

**PENGEMBANGAN PERALATAN PRODUKSI DAN  
PENGUJIAN MEKANIK BATA RINGAN *CELLULAR*  
*LIGHTWEIGHT CONCRETE* YANG DIPERKUAT SERAT  
*BAMBUSOIDEAE***

**(Tesis)**

**Oleh**

**AN-NISA MAGNOLIA  
NPM 2225021007**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

**PENGEMBANGAN PERALATAN PRODUKSI DAN  
PENGUJIAN MEKANIK BATA RINGAN *CELLULAR*  
*LIGHTWEIGHT CONCRETE* YANG DIPERKUAT SERAT  
*BAMBUSOIDEAE***

**Oleh:**

**AN-NISA MAGNOLIA**

Tesis

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCA SARJANA TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ***Abstract***

*This study aims to improve the quality of Cellular Lightweight Concrete (CLC) bricks by introducing natural fibers as reinforcements and determining the optimal parameters as CLC brick compositions. The addition of natural fibers, such as bamboo fibers, is expected to enhance the strength of CLC bricks. Experiments were conducted through compressive strength tests and three point bending tests on CLC samples. Testing referred to ASTM standards C869, C1550, and C293 to assess the compressive strength and flexural strength of lightweight bricks. The results are expected to provide guidance in the development of environmentally friendly CLC with good mechanical properties. This study incorporated natural fibers in three variations: powder, medium, and long fibers, with percentages of 0%, 0.5%, and 1%, respectively. Additionally, the ratio between cement and sand was varied in ratios of 1:1.2, 1:1.4, and 1:1.6. The research methodology was conducted through experiments with compressive strength tests and three point bending tests on modified CLC samples. Evaluation was conducted with reference to ASTM standards C869, C1550, and C293 to measure the compressive strength and flexural strength of lightweight bricks. The goal is to understand the influence of various parameter combinations on the mechanical quality and strength of CLC lightweight bricks produced. Based on the test results, the best composition consists of medium fibers with a percentage of 0.5% and a cement-sand ratio of 1:1.6.*

*Keywords— CLC Lightweight Bricks, Bamboo Fiber, Compressive Strength Test, three point bending Test*

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas bata ringan Cellular Lightweight Concrete (CLC) dengan memperkenalkan serat alam sebagai penguat dan mengetahui parameter terbaik sebagai komposisi bata ringan CLC. Penambahan serat alam, seperti serat bambu, diharapkan dapat meningkatkan kekuatan bata CLC. Eksperimen dilakukan dengan uji tekan dan uji *three point bending* terhadap sampel CLC. Pengujian mengacu pada standar ASTM , ASTM , dan ASTM untuk menilai kuat tekan dan kekuatan lentur bata ringan. Hasilnya diharapkan dapat memberikan panduan dalam pengembangan CLC yang ramah lingkungan dan memiliki kualitas yang baik secara mekanis. Penelitian ini menggabungkan serat alam dalam tiga variasi: serat pendek, sedang, dan panjang, dengan persentase masing-masing 0%, 0,5%, dan 1%. Selain itu, perbandingan antara semen dan pasir divariasikan dalam perbandingan 1:1,2, 1:1,4, dan 1:1,6. Metode penelitian dilakukan melalui eksperimen dengan uji tekan dan uji *three point bending* terhadap sampel CLC yang telah dimodifikasi. Evaluasi dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM C869 , SNI 8640 untuk mengukur kuat tekan dan kekuatan lentur bata ringan. Tujuannya adalah untuk memahami pengaruh kombinasi berbagai parameter terhadap kualitas mekanis dan kekuatan bata ringan CLC yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian Komposisi terbaik terdiri dari serat berjenis sedang dengan persentase 0,5% dan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:1,6.

Kata Kunci— Bata Ringan CLC, Serat Bambu, Uji Tekan, Uji *three point bending*

Judul Tesis

**: PENGEMBANGAN PERALATAN PRODUKSI  
DAN PENGUJIAN MEKANIK BATA RINGAN  
CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE  
YANG DIPERKUAT SERAT BAMBU  
SOIDEAE**

Nama Mahasiswa

**: An-Nisa Magnolia**

Nomor Pokok Mahasiswa

**: 2225021007**

Program Studi

**: Teknik Mesin**

Fakultas

**: Teknik**



**1. Komisi Pembimbing**

**Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**

**NIP. 196908011999031002**

**Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**

**NIP. 197908212003121003**

**2. Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin**

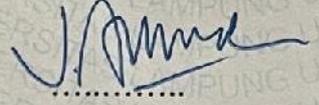
**Dr. Harmen, S.T., M.T.**

**NIP. 196906202000031001**

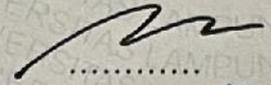
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

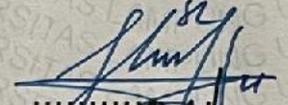
**Ketua Penguji : Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**



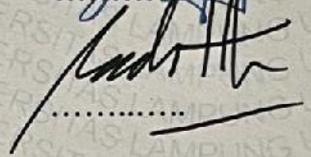
**Anggota Penguji : Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**



**Penguji Utama I : Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.**



**Penguji Utama II : Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.**



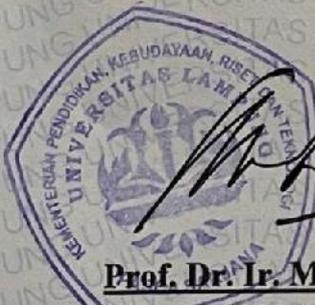
**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }**

**NIP. 197509282001121002**

**3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung**



**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**

**NIP 196403261989021001**

**Tanggal Lulus Ujian Thesis : 27 Juni 2024**

## PERNYATAAN PENULIS

Tesis dengan judul “PROSES PRODUKSI DAN PENGUJIAN MEKANIK BATA RINGAN CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE YANG DIPERKUAT SERAT BAMBUSOIDEAE“ dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat siapa pun sebagaimana diatur didalam Pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010

Bandar Lampung, 17 Juli 2024

Yang membuat pernyataan



An-Nisa Magnolia  
NPM. 2225021007

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Metro, Provinsi Lampung pada tanggal 14 Februari 2000



sebagai anak tunggal, dari pasangan Bapak Eko dan Ibu Lasmiyati S.Pd. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD NEGERI 1 METRO BARAT hingga tahun 2012, lalu dilanjutkan di SMP NEGERI 1 METRO yang diselesaikan tahun 2015, dan SMA NEGERI 2 METRO yang diselesaikan tahun 2018, hingga pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung

melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan lulus pada tahun 2022.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Sekertaris Umum. Selain aktif dalam HIMATEM, penulis juga pernah menjadi bagian dari Komunitas Kreativitas UNILA, UKM Silat Merpati Putih, dan UKM Mekatronika sebagai ketua periode 2022.

Penulis pernah melakukan kerja praktek (KP) di PT. KERETA API INDONESIA, Bandar Lampung, Lampung tahun 2021 dengan judul laporan “*Analisis Laju Keausan Blok rem Pada Sistem Pengereman Lokomotif CC 205 di PT. Kereta Api Indonesia (PERSERO) DIVRE IV Depo Lokomotif Besar A Tanjung Karang*”

Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa Magister, Penulis aktif sebagai asisten praktikum di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin dan Laboratorium Mekatronika periode 2022-2024. Penulis aktif dalam bidang pengajuan proposal pengabdian dan penelitian Universitas. Penulis sebagai asisten dosen Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. yang bertugas membantu dosen.

Kemudian penulis pernah melaksanakan Tugas Akhir Thesis dengan judul “PROSES PRODUKSI DAN PENGUJIAN MEKANIK BATA RINGAN CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE YANG DIPERKUAT SERAT BAMBUSOIDEAE” pada tahun 2023-2024 dibawah bimbingan Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T dan Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.

## SANWACANA

### *Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh*

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan hidayah, serta lindungan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan menyelesaikan Tesis dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis sanjungkan kepada Nabi Muhammad S.A.W. yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Tesis ini dibuat sebagai tanda hasil pengerjaan Tesis yang penulis lakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang mekanika, terkhusus dalam bidang mekanika struktur. Tesis ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi yang membaca dan yang mengutip serta dapat dijadikan acuan untuk studi-studi selanjutnya. Selesaiannya tesis ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

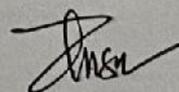
1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
2. Bapak Gusri Akhyar, S.T.,M.T.,Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Harmen, S.T.,M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Lampung
4. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing penulis dalam penyusunan tesis ini.
5. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku pembimbing kedua atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam menyelesaikan tesis ini.

