**

Nama Mahasiswa : **PRAYOGA PRATAMA PUTRA**

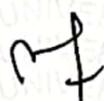
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011102

Program Studi : Teknik Sipil

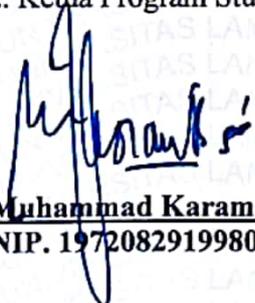
Fakultas : Teknik



  
**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**  
NIP. 196204081989032001

  
**Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.**  
NIP. 197210262000031001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

  
**Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 197208291998021001

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

  
**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**  
NIP. 196204081989032001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua

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



.....

Sekretaris

: **Dr Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.**

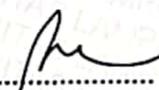


.....

Penguji

Bukan Pembimbing

: **Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T.,  
M.T., IPM, ASEAN Eng.**



.....

2. Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.** ↵

**NIP: 197509282001121002**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 5 Oktober 2023

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Prayoga Pratama Putra

NPM : 1815011102

Prodi/ Jurusan : S1 Teknik Sipil / Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Judul Skripsi : Kuat Lentur Balok Beton Ringan Bertulang Menggunakan Agregat Kasar Ringan Pecahan Genteng

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil penelitian dan pekerjaan saya sendiri, serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan di dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 5 Oktober 2023

Penulis



**PRAYOGA PRATAMA PUTRA**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada tanggal 17 September 2000 sebagai anak kedua dari Bapak Iwan Susilo dan Almh. Ibu Nelli Martha Apriza. Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Beringin Raya hingga selesai pada tahun 2006, pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Beringin Raya hingga lulus pada tahun 2012, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Bandar Lampung hingga lulus pada tahun 2015, dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 7 Bandar Lampung hingga lulus pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi di lingkungan kampus. Pada tahun 2019 hingga 2021, penulis tercatat sebagai anggota Departemen Kerohanian dan Keolahragaan pada Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS). Selama masa studi, penulis juga pernah menjadi asisten dosen untuk mata kuliah Balok Beton Bertulang serta Pelat dan Kolom Beton Bertulang.

Penulis juga telah melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung pada tahun 2021 di Desa Sinar Petir, Kecamatan Talang Padang, Kabupaten Tanggamus selama 40 hari dan telah mengabdikan ilmu yang penulis pelajari kepada masyarakat. Kemudian penulis juga telah melakukan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangunan *Showroom* Mitsubishi Fuso di Kota Bandar Lampung. Setelah itu, penulis mengambil tugas akhir skripsi dengan judul “Kuat Lentur Balok Beton Ringan Bertulang Menggunakan Agregat Kasar Ringan Pecahan Genteng” sebagai syarat kelulusan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, puji syukur kepada Allah SWT karena atas limpahan Berkah dan Karunia-Nya, skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta Salam juga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Saya persembahkan skripsi ini kepada :

### **Orangtua Tercinta**

Yang selalu memberikan dukungan moral, materil, bimbingan, dan doa yang tiada putusnya untuk penulis.

### **Kakak dan Adik Tercinta**

Yang selalu membantu, menemani, dan memberi motivasi, serta doa.

### **Dosen Pembimbing dan Penguji**

Yang sangat berjasa dalam membimbing dengan sabar, memberikan ilmunya, dan memotivasi penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi.

### **Orang Terdekat Beserta Sahabat-Sahabat**

Yang selalu memberikan dukungan dan motivasi hingga penulis tetap memiliki semangat dalam menyelesaikan studi.

### **Almamater Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Sipil**

Sebagai tempat bagi penulis mengemban ilmu untuk bekal di masa depan.

## **KATA INSPIRASI**

**“Hukum Kausalitas : Setiap akibat adalah hasil dari sebuah sebab”  
(Aristoteles)**

**“Dan barangsiapa yang bertawakkal kepada Allah niscaya Allah akan  
mencukupkan (keperluan)Nya”  
(Al-Qur’an Surah At-Thalaq (65) : 3)**

**“Maka sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”  
(Al-Qur’an Surah Ash-Sharh (94) : 5)**

## SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kuat Lentur Balok Beton Ringan Bertulang Menggunakan Agregat Kasar Ringan Pecahan Genteng” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan Terima Kasih yang sebesar-besarnya 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, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil, Universitas Lampung.
4. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dukungan, serta saran dalam penelitian ini.
5. Bapak Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang memberikan ilmu, bimbingan, dukungan serta saran dalam penelitian.
6. Ibu Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dukungan serta saran dalam penelitian ini.
7. Bapak Dr. Ofik Taupik Purwadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dan arahan selama masa studi.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung atas ilmu yang telah diberikan selama masa studi.
9. Keluarga tercinta Papi, Mami, Mbah, Tante, Kakak, Ayes, Adit, dan Putra yang selalu memberikan dukungan dan doa tiada putusnya.
10. Rahma Indah Mayang Rindiani yang selalu memberikan dukungan dan doa.

11. Sahabat-sahabatku yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu menemani dan memberikan dukungan.
12. Seluruh keluarga keduaku Angkatan 2018 Teknik Sipil Univeristas Lampung yang selalu memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 5 Oktober 2023

Penulis,

**PRAYOGA PRATAMA PUTRA**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Beton Ringan .....	5
2.2. Klasifikasi Beton Ringan .....	5
2.3. Sifat Beton Ringan .....	7
2.4. Balok Beton Bertulang.....	7
2.5. Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang.....	8
2.6. Landasan Teori.....	11
2.7. Penelitian Sebelumnya .....	12
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>15</b>
3.1. Lokasi Penelitian.....	15
3.2. Diagram Alir Penelitian .....	16
3.3. Persiapan Alat dan Bahan Penelitian .....	17
3.4. Pembuatan Agregat Kasar Ringan .....	21