6. Ibu Dr.Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan selama proses pengujian.
7. Bapak Masdar Helmi, S.T.,D.E.A.,Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan selama proses pengujian.
8. Terimakasih kepada Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Laboratorium Mekatronika, Laboratorium Bahan dan Kontruksi, dan Hanggar yang sudah memfasilitasi penelitian tesis ini.
9. Orang tua penulis, Ibu Lasmiyati yang selalu mendampingi, mendidik, mendoakan, mendukung, dan memberikan restu penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.
10. Seluruh Dosen dan Staf di Teknik Mesin Universitas lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
11. Teman-teman TM Angkatan 2018 dan MTM 2022 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat.
12. Untuk sebuah nama, terimakasih selalu mendampingi dan mendoakan penulis.

Penulis menyadari bahwa isi Tesis ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan Tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.***

Bandar lampung, 17 Juli 2024



An-Nisa Magnolia  
NPM 2225021007

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	6
1.5. Sistematika Penulisan.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. Bata Ringan .....	7
2.2. Jenis-Jenis Bata Ringan.....	8
2.3. Proses Pembuatan Bata Ringan.....	8
2.4. Uji Kuat Tekan Bata Ringan dan Uji <i>Three point bending</i> .....	22
2.5. Alat Uji Kuat Tekan .....	25
2.6. Kekuatan Bata Ringan.....	26
2.7. Uji Porositas dan Densitas.....	27
2.8. Pengolahan Data.....	28
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	31
3.2. Diagram Alir.....	32
3.3. Pembuatan Alat Uji .....	33
3.4. Pembuatan Benda Uji.....	38
3.5. Rancang Campur ( <i>Mix Design</i> ).....	43
3.6. Standar Operasional Prosedur pembuatan bata ringan.....	44
3.7. Uji Porositas Dan Densitas .....	45
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46

4.1.	Hasil dan Pembahasan.....	46
4.2.	Benda Uji Tekan dan Benda Uji <i>Three point bending</i> .....	47
4.3.	Pengujian Awal .....	53
4.4.	Pengujian Lanjutan.....	68
V.	KESIMPULAN DAN SARAN .....	85
5.1.	Kesimpulan.....	85
5.2.	Saran.....	86
	DAFTAR PUSTAKA .....	87
	LAMPIRAN.....	90

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Batas Toleransi Kotoran pada Air.....	10
Tabel 2. 2. Hubungan antara Warna Larutan Agregat Halus Terhadap Prosentase Kandungan Zat Organik.....	12
Tabel 2. 3.Jenis-Jenis Semen Portland dengan Sifat-Sifatnya.....	15
Tabel 2. 4.Jenis dan Penggunaan Semen Portland.....	15
Tabel 3.1. Rancangan Kegiatan Penelitian Tesis.....	31
Tabel 3. 2.Pengukuran Serat.....	40
Tabel 3. 3. Rancang Campur Adukan Bata Ringan CLC Berserat Alami dengan Variasi Perbandingan Berat Semen, Persentase Serat, dan Panjang Serat.....	44
Tabel 4.1. Kalibrasi Alat Uji.....	48
Tabel 4.2. Data Pengujian Stabilitas Alat.....	49
Tabel 4. 3.Uji Densitas dan Porositas.....	50
Tabel 4.4. Hasil Kuat Tekan Bata Ringan.....	54
Tabel 4.5. <i>Response Table for signal to ratios</i> .....	57
Tabel 4. 6. Hasil Uji <i>three point bending</i> .....	62
Tabel 4.7. <i>Response Table for signal to ratios three point bending</i> .....	64
Tabel 4. 8.Uji Tekan Benda Uji 11,12, dan 15.....	70
Tabel 4. 9.Uji <i>three point bending</i> benda 11,12, dan 15.....	71
Tabel 4. 10. anova benda uji 11, 12, dan 15.....	73
Tabel 4. 11. Model summary Uji Tekan Benda Uji 11, 12, dan 15.....	73
Tabel 4. 12. Means and Confidence Intervals.....	73
Tabel 4. 13. <i>Fisher Pairwise Comparisons</i> .....	74
Tabel 4. 14. Annova uji <i>three point bending</i> benda Uji 11, 12, dan 15.....	76
Tabel 4. 15. Model summary Uji <i>three point bending</i> Benda Uji 11, 12, dan 15.....	77
Tabel 4. 16.Means and Confidence Intervals.....	77
Tabel 4. 17.Fisher Pairwise Comparisons.....	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Bata Ringan CLC .....	7
Gambar 2. 2. Pembuatan Bata Ringan AAC (Mulyono, 2018) .....	14
Gambar 2.3. Serat Baja .....	18
Gambar 2.4. <i>Fibre Glass</i> .....	19
Gambar 2.5. Mekanisme Kerja Serat .....	19
Gambar 2.6. Serat Alam Bambu .....	21
Gambar 2.7. Skema Uji Tekan .....	23
Gambar 2.8. Uji Bending 3 Point .....	24
Gambar 3.1. Diagram Alir .....	32
Gambar 3.2. Gambar rancangan rangka alat uji tekan dan <i>three point bending</i> ...	35
Gambar 3.3. Rancangan pembacaan data .....	35
Gambar 3.4. Design Alat Uji <i>three point bending</i> .....	37
Gambar 3.5. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian .....	38
Gambar 3.6. <i>Foam Generator</i> .....	41
Gambar 3.7. Pengamatan <i>foaming agent</i> .....	42
Gambar 3.8. Alat Uji Tekan dan <i>three point bending</i> .....	43
Gambar 4.1. Alat uji tekan dan alat uji <i>three point bending</i> .....	47
Gambar 4.2. Sensor alat <i>displacement</i> .....	47
Gambar 4.3. Grafik Kalibrasi .....	48
Gambar 4.4. Uji Kuat Tekan Benda Uji .....	53
Gambar 4.5. <i>Main effects Plot</i> uji tekan .....	59
Gambar 4.6. Contoh grafik pengambilan data Uji <i>three point bending</i> .....	61
Gambar 4.7. <i>Main Effect Plot three point bending</i> .....	65
Gambar 4.8. Uji Tekan dan Uji <i>Three point bending</i> .....	69
Gambar 4.9. Grafik mean dan standar deviasi uji tekan .....	70
Gambar 4.10. Grafik mean dan standar deviasi uji <i>three point bending</i> .....	71
Gambar 4.11. Interval Plot Kuat Tekan .....	74
Gambar 4.12. Fisher Individual Kuat Tekan .....	75
Gambar 4.13. Fisher individual Uji <i>three point bending</i> .....	78
Gambar 4.14. Interval Plot Uji <i>three point bending</i> .....	79
Gambar 4.15. Benda Uji Tanpa serat .....	80
Gambar 4.16. Benda uji mengandung serat .....	81
Gambar 4.17. Uji <i>three point bending</i> tanpa kandungan serat .....	82
Gambar 4. 18. Uji <i>three point bending</i> dengan kandungan serat .....	83

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kebutuhan material bangunan semakin meningkat dengan seiring waktu. Salah satu jenis material yang utama dalam pembangunan gedung adalah bata untuk dinding. Dinding merupakan bagian utama yang yang harus memiliki persyaratan standar, diantaranya kekuatan, tahan terhadap getaran, ringan dan juga tahan terhadap cuaca ekstrim yang akan berpengaruh pada daya serapnya. Saat ini bata yang banyak digunakan adalah bata merah dan bata ringan.

Saat ini dikenal dua jenis bata ringan yaitu Bata Ringan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Selama tahun 2013-2018, produksi bata ringan (AAC dan CLC) meningkat dari 6,1 juta m<sup>3</sup> menjadi 8,5 juta m<sup>3</sup>, dengan pertumbuhan rata-rata setiap tahunnya sekitar 8,8%. Ada pun meningkatnya pertumbuhan bata ringan jenis AAC, dikarenakan industri bata ringan tergolong baru sehingga selalu ada penambahan kapasitas terpasangnya, baik perluasan pabrik dari produsen yang sudah ada maupun pemain baru dengan merek dagang yang baru pula (Bassuoni dan Rahman, 2016).

Kapasitas terpasang nasional bata ringan AAC tahun 2018 sebesar 10,7 m<sup>3</sup>, maka utilitasnya sudah mencapai 60%. Bata ringan AAC beredar cukup banyak saat ini. Dengan proses pengeringan pada AAC yang membutuhkan teknologi yang lebih maju misalnya adalah tungku pengering bata ringan AAC yang juga membutuhkan biaya modal lebih tinggi dalam proses pengeringan (Short dan Kinniburgh, 1968).

Permasalahan saat ini adalah penggunaan bata merah pada produksinya berpotensi mencemari lingkungan melalui karbon dioksida yang dihasilkan saat pembakaran. Demikian juga, penggunaan bata ringan jenis AAC membutuhkan teknologi yang tinggi, terutama pada proses pengeringannya. Bata ringan jenis AAC hanya mampu diproduksi oleh industri besar dan sulit dijangkau oleh industri berskala UMKM. Pada penelitian ini dikaji dan dikembangkan jenis bata CLC yang lebih ramah lingkungan dan teknologinya relatif sederhana.

Penelitian yang sudah dilakukan untuk meningkatkan kualitas CLC diantaranya adalah menambahkan pendak *Fly Ash*. Penambahan Pendak *Fly Ash* dan Lumpur Sidoarjo dapat digunakan sebagai substitusi semen dalam pembuatan beton ringan. Pasta ringan yang didapat dari hasil kuat tekan optimum yaitu 25,96 MPa. Berat sampel yang didapat yaitu 1013 kg/m<sup>3</sup> dan 966 kg/m<sup>3</sup> (Tokede dan Wardhono, 2018).

Penelitian lainnya berupa memvariasikan komposisi unsur *foaming agent*, Kuat tekan CLC sangat dipengaruhi oleh densitasnya, semakin tinggi densitas maka kuat tekan akan semakin tinggi. Selain itu kuat tekan CLC juga meningkat seiring dengan pertambahan umur beton. *Foaming agent* tipe SL 100 memiliki kestabilan bentuk gelembung lebih baik dibandingkan tipe lainnya. *Foaming agent* tipe SLF 20 tidak sesuai digunakan dalam pembuatan CLC dengan densitas rencana 800 kg/m<sup>3</sup> sebab hasil kuat tekan yang diperoleh sangat rendah (Arita *et al.*, 2017).

Selain itu pengaruh lama pengeringan juga menjadi faktor kualitas bata ringan, pengujian kuat tekan bata ringan umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata untuk Komposisi 1 dengan kadar *silica fume* 0% sebesar 0,47 MPa, Komposisi 2 dengan kadar *silica fume* 5% sebesar 0,82 MPa, Komposisi 3 dengan kadar *silica fume* 10% sebesar 0,87 MPa, Komposisi 4 dengan kadar *silica fume* 15% sebesar 0,70 MPa, dan komposisi 5 dengan kadar *silica fume* 20% sebesar 0,61 Mpa (Zulapriansyah *et al.*, 2020)

Mengenai kekuatan suatu bata ringan juga sudah dipelajari terhadap beberapa pengujian. Dalam penelitian sebelumnya bata ringan memiliki kekuatan dengan 67% dari rencana dan standar tekan bata ringan 1 Mpa. Dengan kondisi

ini tentu bata ringan memiliki nilai yang berkurang yaitu mudah patah dalam penerimaan pembebanan yang tidak terdistribusi dengan rata (Lembang dan Unwakoly, 2022).

Serat bambu alami dan serat basal digunakan untuk memperkuat AAC dan sifat-sifatnya diselidiki dalam penelitian ini. Kesimpulannya dengan meningkatnya kandungan serat, fluiditas komposisi dan tinggi busa campuran berkurang karena gesekan antara permukaan serat dan komponen cair, dan dengan demikian kepadatan kering AAC meningkat. Penambahan serat juga meningkatkan proporsi area pori-pori pada AAC (Quan *et al.*, 2023).

AAC banyak digunakan sebagai material dinding non-bantalan karena kepadatannya yang rendah, insulasi termal dan suara yang baik, serta kuat tekan yang cukup. Blok AAC biasanya mempunyai kekuatan lentur yang rendah sehingga nyaman untuk pemotongan lebih lanjut selama konstruksi, namun rentan terhadap retak, pecahan, patah, dan bahkan patah selama pengangkutan, sebelum dan sesudah pemasangan. Menambahkan serat industri dapat secara efektif meningkatkan kekuatan lentur blok AAC. Penerapan serat polipropilen, karbon, kaca, atau basal pada blok AAC telah dilaporkan.

Balok AAC dengan serat karbon memiliki kekuatan tekan dan lentur masing-masing sebesar 5,9 MPa dan 1,5 MPa. Namun, penggabungan serat-serat ini meningkatkan biaya produksi dan menimbulkan masalah lebih lanjut. Misalnya, serat kaca yang dapat dihirup diperkirakan bersifat karsinogen dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Dibandingkan dengan serat-serat yang disebutkan di atas, serat tumbuhan alami memiliki banyak keunggulan, antara lain kelimpahan, sifat terbarukan, kemampuan terurai secara hayati, harga rendah, kepadatan rendah, serta kekuatan dan modulus spesifik yang tinggi. Oleh karena itu, serat tumbuhan dapat digunakan sebagai penguat potensial pada komposit semen. Blok AAC dengan serat kayu 0,4% berat memperoleh kuat tekan sebesar 3,9 MPa dan kuat lentur sebesar 1,1 MPa. Namun, lemahnya ikatan antar muka antara serat dan matriks selalu menjadi tantangan utama bagi komposit yang diperkuat serat tanaman (J. Zhang *et al.*, 2022).

Penguatan CLC dilakukan dengan penambahan serat alam. Serat alam banyak ditemui di lingkungan sekitar dengan berbagai jenis. Saat ini, serat alam bahkan telah menjadi limbah yang bisa diolah untuk menambah nilai jual. Salah satu jenis limbah serat yang berpotensi sebagai penguat CLC, adalah limbah serat bambu. menunjukkan bahwa kuat tarik bambu dapat mencapai 151 MPa. Kekuatan tarik serat bambu dapat bervariasi tergantung pada faktor seperti umur bambu, spesies bambu, kondisi pengolahan serat, dan metode pengujian yang digunakan (Awaludin dan Andriani, 2014).

Penambahan komposisi serat alam diharapkan menambah nilai kekuatan bata ringan CLC. Penelitian pada tahap ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen yang dilakukan dengan pengujian uji tekan dan uji *three point bending* pada beberapa sampel bata ringan berjenis CLC. CLC merupakan bata ringan yang terdiri dari campuran *foam*, pasir, semen, dan air. Pengujian eksperimen dilakukan dengan memperhitungkan pengaruh bata ringan yang terdiri dari bahan utama bata ringan dan perpaduan serat. dengan persentase yang diharapkan penambahan serat alam berpengaruh dalam penggunaan material pokok yang akan mempengaruhi kekuatan bata CLC.

Untuk mengetahui kualitas CLC yang dihasilkan dilakukan Uji tekan dan uji *three point bending*. Uji tekan dilakukan terhadap sample berbentuk kubus dengan dimensi 15cm x 15cm. Uji tekan dilakukan dengan memberikan tekanan pada sample yang bertumpu. (*Standard Specification for Foaming agents for Use in Producing Cellular Concrete*), merupakan standar uji tekan bata ringan CLC, standar kuat tekan pada bata ringan adalah harus lebih besar dari 1,4 MPa dengan nilai penyerapan air *water absorption* maksimum 25% (ASTM C869, 2006).

Uji *three point bending* dilakukan terhadap *sample* berbentuk balok dengan dimensi 10 cm x 20 cm x 60 cm dengan standar ukuran bata ringan (SNI 8640:2018) adalah standar tes yang spesifik untuk mengukur sifat mekanik *cellular concrete* menggunakan metode *three point bending*. *Cellular concrete*, juga dikenal sebagai *foam concrete* atau *aerated concrete*, adalah jenis beton yang mengandung gelembung udara yang terkandung dalam matriks semen atau bahan pengikat lainnya. Metode *3-point bending* adalah salah satu cara

untuk mengukur kekuatan dan sifat deformasi dari bahan seperti *cellular concrete*.

## 1.2. Rumusan Masalah

Bata ringan dengan komposisi yang beredar di indikasi memiliki sifat yang mudah patah dan memiliki nilai modal bahan baku yang cukup besar. Kesalahan tersebut terbukti pada tingginya harga jual bata ringan dan tingginya nilai kerugian akibat produksi bata ringan yang gagal dalam *quality control* mengalami patahan dalam pengiriman, hal tersebut terjadi sampai sekarang. Solusi penambahan serat alam digunakan serta dibutuhkan untuk dikembangkan dalam pembuatan bata ringan. Hal inilah yang menjadi suatu dasar dilakukan penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan pengembangan guna tercapainya solusi yang tepat untuk menciptakan modal pembuatan bata ringan yang minim. Dan kekuatan bata ringan yang meningkat. Sebagai pembuktian, hasil pengembangan komposisi dasar bata ringan tersebut dikomparasi dengan bata ringan yang terjual dipasaran saat ini. Eksperimen dan komparasi perbandingan bata ringan yang beredar dengan bata ringan serat alam dilakukan guna pembuktian pengaruh penambahan serat dalam kekuatan bata ringan.