3.5. Pengujian Material .....	21
3.6. Perhitungan <i>Mix Design</i> dan <i>Trial Mix</i> .....	22
3.7. Pembuatan Benda Uji .....	22
3.8. Pengujian Keleccakan.....	24
3.9. Perawatan Benda Uji.....	24
3.10. Pengujian Benda Uji .....	24
3.11. Analisis Data dan Hasil Pengujian.....	27
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1. Umum .....	28
4.2. Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Material .....	28
4.3. Hasil Perhitungan <i>Mix Design</i> dan <i>Trial Mix</i> .....	30
4.4. Hasil <i>Slump Test</i> .....	32
4.5. Berat Volume Beton .....	33
4.6. Kuat Tekan Silinder Beton.....	35
4.7. Kuat Lentur Balok Beton Bertulang .....	37
4.8. Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang.....	39
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>43</b>
5.1. Kesimpulan .....	43
5.2. Saran .....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN A – HASIL UJI MATERIAL</b>	
<b>LAMPIRAN B – PERHITUNGAN <i>MIX DESIGN</i></b>	
<b>LAMPIRAN C – HASIL UJI SAMPEL DAN PERHITUNGAN</b>	
<b>LAMPIRAN D – DOKUMENTASI PENELITIAN</b>	
<b>LAMPIRAN E – LEMBAR ASISTENSI</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	16
Gambar 3.2. Balok sederhana yang dibebani gaya $P/2$ .....	27
Gambar 3.3. Diagram momen.....	27
Gambar 4.1. Hubungan kadar agregat kasar ringan terhadap nilai <i>slump test</i> .....	32
Gambar 4.2. Hubungan kadar agregat kasar ringan terhadap berat volume beton.....	34
Gambar 4.3. Hubungan kadar agregat kasar ringan terhadap kuat tekan silinder beton.....	35
Gambar 4.4. Hubungan kadar agregat kasar ringan terhadap kuat lentur balok beton bertulang .....	37
Gambar 4.5. Perbandingan kapasitas lentur hasil pengujian terhadap kapasitas lentur secara teoritis .....	41

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1.1. Jumlah Benda Uji Setiap Variasi Pencampuran.....	4
Tabel 2.1. Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Massa Beton, dan Jenis Agregat .....	6
Tabel 2.2. Persyaratan Fisik Agregat Ringan Beton Ringan Struktural.....	7
Tabel 2.3. Komposisi Kimia Dasar Semen <i>Portland</i> .....	8
Tabel 3.1. Jumlah Benda Uji Setiap Variasi Pencampuran.....	23
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Material Agregat Halus (Pasir).....	28
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Material Agregat Kasar Normal (Batu Pecah) .....	29
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Material Agregat Kasar Ringan (Pecahan Genteng) .....	29
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Sampel <i>Trial Mix</i> .....	30
Tabel 4.5. Komposisi Material untuk 1 m <sup>3</sup> Beton.....	31
Tabel 4.6. Rekapitulasi Kebutuhan Material untuk Setiap Pencampuran .....	31
Tabel 4.7. Hasil <i>Slump Test</i> pada Setiap Pencampuran Beton.....	32
Tabel 4.8. Hasil Pengujian Berat Volume Beton .....	33
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton .....	35
Tabel 4.10. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang .....	37
Tabel 4.11. Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Hasil Pengujian .....	38
Tabel 4.12. Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Secara Teoritis.....	39
Tabel 4.13. Perbandingan Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Hasil Pengujian dengan Perhitungan Secara Teoritis .....	40

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Beton merupakan material yang sering digunakan sebagai elemen struktur karena memiliki kelebihan, antara lain kuat dalam menahan gaya tekan, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, memiliki biaya produksi yang terjangkau, dan terbuat dari material yang mudah didapatkan. Namun beton juga memiliki kekurangan, antara lain memiliki sifat yang getas, memiliki kuat tarik yang rendah, dan memiliki berat volume yang tinggi.

Beton terbuat dari campuran material agregat kasar dan agregat halus sebagai bahan pengisi utama, semen sebagai bahan perekat, serta air sebagai bahan yang membantu reaksi kimia selama proses pengerasan. Material penyusun beton tersebut memiliki berat volume yang tinggi sehingga membuat berat volume beton juga menjadi tinggi. Dengan berat volume beton yang tinggi maka akan membuat berat struktur bangunan juga menjadi tinggi. Sementara itu, berat struktur bangunan merupakan hal yang sangat berpengaruh pada saat merencanakan struktur bangunan. Oleh karena itu, salah satu solusi untuk mengurangi berat dari struktur bangunan adalah dengan menggunakan beton ringan struktural.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dengan berat jenis kurang dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Sedangkan berdasarkan SK SNI 03-3449-2002, beton ringan adalah beton yang menggunakan agregat kasar ringan atau pasir alam sebagai pengganti agregat halus sehingga menghasilkan beton dengan berat jenis lebih rendah

dari  $1850 \text{ kg/m}^3$ . Menurut Kardiyono (1992), berat jenis beton yang ringan dapat diperoleh dengan berbagai cara, seperti memanfaatkan kandungan udara dalam beton dan agregatnya. Selain itu, 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 lainnya.

Pada penelitian ini akan dilakukan studi eksperimental substitusi agregat kasar normal batu pecah dengan menggunakan pecahan genteng yang merupakan bahan dari tanah liat bakar untuk menghasilkan beton ringan. Genteng tanah liat berukuran utuh akan dipecah menjadi berukuran 20 mm dan digunakan sebagai substitusi dalam 6 variasi, yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Sampel yang akan dibuat adalah silinder beton (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) dan balok beton bertulang (dimensi 150 mm x 150 mm x 1200 mm) dengan masing-masing 3 buah untuk setiap variasi. Kemudian sampel akan diuji pada umur 28 hari untuk mengetahui pengaruh penggunaan pecahan genteng terhadap berat volume beton, kuat tekan beton, dan kuat lentur balok beton bertulang.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Beberapa masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan pecahan genteng terhadap berat volume beton?
2. Berapa kuat tekan yang dapat dihasilkan beton dengan substitusi agregat kasar menggunakan pecahan genteng?
3. Berapa kuat lentur yang dapat dihasilkan balok beton ringan bertulang dengan substitusi agregat kasar menggunakan pecahan genteng?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan pecahan genteng terhadap berat volume beton.
2. Untuk mengetahui kuat tekan yang dapat dihasilkan beton dengan substitusi agregat kasar menggunakan pecahan genteng.
3. Untuk mengetahui kuat lentur yang dapat dihasilkan balok beton ringan bertulang dengan substitusi agregat kasar menggunakan pecahan genteng.

### 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton target adalah  $f'c$  20 MPa pada umur beton 28 hari.
2. Kuat lentur balok beton ringan bertulang target adalah berdasarkan hubungannya dengan kuat tekan beton.
3. Perhitungan *mix design* untuk beton ringan akan menggunakan metode ACI 211.2-98.
4. Perhitungan *mix design* untuk beton normal akan menggunakan metode ACI 211.1-91.
5. Digunakan sampel sebanyak 18 silinder beton (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm) dan 18 balok beton bertulang (dimensi 15 cm x 15 cm x 150 cm). Kemudian akan dibuat masing-masing 3 buah sampel dengan 6 variasi substitusi agregat pecahan genteng, yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%.
6. Semen yang digunakan adalah jenis semen PCC dengan merek Semen Padang yang dibeli dari toko bangunan dengan kondisi tersegel dalam karung seberat 50 kg.
7. Agregat kasar dan agregat halus berasal dari Kecamatan Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah.