## 1.3. Batasan Masalah

Untuk memperoleh solusi dari penelitian ini, dibutuhkan batasan masalah dan asumsi sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan penggunaan serat alam dalam kondisi basah.
2. Pengamatan dan pembebanan berfokus pada *bending* dan fenomena *buckling* pada analisis penelitian.
3. Rancang bangun alat uji tekan hanya mampu membaca tekanan sampai dengan 10 ton.
4. Kondisi thermal yang terjadi pada contoh bata ringan baik silinder maupun kubus dan balok diabaikan, sehingga diasumsikan tidak terjadi efek *thermal stress* pada penelitian ini yang menyebabkan distorsi.

5. Penelitian ini menggunakan Semen Portland Composite Cement (PCC) dengan salah satu jenis merk Semen Baturaja yang memenuhi kriteria (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014)

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk

1. Merancang dan membangun alat uji tekan dan uji *three point bending*
2. mendapatkan bahan dan komposisi yang optimal serta metode pembuatan bata ringan CLC serat bambu yang berkualitas.

#### **1.5. Sistematika Penulisan**

Penyusunan thesis ini terdiri atas 5 Bab. Bab I Pendahuluan yang berisikan penjelasan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah serta sistematika penulisan thesis. Bab II merupakan Tinjauan Pustaka, yang berisikan tentang teori-teori dasar yang berhubungan dengan topik thesis, serta mendukung pembahasan pada Bab IV. Bab III adalah Metode Penelitian yang berisikan tentang bagaimana proses pembuatan dan sistem alat uji tekan bekerja. Serta komparasi perbandingan uji tekan bata ringan serat alam dengan bata ringan yang yang beredar dipasaran.

Hasil dan Pembahasan disajikan pada Bab IV yang berisikan tentang hasil serta pembahasan pengujian bata ringan serat alam yang terdiri dari serat bambu, serat ijuk, dan serat sabut kelapa yang didapatkan, dan juga pengaruh dari nilai konstanta ketidak homogenan. Pada bagian akhir terdapat Simpulan dan Saran yang berisikan simpulan dan hasil pembahasan yang didapatkan serta saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk penelitian lebih lanjut. Selanjutnya Daftar Pustaka, di mana pada bagian ini berisikan tentang sumber-sumber kepustakaan yang digunakan, dan terakhir terdapat Lampiran berisikan tentang data-data yang mendukung dalam penulisan laporan akhir ini.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Bata Ringan

Bata ringan atau disebut juga bata hebel seperti gambar 2.1. merupakan salah satu jenis bahan konstruksi yang terbuat dari berbagai komponen seperti pasir kuarsa, semen, kapur, gipsum, air, dan pasta alumunium. Blok ini umumnya digunakan sebagai pengganti batu bata tanah liat tradisional yang dibakar karena kepadatannya yang lebih rendah, insulasi termal yang lebih tinggi, dan lebih baik (Widyawati dan Haqqi, 2020).



Gambar 2. 1. Bata Ringan CLC  
(Sri Harjanto. *et al.*, 2007)

Pengertian bata ringan sebagai bahan bangunan yang memiliki kepadatan rendah dibandingkan dengan bata konvensional. Bata ringan biasanya terbuat dari campuran pasir, semen, air, dan bahan pengembang seperti aluminium powder atau bubuk soda kue. Bahan pengembang tersebut menghasilkan gelembung udara di dalam adukan, yang memberikan sifat ringan pada bata tersebut. Bata ringan memiliki sifat isolasi termal dan akustik yang baik, serta

kemampuan struktural yang memadai. Mereka juga dikenal karena keunggulan dalam efisiensi termal, ketahanan terhadap api, dan kemudahan dalam proses instalasi.

## 2.2. Jenis-Jenis Bata Ringan

Bata Ringan *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) Bata ringan AAC adalah jenis bata ringan yang terbuat dari campuran pasir, semen, air, dan bahan pengembang seperti *aluminium powder*. Bata ini diproduksi dengan proses pemanasan dan pengembangan dalam *autoclave* yang menghasilkan gelembung udara tertutup di dalamnya. Bata ringan AAC memiliki kepadatan rendah, kekuatan struktural yang baik, serta sifat isolasi termal dan akustik yang unggul.

Bata Ringan *Cellular Lightweight Concrete* merupakan Bata ringan *cellular concrete*, juga dikenal sebagai bata ringan seluler, dibuat dengan mencampurkan busa pengembang ke dalam campuran pasir, semen, dan air. busa pengembang ini menghasilkan gelembung udara yang lebih besar dan terbuka di dalam bata. Bata ringan seluler memiliki kepadatan rendah, kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan AAC, namun memiliki sifat isolasi termal dan akustik yang baik (Joshi *et al.*, 2015).

## 2.3. Proses Pembuatan Bata Ringan

Proses pembuatan bata ringan dilakukan dengan pencampuran bahan utama berupa *foam agent*, pasir, air, dan semen. Proses pembuatan bata hebel dilakukan melakukan pencampuran foam agent dengan air dalam mesin foam generator. Setelah menjadi buliran foam padat dilakukan pencampuran terhadap formula semen dan pasir yang sudah tercampur. Umumnya, proses pembuatan dilakukan dengan pemanasan alami pada proses Bata ringan CLC, hal ini tentu membutuhkan proses pengeringan dan pengerasan yang lebih lama. Sedangkan pada bata ringan berjenis AAC, material dan prosesnya setara dengan bata ringan CLC. Hanya yang membedakan kali ini adalah proses pengeringan dan pengerasan bata ringan AAC yang dimasukkan ke

dalam tungku pemanas sehingga tidak membutuhkan waktu yang lama dalam proses pembuatan (Joshi *et al.* , 2015).

Proses pengeringan yang berbeda juga mempengaruhi kekuatan dua jenis bata ringan yang berbeda ini, AAC cenderung lebih kuat dibandingkan CLC karena kadar air CLC sangat sedikit. Proses dalam pembuatan bata ringan Cellular Lightweight Concrete (CLC) antara lain semen, pasir, dan air di masukan ke dalam mixer hingga campuran merata. Kemudian, Busa yang dihasilkan dari foam generator di masukan ke dalam campuran mixer, hingga campuran merata. Lalu Setelah campuran merata, adonan tersebut dituang ke dalam cetakan bata ringan. Setelah dirasa cukup, Cetakan dibuka setelah  $\pm$  12 jam. Dan Setelah cetakan dibuka, bata ringan disimpan di tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung. Pada Hari ke-11 sampai hari ke-20 bata disimpan di tempat yang teduh. Setelah 28 hari, bata ringan siap untuk digunakan.

### 2.3.1. Komposisi Bata Ringan CLC

Bata ringan CLC yang akan menjadi bahan uji memiliki komposisi campuran matrix seperti air, pasir, semen, *foaming agent*, dan Serat alam.

#### 1. Air

Air merupakan salah satu bahan penting dalam campuran bata ringan karena tanpa air maka pengikatan reaksi kimiawi antara material penyusun bata ringan antara semen, pasir dan bahan tambahan tidak dapat terjadi. Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Mulyono, 2018).

Air merupakan salah satu komponen penting dalam pembuatan beton, karena menjadi salah satu bahan untuk proses hidrasi pada semen. Penggunaan air juga harus diperhatikan, jika air yang digunakan terlalu banyak maka campuran beton akan mengalami segregasi dan mutu beton menjadi menurun, namun apabila air terlalu sedikit maka workability beton akan menjadi besar. Jadi harus sangat berhati-hati dalam menggunakan air dalam proses pembuatan beton. Selain hal tersebut masih banyak syarat-syarat agar air dapat digunakan pada

campuran beton sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada beton maupun tulangan dalam beton.

Air yang mengandung senyawa yang berbahaya, yang mengandung garam maupun gula, tercemar minyak, dan bahan kimia lainnya bila menjadi bahan untuk pembuatan beton maka dapat menurunkan kualitas dari beton tersebut (Mulyono, 2015).

Terdapat SNI yang juga memberikan syarat yang sama yaitu air yang akan digunakan dalam campuran harus terbebas dari alkali, asam, oli, garam dan bahan organik yang berlebihan hal tersebut dikarenakan dapat mengurangi mutu beton dan berpengaruh pada tulangan (SNI 03-2847-2002, 2002).

Air yang akan digunakan dalam campuran beton haruslah air yang bersih. Apabila terdapat kotoran dalam air, durabilitas dari beton akan menurun. Hal tersebut disebabkan oleh berbagai macam kotoran yang terdapat dalam air, kotoran tersebut akan menurunkan kerja air terhadap proses hidrasi dengan semen, waktu pengikatan semen juga ikut terhambat sehingga menyebabkan ketahanan dan kekuatan beton menjadi menurun.

Adapun batas toleransi kotoran yang terkandung dalam air. Batasan tersebut akan dijelaskan pada Tabel 2.1. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1. Batas Toleransi Kotoran pada Air

<b>Kotoran</b>	<b>Konsentrasi maksimum (ppm)</b>	<b>Keterangan</b>
Suspensi	2000	Silt, tanah liat, bahan organik.
Ganggang	500 – 1000	Air entrain
Karbonat	1000	Mengurangi setting time
Bikarbonat	400 – 1000	400 ppm untuk Ca,Mg
Sodium sulfat	10000	Kekuatan dini dapat meningkat, tapi kekuatan akhir menurun
Magnesium sulfat	40000	
Sodium klorida	20000	Mengurangi setting time, kekuatan dini meningkat tetapi kekuatan akhir menurun
Kalsium klorida	50000	
Magnesium klorida	40000	
Garam besi	40000	Memperlambat set
Phospat, arsenat, borat	500	
Garam Zn,Cu,Mn,Sn	500	

Asam inorganic	10000	pH tidak kurang dari 3,0
Sodium hidroksida	500	
Sodium Sulfida	100	Beton harus diuji
Gula	500	Mempengaruhi set

Sumber : (ASTM C94/C94M-21a, 2021)

## 2. Pasir

Pasir merupakan salah satu bahan campuran yang penting dalam pembuatan bata ringan, pasir merupakan agregat halus yang proses sejarahnya terbentuknya berasal dari peristiwa geologi yaitu proses beku, sedimen, dan metamorf (Mulyono, 2018). Pada penelitian ini pasir digunakan sebagai agregat, hal tersebut dikarenakan ukuran pasir yang kecil sehingga dapat meminimalkan terjadinya rongga (*void*) pada beton kering. Apabila rongga yang terjadi terlalu banyak maka dapat menyebabkan kekuatan beton yang tidak maksimal. Dalam penggunaan pasir sebagai agregat, pasir tersebut harus dapat memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

### a. Kadar Lumpur Agregat

Lumpur merupakan bagian butiran yang melewati ayakan 0,063 mm. Kandungan lumpur dalam pasir tidak boleh melebihi dari 5% berat pasir. Syarat tersebut tercantum pada peraturan beton bertulang Indonesia, (dirjen).

Kadar lumpur pasir dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Kadar lumpur =

$$\frac{G_0 - G_1}{G_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

$G_0$  = berat pasir awal (100gr)

$G_1$  = berat pasir akhir (gr)

### b. Kandungan Zat Organik

Zat organik adalah zat yang bersala dari makhluk hidup, biasanya tumbuhan, mikroorganisme, dan sampah. Apabila zat tersebut tercampur pada campuran beton maka akan membuat mutu beton

menjadi turun. Jadi agregat harus benar-benar bersih dari kandungan zat organik. Pada Table 2.2 dijelaskan bahwa perubahan warna pada larutan air dan NaOH akan menunjukkan prosentase kandungan zat organik pada agregat.

Tabel 2. 2. Hubungan antara Warna Larutan Agregat Halus Terhadap Prosentase Kandungan Zat Organik.

Warna campuran air + NaOH	Prosentase
Jernih	0 %
Kuning Muda	0 – 10 %
Kuning Tua	10 – 20 %
Kuning Kemerahan	20 – 30 %
Coklat Kemerahan	30 – 50 %
Coklat Tua	50 – 100 %

Sumber : (Dirjen Cipta Karya, 1971)

Apabila air berwarna jernih maka kandungan zat organik dalam agregat rendah, dan agregat tersebut dapat langsung digunakan sebagai bahan campuran beton. Jika air tersebut berwarna keruh maka kandungan zat organik pada agregat tersebut cukup banyak, sehingga agregat tersebut harus dibersihkan terlebih dahulu dengan cara dicuci, agar agregat tersebut bersih dari zat organik dan dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.

c. *Specific Gravity* Agregat

*Specific gravity* adalah peneltian untuk menentukan berat jenis agregat dan daya serap agregat. Penelitian ini dilakukan dengan dua tahap yaitu :

Tahap I : Penentuan keadaan fisik bahan (pasir dalam keadaan kering permukaan atau SSD).

Tahap II : Penentuan berat jenis agregat (*Specific gravity*).

Pengujian *specific gravity* agregat halus mengacu pada ASTM C 128. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan :

1. *Bulk Specific Gravity*, yaitu perbandingan antara berat pasir kering dengan volume total pasir.

Persamaan yang digunakan :

*Bulk Spesific Gravity* =

$$\frac{A}{B+D-C} \dots\dots\dots(2.2)$$

2. *Buluk Spesific Gravity SSD*, perbandingan natara berat pasir dalam keadaan SSD dengan volume pasir total.

Persamaan yang digunakan :

*Bulk Spesific Gravity SSD* =

$$\frac{D}{B+D-C} \dots\dots\dots(2.3)$$

3. *Appearent Spesific Gravity*, perbandingan antara berat pasir kering dengan volume pasir.

*Appearent Spesific Gravity* =

$$\frac{A}{A+B-C} \dots\dots\dots(2.4)$$

4. *Absorbtion*, yaitu perbandingan antara berat air yang diserap pasir dengan berat pasir kering.

Persamaan yang digunakan:

*Absorbtion* =

$$\frac{D-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

A = Berat pasir kering oven (gr)

B = Berat *volumetric flask* + air (gr)

C = Berat pasir + air + *volumetric flask* (gr)

D = Berat pasir dalam keadaan kering permukaan (500gr)

d. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah susunan ukuran butiran dari agregat tersebut.

Gradasi agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan campuran dari bahan pembuatan beton, hal tersebut dikarenakan dengan menggunakan gradasi agregat maka rongga (*void*) pada beton dapat berkurang. Selain itu gradasi agregat menentukan sifat pengerjaan dan sifat kohesi dari campuran beton. pengujian gradasi agregat ini menggunakan standar pengujian (ASTM C 136, 2004). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gradasi atau variasi

butiran pasir, prosentase dan modulus kehalusan. Modulus kehalusan adalah angka yang menunjukkan tingga rendahnya kehalusan butiran agregat.

Modulus kehalusan dihitung denga persamaan berikut :

Modulus kehalusan =

$$\frac{\%kumulatif-tertinggal-100}{100} \dots\dots\dots(2.6)$$



Gambar 2. 2. Pembuatan Bata Ringan AAC  
(Mulyono, 2018)

### 3. Semen

Semen adalah bahan yang mempunyai sifat adhesif maupun kohesif, yaitu sebagai bahan pengikat. Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Terdapat dua macam semen, yaitu semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara, dan semen hidrolis adalah semen yang mempunyai kemampuan untuk megikat dan mengeras di dalam air(Mulyono, 2015).

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dibuat dengan cara menggiling terak, penyusun utama dari semen Portland adalah kalsium silikat yang bersifat hidrolis. Kalsium silikat tersebut digiling bersama-sama dengan Kristal dari kalsium sulfat dan dapat diberi bahan tambah yang lain(SNI 15-2049-2004, 2004).

Semen Portland dibagi beberapa tipe, pembagian tipe tersebut berdasarkan sifat pemakaian. Setiap tipe semen mempunyai spesifikasi yang berbeda-beda. Berikut adalah pembagian tipe-tipe semen portland menurut buku Teknologi beton (Paul Nugraha dan Antoni, 2007).

Tabel 2. 3. Jenis-Jenis Semen Portland dengan Sifat-Sifatnya

Tipe semen	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Kehalusan blaine (m <sup>3</sup> /kg)	Kuat 1 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Panas hidrasi (J/g)
		C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF			
I	Umum	50	24	11	8	350	1000	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	350	900	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	450	2000	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	300	450	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	350	900	250

Sumber : (SNI 2049, 2015)

Semen portland dibagi menjadi lima jenis berdasarkan dengan kegunaan masing masing semen. Pembagian dari lima jenis semen tersebut terdapat di Table 2.3 yang akan ditampilkan dibawah ini :

Tabel 2. 4. Jenis dan Penggunaan Semen Portland

Jenis Semen	Penggunaan
Jenis I	yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
Jenis II	yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
Jenis III	semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
Jenis IV	yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
Jenis V	yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Sumber :(SNI 2049, 2015),

#### 4. Foaming agent

Bahan pembentuk yang menjadikan bata ringan berbeda dengan bata pada umumnya adalah *foaming agent*. *Foaming agent* merupakan zat

yang mampu memperbesar volume bata beton ringan tanpa menambahkan berat dari bata ringan itu sendiri. *Foaming agent* adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut. Dengan membuat gelembung-gelembung udara dalam adukan semen, sehingga akan timbul banyak pori-pori udara di dalam betonnya. *Foaming agent* adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi pada antar muka dan mengaktifkan antar muka tersebut. Detergent mengandung zat “*surface active*” (*surfactant*). Dilihat dari struktur molekulnya, detergent mempunyai dua gugus yang penting yaitu gugus liofil (yang menarik pelarut), dan gugus liofob (yang menolak pelarut). Gugus liofil dapat berupa gugus klorida atau gugus bromida, atau gugus lain yang umumnya merupakan gugus yang pendek. Gugus liofob biasanya terdiri dari rantai alifatik atau aromatik yang umumnya terdiri dari paling sedikit sepuluh atom karbon. Dalam pelarut air, gugus liofil yang juga disebut gugus hidrofil akan menarik molekul air, sedangkan gugus liofob yang juga disebut hidrofob akan menghadap ke udara. Larutan detergent di dalam air merupakan larutan koloid dan pada konsentrasi yang tinggi maka partikel-partikel koloid tersebut akan menggumpal sebagai misel. Ada empat tipe surfaktan yaitu anionik, kationik, non-ionik dan amfolitik. menggunakan foam generator dihasilkan foam yang stabil sehingga sangat cocok digunakan untuk bata ringan (Putranto *et al.*, 2017). Foam yang ditambahkan kedalam campuran mortar bata harus dikontrol untuk mendapatkan densitas yang diinginkan. Dengan menambahkan foam kedalam campuran mortar bata maka dapat meningkatkan volume mortar bata ringan tanpa menambah 22 berat

dari mortar bata itu sendiri. Terdapat 2 jenis *foam agent* yaitu berbahan dasar sintetis dan berbahan dasar protein.