8. Genteng yang digunakan merupakan hasil produksi dari Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Pringsewu.
9. Air yang digunakan untuk campuran beton dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.
10. Digunakan baja tulangan diameter 10 mm sebagai tulangan lentur dan baja tulangan diameter 6 mm sebagai tulangan geser.
11. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung.
12. Berikut jumlah benda uji untuk setiap variasi pencampuran.

Tabel 1.1. Jumlah Benda Uji Setiap Variasi Pencampuran.

<b>Variasi Pencampuran</b>	<b>% Batu Pecah</b>	<b>% Pecahan Genteng</b>	<b>Sampel Silinder</b>	<b>Sampel Balok</b>
100% BP + 0% PG	100%	0%	3	3
80% BP + 20% PG	80%	20%	3	3
60% BP + 40% PG	60%	40%	3	3
40% BP + 60% PG	40%	60%	3	3
20% BP + 80% PG	20%	80%	3	3
0% BP + 100% PG	0%	100%	3	3
<b>Jumlah Sampel</b>			<b>18 buah</b>	<b>18 buah</b>

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain :

1. Sebagai pemahaman lebih lanjut tentang karakteristik beton ringan dan untuk menentukan pengaruh substitusi pecahan genteng pada struktur beton ringan.
2. Dapat bermanfaat dalam perkembangan teknologi bahan untuk ilmu struktur, khususnya dalam pembuatan beton ringan menggunakan agregat pecahan genteng.
3. Dapat dijadikan sebagai sumber atau referensi untuk penelitian berikutnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Beton Ringan

Menurut Ngabdurrochman (2009), beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis yang lebih ringan daripada beton biasa. Beton ringan dapat dibuat menggunakan bahan pengisi ringan seperti *fly ash*, batu apung, dan tanah liat. Selain itu dapat menggunakan semen dengan asam silikat, *pozzolan*, atau semen dengan bahan kimia yang menghasilkan gelembung udara. Adapun pada penelitian ini akan digunakan bahan pengisi ringan, yaitu pecahan genteng yang berbahan dasar tanah liat.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dengan berat jenis kurang dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Sedangkan berdasarkan SK SNI 03-3449-2002, beton ringan adalah beton yang menggunakan agregat kasar ringan atau pasir alam sebagai pengganti agregat halus sehingga menghasilkan beton dengan berat jenis lebih rendah dari  $1850 \text{ kg/m}^3$ .

### 2.2. Klasifikasi Beton Ringan

Menurut SNI 03-3449-2002, berdasarkan kuat tekan beton, berat jenis beton, dan jenis agregat ringan yang digunakan, beton ringan dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

Tabel 2.1. Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Massa Beton, dan Jenis Agregat.

Jenis Konstruksi	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis ( $\text{kg/m}^3$ )	Jenis Agregat Ringan
Struktural :			
- Minimum	17,24	1400	Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan batu serpih, batu lempung, batu sabak, atau terak abu
- Maksimum	41,36	1850	
Struktural Ringan :			
- Minimum	6,89	800	Agregat alami seperti skoria atau batu apung
- Maksimum	17,24	1400	
Sangat Ringan :			
- Minimum	-	-	Perlit atau Vermikulit
- Maksimum	-	800	

Sedangkan menurut Prawito (2010) klasifikasi beton ringan sebagai berikut.

1. Beton Insulasi (*Insulating Concrete*)

Beton ini memiliki berat jenis  $300 \text{ kg/m}^3$  hingga  $800 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan berkisar antara  $0,69 \text{ MPa}$  hingga  $6,89 \text{ MPa}$ . Beton jenis ini sering digunakan sebagai beton penahan panas (isolasi termal). *Perlite* dan *vermiculite* adalah jenis perekat yang sering digunakan.

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

Beton ini memiliki berat jenis  $800 \text{ kg/m}^3$  hingga  $1440 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan berkisar antara  $6,89 \text{ MPa}$  hingga  $17,24 \text{ MPa}$ . Pada umumnya beton ini terbuat dari bahan ringan buatan, seperti terak, abu terbang, tanah liat, batu tulis, serta bahan alami seperti batu apung dan tufa.

3. Beton Struktural (*Structural Concrete*)

Beton ini memiliki berat jenis  $1440 \text{ kg/m}^3$  hingga  $1900 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan lebih dari  $17,24 \text{ MPa}$  pada umur beton 28 hari. Umumnya beton ini terbuat dari agregat kasar seperti *shale*, *clay* dan *slag* yang dapat digunakan untuk mencapai ketahanan tekanan yang diinginkan.

### 2.3. Sifat Beton Ringan

Berdasarkan SNI 2461-2014, persyaratan fisik agregat ringan untuk beton ringan struktural adalah sebagai berikut.

Tabel 2.2. Persyaratan Fisik Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.

No	Sifat Fisik	Persyaratan
1	Berat jenis	1,0 – 1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum kering gembur ( $\text{kg/m}^3$ ) :	
	- Agregat halus	880
	- Agregat kasar	1120
	- Campuran agregat kasar dan halus	1040
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

Sifat beton ringan dilihat dari keunggulannya, antara lain dapat mengurangi berat bangunan, tahan terhadap api, cenderung mudah dikerjakan, keawetan seperti beton normal, dan harga yang relatif murah. Sedangkan dari kekurangannya, beton ringan memiliki kuat tarik yang rendah sehingga diperlukan baja tulangan jika ingin digunakan pada konstruksi struktural.

### 2.4. Balok Beton Bertulang

Balok beton bertulang merupakan gabungan dari dua jenis material, yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah, sedangkan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton sedangkan gaya tarik ditahan oleh tulangan baja.

## 2.5. Bahan Penyusun Balok Beton Ringan Bertulang

Bahan seperti agregat halus, agregat kasar, semen, air, *superplasticizer*, agregat pecahan genteng, dan tulangan baja digunakan dalam pembuatan balok beton ringan bertulang.

### 1. Semen

Semen adalah material yang terdiri dari bahan-bahan campuran, seperti kapur, *silica*, alumina, besi, dan *gypsum*. Semen disebut sebagai bahan pengikat hidrolis karena ketika semen berhubungan dengan air maka akan menjadi bahan campuran yang aktif secara kimiawi. Pasta yang terbentuk dari campuran semen dan air akan mengeras, sehingga ketika sedang mengikat agregat maka akan menghasilkan beton yang keras dan kuat. Oleh karena itu, meskipun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, tapi peranan semen menjadi sangat penting.