*Foam* berbahan dasar sintetis memiliki kepadatan sekitar 40 kg/m<sup>3</sup> dan dapat mengembang sekitar 25 kali dari volume awal. *Foaming agent* jenis ini sangat stabil untuk bata dengan kepadatan diatas 1000 kg/m<sup>3</sup>. *Foaming agent* ini dapat bertahan hingga 16 bulan dalam keadaan tertutup. Perbandingan *foam* dan air yaitu 1:19. 20 liter *foam* dapat mengembang menjadi sekitar 500 liter *foam* yang stabil dengan berat sekitar 40 kg/m<sup>3</sup>. *Foam* berbahan dasar protein yang didapat dari bahan-bahan alami memiliki berat sekitar 80 kg/m<sup>3</sup> dan dapat mengembang sekitar 12,5 kali dari volume awal. *Foam* ini relatif lebih stabil dan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *foam* sintetis. Tetapi *foam* ini hanya dapat bertahan hingga 12 bulan dalam keadaan terbuka. Perbandingan *foam* dan air yaitu 1:33 sampai 1:39. 40 liter *foam* dapat mengembang menjadi sekitar 500 liter *foam* yang stabil dengan berat sekitar 80 kg/m<sup>3</sup> (Arita *et al.* , 2017).

##### 5. Serat Alam

Serat alam adalah serat yang berasal dari sumber-sumber alami, seperti tumbuhan atau hewan. Serat alam umumnya digunakan dalam industri tekstil untuk membuat kain dan produk tekstil lainnya. Beberapa contoh serat alam yang populer termasuk rami, bambu, ijuk, dan sabut kelapa. Serat alam bambu adalah serat yang diperoleh dari batang bambu. Bambu adalah tanaman rumput yang tumbuh dengan cepat dan memiliki sifat yang kuat serta fleksibel. Serat bambu digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk industri tekstil, konstruksi, dan produksi barang rumah tangga.

Penggunaan serat pada bata ringan CLC dihitung berdasar rasio dalam *l/d* dan *volume fraction*. Kadar optimum harus diperhitungkan dalam penggunaan serat pada campuran beton. Apabila serat yang digunakan terlalu banyak maka akan berdampak pada campuran beton yang akan menjadi *balling* dan *workability* akan meningkat. *Balling* adalah kondisi dimana campuran beton sulit dipadatkan dan

menjadi menggumpal. Jika kadar serat pada campuran beton terlalu sedikit maka kinerja serat tidak akan berpengaruh banyak pada campuran beton.

Serat mempunyai berbagai macam bentuk. Setiap bentuk serat mempunyai keunggulan dan kekurangan pada masing-masing bentuk. Sehingga pemilihan bentuk serat dalam menentukan serat yang akan digunakan sebagai bahan tambah harus diperhatikan.

Berdasarkan baham pembentuknya serat dibagi menjadi berbagai macam, antara lain:

1. Serat Logam

Serat logam terbuat dari bahan yang mengandung karbon. Contoh dari serat logam ini adalah serat besi, serat baja. Serat logam biasanya merupakan serat fabrikasi. Serat fabrikasi umumnya mempunyai panjang 30 – 80 mm dan diameter tertentu berkisar 0,5 – 0,9 mm.



Gambar 2.3. Serat Baja  
(Suryanto, 2016)

2. Serat *Polymeric* atau serat sintetik

Serat *Polymeric* adalah serat yang terbuat dari bahan sintesis seperti serat nylon. Serat ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap ledakan spalling dalam kasus kebakaran, meningkatkan ketahanan terhadap beban kejut yang terjadi, dan mengurangi penyusutan yang terjadi ketika proses *curing*.

3. Serat Mineral

Bahan penyusun dari serat ini adalah mineral. Contoh dari serat ini adalah *fiberglass* yang bahan penyusunnya berupa serat

kaca. Serat ini dapat meningkatkan kekuatan beton terhadap beban kejut yang terjadi dan juga mencegah keretakan beton akibat pengaruh suhu.



Gambar 2.4. *Fibre Glass*  
(Suryanto, 2016)

#### 4. Serat Alam

Serat alam adalah serat yang berasal dari bahan organik. Contoh dari serat alam adalah serat ijuk, serat sabut kelapa, dan serat bambu. Serat bambu inilah yang akan diteliti pada penelitian ini. Mekanisme kerja serat pada gambar 2.6 dalam campuran bata ringan dimulai dengan tercampurnya mortar dengan serat secara homogen. Serat akan menahan beban sesuai dengan modulus elastisitasnya, kemudian bata ringan akan menjadi lebih stabil dalam menahan beban karena aksi serat yang mempunyai daya lekat pada bata ringan. apabila terjadi retakan pada bata ringan maka seratlah yang bekerja untuk menahan retakan yang terjadi pada bata ringan tersebut.



Gambar 2.5. Mekanisme Kerja Serat  
(Suryanto, 2016)

Dalam industri tekstil, serat bambu (gambar 2.7) digunakan untuk membuat kain bambu yang lembut, ringan, dan memiliki sifat yang mirip dengan serat sutra. Kain bambu sering digunakan dalam pembuatan pakaian, seperti kaus, kemeja, celana, dan pakaian tidur. Kain bambu juga diapresiasi karena memiliki sifat antimikroba alami dan kemampuan menyerap kelembapan dengan baik.

Selain itu, serat bambu juga digunakan dalam industri konstruksi. Bambu memiliki kekuatan yang luar biasa dan dapat digunakan sebagai bahan struktural dalam pembangunan rumah, jembatan, dan perabotan. Serat bambu yang diproses juga dapat digunakan sebagai bahan untuk panel, papan partikel, dan produk kayu lainnya (Narayanan dan Ramamurthy, 2000).

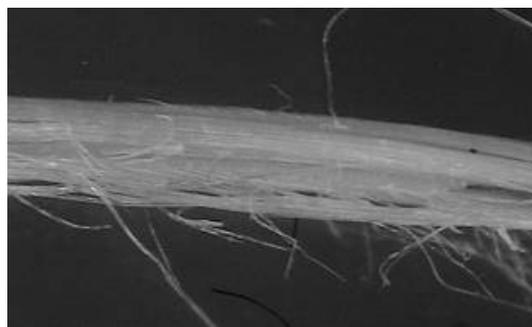
Semakin kecil diameter serat, maka kekuatan tariknya semakin tinggi. Kekuatan tarik terbesar pada kelompok serat ijuk berdiameter kecil (0.25-0.35 mm) adalah sebesar 208.22 MPa, regangan 0.192%, modulus elastisitas 5.37GPa dibandingkan kelompok serat ijuk dengan diameter besar (0.46-0.55 mm) sebesar 198.15 MPa, regangan 0.37%, modulus elastisitas 2.84 GPa. Hal ini dikarenakan rongga pada serat berdiameter 0.46-0.55 mm lebih besar dibandingkan serat berdiameter 0.25-0.35 mm (Andriani *et al.* , 2012).

Selain itu, serat sabut kelapa juga digunakan dalam industri konstruksi. Serat ini digunakan sebagai bahan untuk panel dan papan partikel yang digunakan dalam pembuatan dinding, langit-langit, dan bahan bangunan lainnya. Serat sabut kelapa memiliki sifat isolasi termal yang baik, sehingga membantu dalam menjaga suhu dalam bangunan.

## 5. Serat Bambu

Serat bambu memiliki kekuatan tarik yang bervariasi tergantung pada jenis bambu, metode pemrosesan, dan lokasi serat dalam batang bambu. Penelitian menunjukkan bahwa serat bambu yang diolah secara kimia memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 1,77 GPa dengan modulus elastisitas 23,56 GPa. Sebaliknya, serat bambu yang diolah secara mekanis memiliki kekuatan tarik sebesar 0,93 GPa dengan modulus elastisitas 34,6 GPa. Serat dari bagian luar bambu menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat dari bagian dalam, karena perbedaan densitas dan komposisi vaskular pada kedua bagian tersebut. Penambahan serat bambu meningkatkan kekuatan tekan dan tarik beton sebesar 22% dan 17% secara berturut-turut. Serat bambu memiliki sifat tensil yang luar biasa karena memiliki jaringan internal serat sklerenkim yang kuat. Selain itu, serat bambu memiliki rasio aspek yang superior yang meningkatkan kekuatan saat diperkenalkan ke dalam campuran beton (Joshi *et al.* , 2015).

Serat bambu memiliki kekuatan yang relatif kuat dan lebih ringan dibandingkan serat alam lainnya. Serat ini memiliki massa jenis  $0,974 \text{ g/cm}^3$  dan kekuatan tarik 45,62 MPa . Bambu Betung merupakan bambu yang paling kuat dibandingkan bambu lainnya, bahkan kekuatan bambu setelah proses alkalisasi meningkat mencapai 384,6 MPa, walaupun massa jenisnya lebih tinggi dengan  $1,3 \text{ g/cm}^3$  ( Zhang *et al.*, 2021).



Gambar 2.6. Serat Alam Bambu  
(Awaludin dan Andriani, 2014)

#### 2.4. Uji Kuat Tekan Bata Ringan dan Uji *Three point bending*

Kuat tekan adalah kemampuan bata ringan untuk menahan gaya tekan yang diberikan dalam setiap satu satuan luas dari permukaan bata ringan. Secara teoritis, kekuatan tekan bata ringan dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu pasta semen, agregat, volume rongga pori dan interface (hubungan antar muka) antara pasta semen dengan agregat. Penelitian (Setioko *et al.*, 2015) menyimpulkan bahwa perbedaan jenis pasir yang digunakan juga berpengaruh pada kuat tekan bata ringan, terbukti bahwa menggunakan jenis pasir kuarsa akan menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan pasir woro. Komposisi optimal dengan campuran semen pasir, *foaming agent*, dan air didapat penambahan variasi *foaming agent* sebanyak 0,6 lt/m<sup>3</sup> yaitu semen 6,2 kg, pasir 12,3 kg, air 3,1 kg dan *foaming agent* 8 ml.

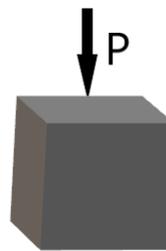
Hasil kuat tekan rata-rata bata ringan dengan komposisi perbandingan semen dan pasir 3:5 untuk umur 28 hari, didapat sebesar 0.41 Mpa untuk campuran yang menggunakan pasir agak kasar dan 1.31 Mpa untuk campuran yang menggunakan pasir agak halus. Nilai kuat tekan diperoleh dari pengujian terhadap sampel bata ringan yang diberikan beban dan ditekan sampai hancur (Nwaoha *et al.*, 2016).

Kelayakan bata ringan belum terdapat pada aturan Standar Nasional Indonesia (SNI). Berdasarkan hal tersebut maka digunakan (SNI 03-0349-1989, 1989) tentang bata beton untuk pasangan dinding sebagai syarat yang akan digunakan untuk bata ringan. Disisi lain kekuatan bata ini mempunyai kekuatan tekan antara 1 MPa sampai 15 Mpa.

Berat jenis (densitas) Berat jenis merupakan ukuran kepadatan dari suatu material atau sering didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan volume (v) (Mulyono, 2015). Secara matematis densitas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2.7)$$

Prosedur pengujian kuat tekan untuk bata ringan (*autoclaved aerated concrete*) mencakup beberapa tahapan yang harus diikuti secara cermat untuk memastikan hasil yang akurat. Pertama, spesimen bata ringan dipersiapkan dalam bentuk kubus dengan sisi 100 mm atau 150 mm, atau dalam bentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Spesimen ini kemudian dikeringkan hingga mencapai kondisi kering oven untuk menghilangkan kandungan air yang dapat mempengaruhi hasil pengujian. Gambar 2.7. merupakan skema pengujian tekan pada benda uji dengan ukuran 15 x 15 cm. Standar ini juga mengatur mengenai peraturan perhitungan seperti diatas (SNI 8640, 2018).



Gambar 2.7. Skema Uji Tekan

Selanjutnya, permukaan spesimen harus diratakan dan diselaraskan untuk memastikan distribusi beban yang merata selama pengujian. Permukaan yang tidak rata dapat menyebabkan konsentrasi tegangan yang tidak merata dan menghasilkan data yang tidak akurat. Oleh karena itu, penghalusan permukaan spesimen menggunakan alat yang sesuai menjadi langkah penting dalam persiapan.

Proses pengujian dimulai dengan menempatkan spesimen pada mesin uji tekan. Beban kemudian diterapkan secara bertahap dan terus menerus dengan kecepatan yang konstan hingga spesimen mencapai titik kegagalan, yaitu ketika spesimen mulai retak atau hancur. Beban maksimum yang diterima oleh spesimen dicatat untuk perhitungan kuat tekan.

Kuat tekan bata ringan dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh spesimen dengan luas penampangnya. Perhitungan ini memberikan nilai kuat tekan yang merupakan indikator kemampuan bata

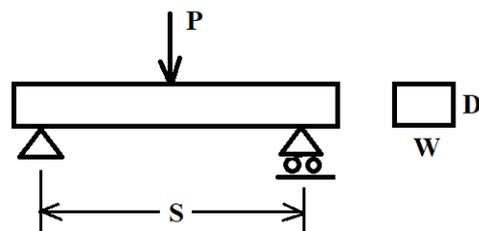
ringan untuk menahan beban sebelum mengalami kegagalan struktural. Sesuai dengan (SNI 8640, 2018)

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana P adalah gaya pada saat kegagalan dan A adalah luas penampang. Kuat tekan ini merupakan kuat tekan rata-rata yang dapat diterima oleh sample.

Sedangkan *three point bending* dengan acuan, metode uji kuat lentur beton menggunakan balok sederhana dengan pembebanan pada sepertiga titik dilakukan dengan cara berikut: Spesimen uji dituangkan dalam bentuk balok dengan ukuran standar 150 mm x 150 mm x 530 mm (6 in x 6 in x 21 in). Mesin uji bending yang digunakan harus mampu menerapkan beban dengan kecepatan konstan, dilengkapi dengan dua titik penyangga dan dua titik penerapan beban yang ditempatkan pada jarak sepertiga dari panjang balok. Spesimen diletakkan di atas penyangga dengan bagian bawah yang akan diuji berada di bawah beban penerapan. Beban diterapkan pada spesimen dengan kecepatan sekitar 0.01–0.05 MPa/s sampai spesimen mengalami kegagalan (ASTM C78/C78M, 2021).

Kuat lentur dihitung menggunakan rumus yang memperhitungkan beban maksimum yang diterima spesimen, jarak antar penyangga, dan dimensi spesimen dilakukan dengan metode *three point*, dengan skema pengujian seperti gambar berikut



Gambar 2.8. Uji Bending 3 Point

Kekuatan bending (*flexural strength,  $S_F$* ) dan modulus bending (*flexural modulus,  $E_F$* ) dapat dihitung dengan rumus.

$$S_F = \frac{3P_m S}{2WD^2} \quad \text{dan} \quad E_F = \frac{S^3}{4WD^3} \left( \frac{\Delta P}{\Delta X} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana  $\left( \frac{\Delta P}{\Delta X} \right)$  diperoleh dari gradien grafik *Load-Displacement*,  $P_m$  = Beban maksimum,  $S$  = bentangan spesimen,  $D$  = lebar spesimen dan  $W$  =tebal spesimen.

## 2.5. Alat Uji Kuat Tekan

Alat uji kuat tekan merupakan perangkat atau sistem yang digunakan untuk mengukur kekuatan tekan. Tujuan utama dari pengujian kuat tekan adalah untuk menentukan daya tahan terhadap tekanan yang diterapkan padanya.