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*). Berdasarkan SNI 15-7046-2004, semen PCC adalah pengikat hidrolis yang dibuat dengan menggabungkan satu atau lebih bahan anorganik. Terak tanur tinggi, *pozzolan*, senyawa silikat, dan batu kapur adalah contoh bahan anorganik yang digunakan, dengan kandungannya berkisar antara 6% hingga 35%. Susunan unsur semen PCC dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.3. 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
Magnesia (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

## 2. Agregat Halus

Menurut L.J. Murdock (1999), agregat halus adalah agregat yang dapat lolos saringan uji 4,75 mm. Pasir adalah hasil alami dari pemecahan batu awal dan mengendap di suatu tempat. Pasir yang digunakan dalam campuran beton dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk sungai atau kegiatan konstruksi seperti pemecahan batu. Kontaminasi tanah galian dibersihkan terlebih dahulu, biasanya tanah tajam, keropos, bersudut, dan bebas garam.

## 3. Agregat Kasar

Menurut ASTM C33-03 dan ASTM C 125-07, agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan uji 4,75 mm. Agregat kasar harus terbuat dari partikel yang keras dan tidak berpori. Butiran agregat kasar harus tahan lama, sehingga tidak akan rusak atau hancur ketika terkena panas dan hujan. Selain itu, agregat kasar harus bebas dari zat-zat yang merusak beton. Dan agregat kasar seharusnya tidak mengandung lebih dari 1% lumpur. Jika kandungan lumpur melebihi 1%, agregat kasar harus dibersihkan.

## 4. Air

Air diperlukan untuk beberapa fungsi, antara lain untuk proses kimiawi dengan semen, untuk membasahi agregat, dan untuk memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum pada umumnya dapat digunakan untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton maka akan menurunkan kualitas beton bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

## 5. Genteng

Secara umum, genteng merupakan unsur dalam sebuah bangunan yang berfungsi sebagai penutup atap. Salah satu jenis genteng yang sering digunakan adalah genteng keramik. Genteng keramik adalah genteng yang terbuat dari tanah lempung dengan/atau tanpa campuran bahan lain dan dibakar pada suhu tinggi sehingga tidak hancur direndam air.

Unsur mineral yang terdapat pada tanah lempung merupakan penyusun batuan sedimen dan penyusun utama dari tanah. Tanah lempung memiliki sifat fisik dan kimia yang signifikan, seperti plastisitas sebagai pengikat selama pembentukan untuk mencegah retak atau deformasi, dan kemampuan bakar pada suhu tinggi. Tanah lempung termasuk sebagai *pozzolan* karena mengandung unsur-unsur mineral tingkat tinggi dan bereaksi kuat dengan kapur. (Laintarawan, 2009).

## 6. Bahan Tambah *Superplasticizer*

*Superplasticizer* adalah bahan kimia yang dapat memecah gumpalan dalam pasta semen dengan melapisinya sehingga membuat tekstur dari adukan beton menjadi lebih encer. Dengan menggunakan bahan ini, beton yang kekurangan air akan tetap memiliki kelecakan (*workability*) yang sama seperti beton normal pada umumnya.

## 7. Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan baja karbon atau baja paduan yang berbentuk batangan berpenampang bundar. Baja tulangan berfungsi untuk menahan gaya tarik pada beton bertulang. Berdasarkan bentuknya, baja tulangan dibedakan menjadi 2 jenis, antara lain baja tulangan polos (BJTP) yang memiliki penampang bundar dengan permukaan rata dan baja tulangan sirip (BJTS) yang memiliki bentuk khusus dengan permukaan bersirip melintang dan rusuk memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton.

## 2.6. Landasan Teori

### 1. Berat Volume Beton

Berat volume beton dipengaruhi oleh jumlah semen, air, dan agregat yang digunakan dalam campuran beton. Jenis agregat yang digunakan sangat berpengaruh terhadap berat volume beton. Semakin ringan agregat yang digunakan maka semakin rendah berat volume beton.

### 2. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton didefinisikan sebagai kemampuannya untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kekuatan beton terhadap gaya tekan telah sesuai dengan yang disyaratkan. Uji kubus atau silinder dapat dilakukan untuk menguji kuat tekan beton.

### 3. Kuat Lentur Balok Beton

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah (SNI 03-4431-2011). Kuat lentur batas (*ultimate flexure strength*) beton atau disebut juga modulus keruntuhan (*modulus of rupture*) adalah beban maksimum yang tercapai selama pembebanan.

### 4. Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang

Kapasitas lentur balok beton bertulang adalah kemampuan suatu balok beton bertulang untuk menahan momen lentur tanpa mengalami kegagalan struktural atau kerusakan permanen. Kapasitas lentur biasanya diukur berdasarkan momen maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang selama proses pembebanan sebelum mencapai batas kekuatan atau batas keruntuhan.

## 2.7. Penelitian Sebelumnya

### 1. Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Ringan dengan Agregat Kasar Pecahan Genteng

Prabowo (2011) melakukan penelitian untuk memanfaatkan limbah pecahan genteng, yang mana pecahan genteng ini akan digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada campuran pembuatan beton. Benda uji yang di pakai antara lain silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk uji tekan beton normal, silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk uji tekan beton ringan, baja tulangan berdiameter 10 mm dan begel 6 mm untuk uji kuat tarik, balok beton bertulang normal ukuran 15 x 15 x 130 cm, balok beton bertulang dengan agregat pecahan genteng ukuran 15 x 15 x 130 cm.

Kemudian dilakukan pengujian saat beton berumur 28 hari. Didapatkan hasil antara lain kuat tekan silinder beton rata-rata agregat batu pecah 33,59 MPa ; kuat tekan silinder beton rata-rata agregat pecahan genteng sebesar 18,26 MPa ; *modulus of rupture* beton bertulang rata-rata agregat batu pecah 8,55 N/mm<sup>2</sup> ; *modulus of rupture* beton bertulang rata-rata agregat pecahan genteng 6,21 N/mm<sup>2</sup> ; momen kapasitas hasil pengujian rata-rata agregat batu pecah 5,37 kNm ; momen kapasitas hasil pengujian rata-rata agregat pecahan genteng 3,53 kNm ; momen kapasitas rata-rata agregat batu pecah 6,514 kNm ; momen kapasitas rata-rata agregat pecahan genteng 4,690 kNm. Kesimpulan dari penelitian ini adalah agregat pecahan genteng dapat dijadikan alternatif untuk menggantikan agregat batu pecah. Penggantian agregat kasar dengan menggunakan pecahan genteng mengalami penurunan pada kuat tekan, kuat lentur, momen maksimal dan momen nominalnya dari beton normal, sehingga penggunaanya hanya terbatas untuk beton non struktural.

## 2. 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.

## 3. Beton Ringan Struktural dengan Memanfaatkan Agregat Buatan Dari Tanah Liat

Amilia, Rahma (2022) melakukan penelitian yang dilatar belakangi oleh salah satu kelemahan beton, yaitu berat jenis yang tinggi sehingga meningkatkan berat struktur secara signifikan. Salah satu cara yang dapat dilakukan, yaitu membuat beton ringan dengan menggunakan agregat ringan. Dalam penelitian ini benda uji yang digunakan berupa silinder 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 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 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 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 nilai berat volume yang disyaratkan beton ringan dengan kadar 100% agregat ringan tanah liat termasuk kategori beton ringan, namun jika ditinjau dari hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton termasuk beton ringan untuk struktural ringan.

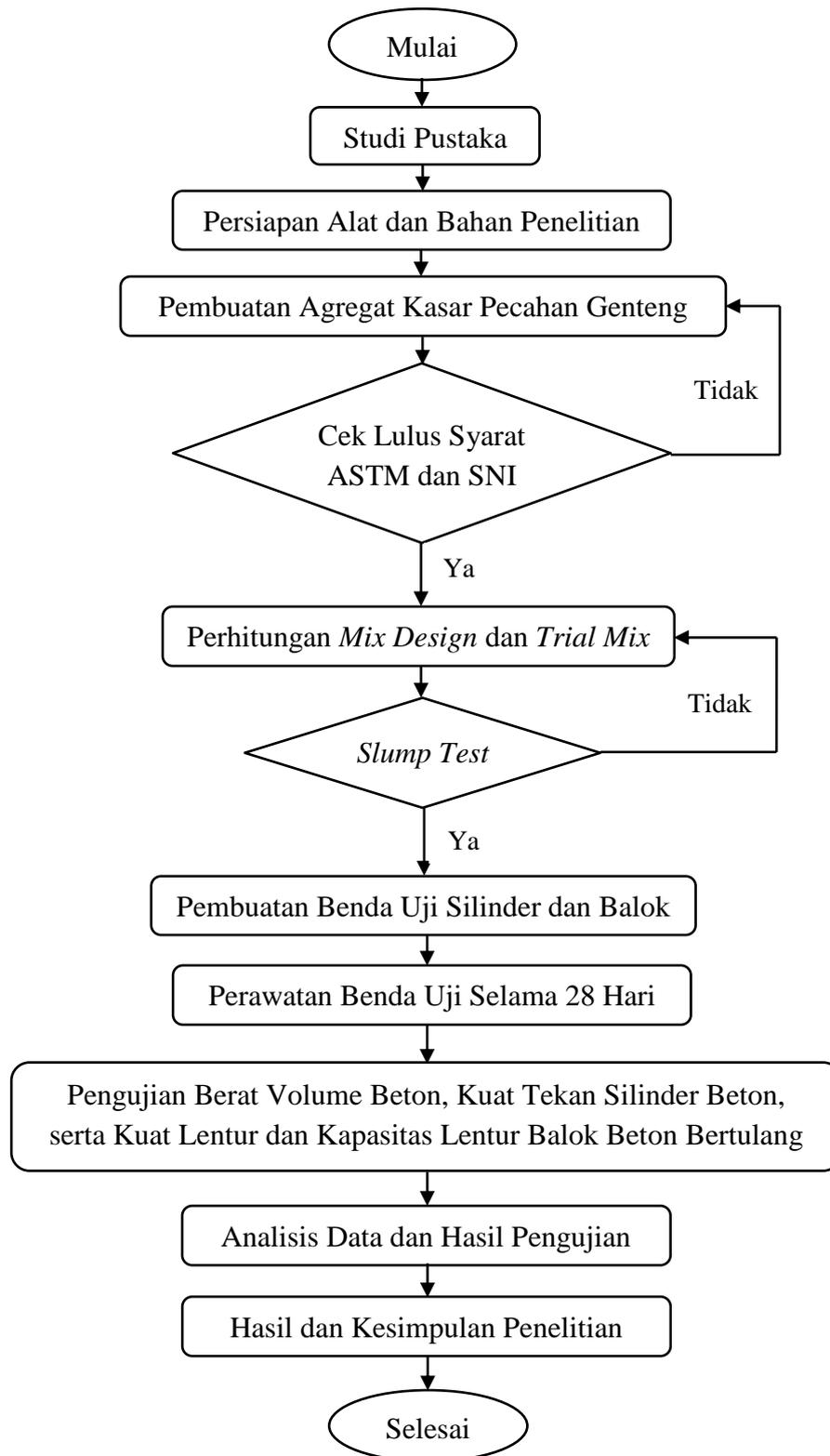
### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan studi eksperimental di laboratorium dengan melakukan substitusi agregat kasar normal batu pecah dengan menggunakan pecahan genteng untuk menghasilkan beton ringan. Genteng tanah liat berukuran utuh akan dipecah menjadi berukuran 20 mm dan digunakan sebagai substitusi dalam 6 variasi, yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Sampel yang akan dibuat adalah silinder beton (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) dan balok beton bertulang (dimensi 150 mm x 150 mm x 1200 mm) dengan masing-masing 3 buah untuk setiap variasi substitusi. *Mix design* akan dilakukan dengan dua metode, yaitu metode ACI 211.1-91 untuk beton normal dan metode ACI 211.2-98 untuk beton ringan. Kemudian sampel akan diuji pada umur 28 hari untuk mengetahui pengaruh penggunaan pecahan genteng terhadap berat volume beton, kuat tekan beton, dan kuat lentur balok beton bertulang.

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

Penelitian dengan judul Kuat Lentur Balok Beton Ringan Bertulang Menggunakan Agregat Pecahan Genteng ini akan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Seluruh peralatan yang digunakan selama penelitian akan menggunakan peralatan yang disediakan oleh laboratorium dan selama penggunaannya akan didampingi oleh pihak laboratorium.

### 3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir.

### 3.3. Persiapan Alat dan Bahan Penelitian

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.

#### 1. Alat

##### a. Kontainer

Kontainer adalah alat yang digunakan untuk mengangkut material selama proses pengujian material. Kontainer yang digunakan merupakan pelat alumunium berukuran sekitar 15 x 15 x 10 cm.

##### b. *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.

##### c. Timbangan

Timbangan adalah alat yang digunakan untuk menentukan massa suatu bahan yang akan digunakan. Timbangan digital elektrik dengan ketelitian 0,1 gram dan 5 gram digunakan dalam penelitian.

##### d. Satu set saringan material

Pada penelitian ini digunakan ayakan dengan diameter 25 mm; 19 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; dan pan. Alat ini digunakan untuk memisahkan agregat halus dan kasar secara gradasi.

##### e. Piknometer

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

- f. Gelas ukur 1000 cc  
Gelas ukur 1000 cc adalah alat ukur yang digunakan untuk menentukan volume air yang dibutuhkan untuk analisis kadar lumpur dan analisis berat jenis agregat halus (*specific gravity*).
- g. Cetakan kerucut pasir  
Cetakan kerucut pasir merupakan alat yang digunakan untuk melihat kondisi SSD dari pasir (*Saturated Surface Dry*).
- h. Mesin *Los Angeles*  
Mesin *los angeles* digunakan untuk mengukur keausan dari agregat kasar normal batu pecah dan agregat kasar ringan pecahan genteng. Dalam menggunakan mesin los angeles, digunakan juga bola baja berdiameter 4,68 cm dan berat antara 390 gram sampai 445 gram.
- i. 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.
- j. *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.
- k. Satu set alat *slump test*  
Peralatan, yaitu satu set kerucut abrams yang berdiameter atas 102 mm, diameter bawah 203 mm, tinggi 305 mm dan *base plate* dengan ukuran 900 x 900 mm. Alat ini digunakan untuk menguji *workability* beton yang telah memenuhi syarat *slump test*.

l. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji adalah alat untuk mencetak beton dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Benda uji berbentuk silinder dan balok. Untuk cetakan benda uji silinder memiliki diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sementara cetakan benda uji balok memiliki ukuran 150 mm x 150 mm x 1200 mm.

m. Bak perendam

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

n. *Compression Testing Machine*

Alat ini digunakan untuk melakukan pengujian kuat tekan beton dengan metode *compression test*.

o. *Universal Testing Machine*

Alat digunakan untuk menentukan kuat lentur balok menggunakan sebuah balok sederhana dengan pembebanan titik ketiga.

p. Alat bantu

Alat bantu adalah alat yang digunakan, seperti kode warna, ember, keranjang, kuas, corong, sekop, tongkat baja, sendok semen, palu, kunci inggris, gergaji besi, *trolley*, *stopwatch* dan alat tulis.

2. Bahan

a. *Semen Portland*

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

b. Air

Air yang digunakan 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.

c. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini 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.

d. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memiliki 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.

e. Pecahan Genteng

Pecahan genteng akan digunakan sebagai substitusi agregat kasar. Adapun dalam penelitian ini pecahan genteng sebagai agregat harus melalui beberapa pengujian dan memenuhi persyaratan fisik sesuai dengan SNI 2461:2014.

f. *Superplasticizer*

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

g. Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan adalah baja tulangan ulir diameter 10 mm sebagai tulangan lentur dan baja tulangan polos diameter 6 mm sebagai tulangan geser.

### 3.4. Pembuatan Agregat Kasar Ringan

Setelah menyiapkan semua alat dan bahan penelitian, langkah selanjutnya adalah membuat agregat kasar ringan dari pecahan genteng. Proses pembuatannya adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan genteng berukuran utuh sebanyak yang dibutuhkan.
2. Memecahkan genteng berukuran utuh menjadi kepingan berukuran 5 – 19 mm menyesuaikan ukuran gradasi yang disyaratkan.
3. Menguji kelayakan agregat kasar ringan untuk digunakan sebagai campuran beton menyesuaikan dengan syarat-syarat fisik pada SNI 2461-2014.
4. Menguji kekuatan agregat kasar ringan dengan cara *Los Angeles Test* untuk mengetahui keausan dari agregat kasar ringan.
5. Mencuci dan merendam agregat kasar ringan selama 24 jam, kemudian mengeringkan permukaannya untuk mendapatkan kondisi SSD.
6. Menyimpan agregat kasar ringan didalam plastik kedap udara agar agregat kasar ringan tetap pada kondisi SSD hingga waktu pembuatan benda uji dilakukan.

### 3.5. Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui apakah material yang ada telah memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai penyusun beton. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi mengacu pada *American Standard Testing and Material* (ASTM) dan SNI 2461-2014 tentang Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural. Pengujian yang dilakukan, antara lain Kadar Air Agregat Halus dan Kasar, Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus dan Kasar, Gradasi Agregat Halus dan Kasar, Kadar Lumpur Agregat Halus dan Kasar, Kandungan Zat Organik dalam Agregat Halus, *Los Angeles Test*, Berat Jenis Semen, serta Berat Volume Agregat Halus dan Kasar.

### 3.6. Perhitungan *Mix Design* dan *Trial Mix*

Setelah alat dan bahan penelitian telah dilakukan pengujian dan siap digunakan, maka akan dilakukan perhitungan rancang campur (*Mix Design*). Perhitungan akan dilakukan dengan dua metode, yaitu metode ACI 211.1-91 *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* untuk menghitung *mix design* beton normal dan metode ACI 211.2-98 *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete* untuk menghitung *mix design* beton ringan. Pada pelaksanaan pencampuran, akan digunakan hasil perhitungan *mix design* beton normal pada pencampuran beton normal (0% agregat kasar ringan) dan digunakan hasil perhitungan *mix design* beton ringan pada pencampuran beton ringan (100% agregat kasar ringan). Lalu untuk agregat kasar substitusi antara batu pecah dan pecahan genteng, akan dilakukan simulasi perhitungan untuk masing-masing persentase pencampuran.

Setelah melakukan perhitungan *mix design*, akan dilakukan percobaan pencampuran (*Trial Mix*). Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah perhitungan yang dilakukan telah memenuhi hasil *slump test* dan uji kuat tekan yang direncanakan. Jika hasil *trial* belum sesuai dengan perencanaan, maka harus dilakukan perhitungan ulang sesuai dengan kekurangan pada saat *trial*. Tetapi jika hasil *trial* telah sesuai dengan perencanaan, maka dapat dilakukan pembuatan benda uji yang sebenarnya.

### 3.7. Pembuatan Benda Uji

Setelah membuat agregat kasar pecahan genteng dan perencanaan rancangan campuran yang sesuai, maka selanjutnya adalah pembuatan benda uji. Benda uji berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dan benda uji berupa balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 1200 mm. Pada benda uji balok akan digunakan baja tulangan diameter 10 mm sebagai tulangan lentur dan baja tulangan diameter 6 mm sebagai tulangan geser.

Benda uji dibuat masing-masing 3 buah sampel dengan 6 variasi substitusi agregat kasar pecahan genteng sebagai pengganti batu pecah. Jumlah masing-masing benda uji dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1. Jumlah Benda Uji Setiap Variasi Pencampuran.

<b>Variasi Pencampuran</b>	<b>% Batu Pecah</b>	<b>% Pecahan Genteng</b>	<b>Sampel Silinder</b>	<b>Sampel Balok</b>
100% BP + 0% PG	100%	0%	3	3
80% BP + 20% PG	80%	20%	3	3
60% BP + 40% PG	60%	40%	3	3
40% BP + 60% PG	40%	60%	3	3
20% BP + 80% PG	20%	80%	3	3
0% BP + 100% PG	0%	100%	3	3
<b>Jumlah Sampel</b>			<b>18 buah</b>	<b>18 buah</b>

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam membuat benda uji :

1. Mempersiapkan peralatan serta material dengan jumlah yang sesuai pada perhitungan *mix design*;
2. Memasukkan material secara berurutan ke dalam *concrete mixer*, dimulai dengan agregat halus dan agregat kasar, baik batu pecah maupun pecahan genteng;
3. Menambahkan semen secara bertahap setelah mencampur agregat kasar dan halus secara merata;
4. Menambahkan air sedikit demi sedikit setelah ketiga komponen tercampur rata hingga adonan menjadi plastis;
5. Menguji kelecakan beton dengan melakukan *slump test* sesuai dengan langkah-langkah kerjanya;
6. Mengolesi cetakan silinder dan balok dengan oli agar sisi-sisi beton tidak menempel pada cetakan saat dikeluarkan;
7. Menuangkan campuran beton ke dalam cetakan sedikit demi sedikit lalu meratakan isinya menggunakan palu atau *vibrator*, kemudian cetakan berisi beton didiamkan selama 24 jam;
8. Mengeluarkan benda uji dari cetakan setelah 24 jam lalu menjaga kelembaban setiap saat sampai umur yang rencana 28 hari.

### 3.8. Pengujian Keleccakan

*Slump test* digunakan untuk mengetahui *workability* (keleccakan) beton pada kondisi segar. Menurut SK-SNI-M-12-1989-F, tahap pelaksanaan pengujian *slump test* sebagai berikut.

1. Letakkan cetakan kerucut *abrams* diatas pelat baja, usahakan pelat berada diatas permukaan yang datar;
2. Memasukkan campuran beton hingga sepertiga tinggi kerucut, lalu dipadatkan dengan ditumbuk sebanyak 25 kali menggunakan tongkat besi berujung bundar;
3. Memasukkan campuran beton hingga  $\frac{2}{3}$  tinggi kerucut dan  $\frac{3}{3}$  tinggi kerucut, lalu dipadatkan masing-masing sebanyak 25 kali. Setelah itu, isi kerucut hingga penuh dan ratakan bagian atasnya;
4. Kemudian angkat kerucut secara perlahan dan letakkan sejajar disamping campuran beton; lalu
5. Nilai uji *slump* diukur dari ketinggian awal hingga ukuran keruntuhan setelahnya

### 3.9. Perawatan Benda Uji

Benda uji dirawat dengan merendamnya dalam bak rendam sampai pengujian pada umur 28 hari. 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.

### 3.10. Pengujian Benda Uji

Pengujian akan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Pengujian yang dilakukan adalah uji berat volume beton, uji kuat tekan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) dan uji kuat lentur menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).

### 1. Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah besarnya berat beton dalam suatu volume tertentu. Pengujian berat volume dilakukan untuk menentukan apakah sampel beton termasuk sebagai beton ringan. Berat volume dilakukan dengan terlebih dahulu menimbang berat beton dan menghitung volumenya. Berat volume beton dihitung dengan persamaan :

$$\gamma_c = \frac{W}{V} \quad (1)$$

dengan :

$\gamma_c$  = Berat volume beton ( $\text{kg/m}^3$ )

$W$  = Berat beton (kg)

$V$  = Volume beton ( $\text{m}^3$ )

### 2. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton didefinisikan sebagai kemampuannya untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui apakah kekuatan beton terhadap gaya tekan telah sesuai dengan perencanaan. Beton silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) akan digunakan sebagai benda uji dan alat *Compression Testing Machine* (CTM) digunakan sebagai alat uji. Kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

dengan :

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

$P$  = Gaya tekan maksimum (N)

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

### 3. Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Kuat lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah (SNI 03-4431-2011). Kuat lentur batas atau disebut juga modulus keruntuhan adalah beban maksimum yang

tercapai selama pengujian. Balok beton bertulang (dimensi 150 mm x 150 mm x 1200 mm) akan digunakan sebagai benda uji dan alat *Universal Testing Machine* (UTM) digunakan sebagai alat uji. Nilai kuat lentur beton dapat diperoleh dengan persamaan :

$$f_s = \frac{P L}{b h^2} \quad (3)$$

dengan :

$f_s$  = Kuat lentur beton (MPa)

$P$  = Gaya tekan maksimum (N)

$L$  = Panjang bentang (mm)

$b$  = Lebar penampang benda uji (mm)

$h$  = Tinggi penampang benda uji (mm)

#### 4. Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang

Kapasitas lentur balok beton bertulang adalah kemampuan suatu balok beton bertulang untuk menahan momen lentur tanpa mengalami kegagalan struktural atau kerusakan permanen. Kapasitas lentur biasanya diukur berdasarkan momen maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang selama proses pembebanan sebelum mencapai batas kekuatan atau batas keruntuhan. Pada perhitungan ini, balok beton digambarkan sebagai struktur *simple beam* dengan beban terpusat pada dua titik masing-masing sebesar  $1/2 P$ . Jarak antar beban dan dengan tumpuan adalah sebesar  $1/3$  jarak kedua tumpuan. Besarnya momen yang dapat mematahkan benda uji adalah beban maksimum dari alat uji. Dengan skema seperti ini maka momen maksimum akan terjadi pada  $1/3$  bagian tengah bentang yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan :

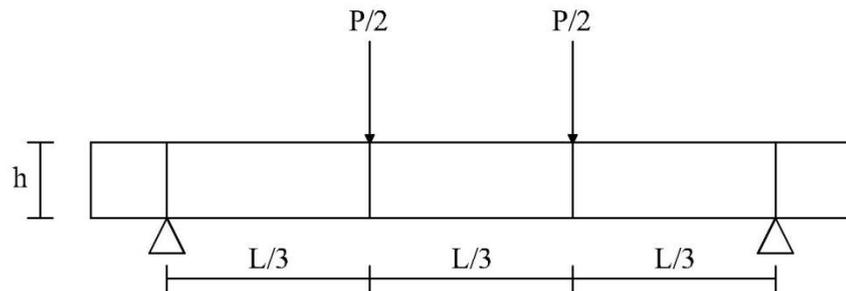
$$M = \frac{1}{6} PL \quad (4)$$

dimana :

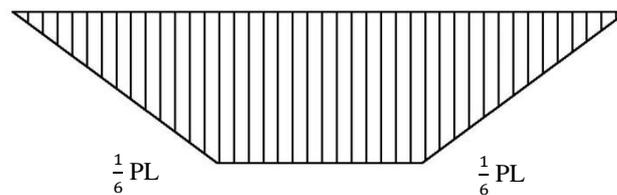
$M$  = Momen maksimum (Nmm)

$P$  = Beban maksimum (N)

$L$  = Panjang bentang (mm)



Gambar 3.2. Balok sederhana yang dibebani gaya  $P/2$ .



Gambar 3.3. Diagram momen.

### 3.11. Analisis Data dan Hasil Pengujian

Berikut analisis data dan hasil pengujian yang dilakukan :

1. Membuat tabel dan grafik hubungan antara kadar agregat kasar ringan pecahan genteng terhadap nilai *slump test*.
2. Membuat tabel dan grafik hubungan antara kadar agregat kasar ringan pecahan genteng terhadap berat volume beton.
3. Membuat tabel dan grafik hubungan antara kadar agregat kasar ringan pecahan genteng terhadap kuat tekan silinder beton.
4. Membuat tabel dan grafik hubungan antara kadar agregat kasar ringan pecahan genteng terhadap kuat lentur balok beton bertulang.
5. Membuat tabel dan grafik hubungan antara kapasitas lentur balok beton bertulang hasil pengujian dengan kapasitas lentur balok beton bertulang hasil pehtiungan secara teoritis.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Kuat Lentur Balok Beton Ringan Bertulang Menggunakan Agregat Ringan Pecahan Genteng dengan menggunakan enam variasi pencampuran agregat kasar ringan pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar normal batu pecah.

1. Berat volume beton menurun seiring dengan bertambahnya kadar agregat kasar ringan pecahan genteng yang digunakan. Hal ini terjadi karena agregat kasar ringan pecahan genteng memiliki berat volume yang ringan sebesar  $967,4 \text{ kg/m}^3$ . Beton dengan kadar agregat kasar ringan 100% memiliki berat volume  $1868,58 \text{ kg/m}^3$  tergolong sebagai beton ringan, sementara beton dengan kadar agregat kasar ringan lainnya tidak tergolong sebagai beton ringan.
2. Kuat tekan beton menurun seiring dengan bertambahnya kadar agregat kasar ringan pecahan genteng yang digunakan. Hal ini terjadi karena agregat kasar ringan pecahan genteng memiliki nilai keausan dan persentase penyerapan yang tinggi sehingga agregat ini tidak cukup kuat seperti agregat kasar normal. Meskipun demikian, kuat tekan rata-rata yang dihasilkan tetap sesuai dengan kuat tekan target  $f'c$  20 MPa.
3. Kuat lentur balok beton bertulang menurun seiring dengan bertambahnya kadar agregat kasar ringan pecahan genteng yang digunakan. Hal ini terjadi karena agregat kasar ringan pecahan genteng memiliki nilai keausan yang tinggi dan persentase penyerapan yang tinggi sehingga agregat ini tidak cukup kuat seperti agregat kasar

normal. Meskipun demikian, seluruh kuat lentur balok beton bertulang yang dihasilkan telah melebihi syarat hubungan kuat tekan dengan kuat lentur beton berdasarkan SNI T-15-1991-03, sehingga dilakukan perhitungan kapasitas lentur untuk menentukan kemampuan maksimum balok beton bertulang dalam menahan momen lentur.

4. Kapasitas lentur balok beton bertulang hasil pengujian memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan perhitungan secara teoritis. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengujian balok beton bertulang telah memenuhi perhitungan secara teori, sehingga balok beton bertulang dengan spesifikasi seperti benda uji pada penelitian ini atau dengan skala yang lebih besar dapat digunakan pada struktur yang sesungguhnya.

## **5.2. Saran**

Untuk melengkapi dan mengembangkan penelitian ini maka perlu dilakukan penelitian lainnya dan secara berkelanjutan agar penelitian ini tidak berhenti hingga dapat diaplikasikan secara umum. Berikut merupakan beberapa saran yang dapat penulis sampaikan untuk penelitian selanjutnya.

1. Periksa terlebih dahulu keandalan alat uji yang akan digunakan sebelum melakukan penelitian agar mendapatkan hasil yang akurat.
2. Disarankan untuk menggunakan agregat kasar ringan lain yang memiliki berat volume lebih ringan daripada pecahan genteng agar nilai berat volume beton dibawah  $1900 \text{ kg/m}^3$  tercapai seluruhnya.
3. Pastikan untuk merendam agregat selama 24 jam lalu mengeringkan permukaannya agar mendapatkan hasil SSD yang sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211.1-91. 1991. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI 211.2-98. 1998. *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*. American Concrete Institute.
- Amilia, Rahma. 2022. Beton Ringan Struktural Dengan Memanfaatkan Agregat Buatan dari Tanah Liat. Lampung: Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain. Volume 10, No 4 : 605–620.
- International, A. 2001. *Standard Specification for Concrete Agregate*. ASTM Standard Book, 04, 1–11.
- Laintarawan, I.P. 2009. *Konstruksi Beton I*. Denpasar: Universitas Hindu Indonesia.
- Murdock, L.J. 1999. *Bahan dan Praktek Beton (Terjemahan Hindarko)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ngabdurrochman. 2009. *Teknologi Beton Ringan Makalah Tugas Teknologi Beton*. Wonosobo: Universitas Sains Al Qur'an.
- Prabowo. 2011. *Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Ringan dengan Agregat Kasar Pecahan Genteng*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Prawito, E. 2010. *Analisa Perbandingan Berat Jenis dan Kuat Tekan Antara Beton Ringan dan Beton Normal dengan Mutu Beton K-200*.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-3449-2002. 2002. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-7064-2004. 2004. *Semen Portland Komposit*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- SNI 1974-2011. 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 4431-2011. 2011. Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2461-2014. 2014. Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1992. Teknologi Beton (Edisi Pertama). Yogyakarta: Biro Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Widyawati, Ratna. 2011. Studi Kuat Tekan Beton Beragregat Ramah Lingkungan. Lampung: Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Lampung. Volume 15, No 3 : 217–224.