Alat uji kuat tekan beton umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk:

1. Mesin Uji Tekan: Mesin uji tekan beton adalah komponen utama yang digunakan untuk menerapkan beban tekan pada spesimen beton. Mesin ini biasanya menggunakan sistem hidrolik atau elektromekanik untuk menghasilkan gaya tekan yang diperlukan. Mesin uji tekan beton dilengkapi dengan mekanisme yang dapat memberikan beban secara bertahap dan mengukur kekuatan maksimum yang tercapai sebelum spesimen patah.
2. Plat Uji: Plat uji adalah permukaan datar dan keras di mana spesimen beton ditempatkan saat diuji. Plat uji biasanya terbuat dari baja yang kuat dan memiliki permukaan yang rata agar spesimen beton dapat ditempatkan dengan stabil. Plat uji memiliki ruang yang cukup untuk menampung spesimen beton dengan ukuran yang sesuai.
3. Spesimen Beton: Spesimen beton adalah benda uji yang diambil dari struktur beton yang akan diuji. Spesimen ini biasanya berbentuk silinder dengan ukuran standar yang ditentukan, seperti diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Spesimen beton akan ditempatkan di antara plat uji dan piston mesin uji tekan.
4. Piston: Piston adalah komponen yang menekan spesimen beton dari atas. Piston ini terhubung dengan mesin uji tekan dan ditenagai oleh

sistem hidrolik atau elektromekanik. Beban tekan diterapkan secara perlahan pada spesimen beton melalui gerakan piston.

5. *Load cell* : *Load cell* atau sel beban adalah sensor yang digunakan untuk mengukur gaya tekan yang diterapkan pada spesimen beton. *Load cell* mengubah gaya fisik menjadi sinyal listrik yang kemudian diukur dan direkam oleh sistem pengukuran. Data yang diperoleh dari *load cell* digunakan untuk menghitung kekuatan tekan beton.
6. Sistem Pengukuran dan Pencatatan Data: Alat uji kuat tekan dilengkapi dengan sistem pengukuran yang dapat merekam data kekuatan tekan yang diperoleh selama pengujian. Data ini mencakup beban yang diterapkan, kekuatan maksimum yang tercapai sebelum patah, dan data lain yang relevan. Pencatatan data ini membantu dalam evaluasi dan analisis kekuatan beton.
7. Alat uji kuat tekan digunakan dalam industri konstruksi untuk memastikan kekuatan dan kualitas beton yang digunakan dalam proyek. Pengujian kuat tekan juga penting dalam penelitian dan pengembangan material serta dalam pengawasan kualitas beton yang diproduksi dalam skala industri.

## 2.6. Kekuatan Bata Ringan

Bata ringan memiliki kuat tekan yang beragam tergantung dari jenisnya. Selain itu komposisi merupakan faktor utama nilai kekuatan bata ringan. Berat bata ringan berkisar antara 600-1800 kg/m<sup>3</sup>, sehingga salah satu keunggulan dari bata ringan adalah beratnya yang lebih ringan dari bata normal. Disisi lain kekuatan bata ini mempunyai kekuatan tekan antara 1 MPa sampai 15 MPa.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yakni dengan membuat bata ringan CLC dengan substitusi tanah putih sebesar 0%, 50%, dan 100% dari berat pasir. Bata ringan yang telah di curing selama 7, 14 dan 28 hari kemudian diuji untuk mendapatkan nilai kuat tekan dan serapan air dari dari bata ringan. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat tekan bata ringan CLC normal pada umur 7 hari adalah sebesar 0,861 MPa. Kuat tekan bata ringan lebih besar

29,04% yaitu 1,111 MPa pada substitusi 50 % tanah putih, dan lebih besar 77,47 % yaitu 1,528 MPa pada substitusi 100% tanah putih. Pada umur 14 hari, nilai kuat tekan bata ringan normal 0,889 MPa. Nilai kuat tekan lebih besar 49,94% yaitu 1,333 MPa, dan lebih besar 87,51% yaitu 1,667 MPa pada substitusi 50% dan 100% tanah putih (Hunggurami *et al.*, 2014).

## 2.7. Uji Porositas dan Densitas

### 2.7.1. Porositas

Porositas merupakan besarnya persentase pori-pori kosong atau kadar yang terdapat pada benda uji dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan benda uji bata ringan serat alam . Rongga pori pada benda uji biasanya berisi udara yang saling berhubungan (Sebayang *et al.*, 2022). Pengujian porositas penelitian ini mengacu pada (ASTM C20, 2022). Dimana besarnya porositas dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan P adalah nilai porositas (%),  $W_1$  sebagai massa benda uji kering setelah di oven 24 jam (g),  $W_2$  sebagai massa benda uji setelah direndam 24 jam (g),  $m_3$  sebagai massa benda uji yang berada di dalam air (g).

### 2.7.2. Densitas

Pengujian densitas benda uji menggunakan prinsip hukum Archimedes. Hukum Archimedes menyebutkan bahwa suatu benda yang dicelupkan kedalam air akan mengalami gaya ke atas dimana besarnya gaya angkat tersebut sama dengan zat cair yang dipindahkan. Hal ini menjelaskan bahwa suatu benda yang semakin banyak volume tercelup atau semakin banyak air yang dipindahkan ketika benda tersebut dicelupkan ke dalam air, maka benda akan mendapat gaya angkat yang semakin besar pula. Gaya Archimedes atau gaya apung ini arahnya selalu menjauhi gaya gravitasi.

Gaya Archimedes tidak terlepas dari pembahasan gaya stokes. Gaya stokes merupakan gaya yang berlawanan arah terhadap gerak benda di dalam suatu fluida. Apabila suatu benda memiliki gerak ke bawah, maka benda tersebut memiliki gaya stokes yang arahnya berlawanan arah yaitu ke atas. Persamaan (2.7) merupakan rumus untuk mendapatkan nilai densitas.

## 2.8. Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya akan diolah dengan menggunakan dua cara, yaitu analysis of variance (ANOVA) untuk nilai rata-rata dan ANOVA untuk nilai signal to noise ratio (SNR). Metode ANOVA (Analysis of Variance) dan metode Taguchi adalah dua teknik statistik yang sering digunakan dalam penelitian untuk analisis variasi dan optimasi kualitas. Metode ANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata dari tiga atau lebih kelompok untuk menentukan apakah ada perbedaan signifikan antar kelompok. Rumus dasar ANOVA melibatkan beberapa tahap. Pertama, hitung Total Sum of Squares (SST) yang mencerminkan variasi total dalam data. ANOVA untuk nilai rata-rata dipergunakan untuk mencari faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi hasil eksperimen (*setting level*). Sedangkan ANOVA untuk nilai SNR dipergunakan untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu karakteristik kualitas :

- a. Perhitungan Nilai Rata-rata dan SNR

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana  $\mu$  merupakan nilai rata-rata perhitungan hasil eksperimen, dimana  $n$

adalah jumlah pengulangan, dan  $\sum_{i=1}^n y_i$  merupakan penjumlahan data pengulangan.

Metode Taguchi adalah teknik optimasi kualitas yang menggunakan desain eksperimen untuk mengurangi variasi dan meningkatkan ketahanan terhadap faktor gangguan. Langkah-langkah dalam metode Taguchi meliputi: pemilihan

faktor dan level yang mempengaruhi proses, desain eksperimen menggunakan matriks ortogonal, pelaksanaan eksperimen, analisis data dengan menghitung Sinyal terhadap Derau (SNR), optimalisasi untuk menemukan kombinasi terbaik faktor dan level, dan konfirmasi eksperimen. Rumus dasar untuk SNR dalam metode Taguchi, misalnya untuk karakteristik "lebih besar lebih baik", adalah:

$$SNR = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2} \right) \dots\dots\dots(2.12)$$

di mana  $y_i$  adalah nilai pengamatan dan  $n$  adalah jumlah pengamatan.

b. Perhitungan Annova

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \dots\dots\dots(2.13)$$

menghitung nilai rata-rata semua hasil eksperimen, kemudian menghitung nilai rata-rata setiap level faktor, contoh A level 1

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Kemudian dilakukan perhitungan nilai total *sum of square*

$$SSTotal = \sum Y^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Menghitung nilai *sum of square due to mean*

$$mean(s_m) = n \bar{y}^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

Menghitung nilai *sum of squares due to factors*,

$$SS_A = n_{A1} * \bar{A1}^2 + n_{A2} * \bar{A2}^2 + n_{A3} * \bar{A3}^2 + S_m \dots\dots\dots(2.17)$$

Menghitung nilai *sum of squares due to error*

$$SSe = SSTotal - Sm - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D) \dots\dots\dots(2.18)$$

Menghitung derajat bebas, dengan faktor A dilakukan dengan

$$DF_A = \text{jumlahlevel} - 1 \dots\dots\dots(2.19)$$

Menghitung nilai *mean sum of squares*, contohnya perhitungan faktor A.

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A} \dots\dots\dots(2.20)$$

Menghitung nilai F ratio, dengan faktor A.

$$F = \frac{M_A}{M_e} \dots\dots\dots(2.21)$$

Meghitung *pure sum of squares*, contoh perhitungan faktor A.

$$SS_A' = SS_A - DF_A * M_e \dots\dots\dots(2.22)$$

Menghitung *percent contribution*, contoh perhitungan faktor A.

$$\rho A = \frac{SS_A'}{SS_t} * 100\% \dots\dots\dots(2.23)$$

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

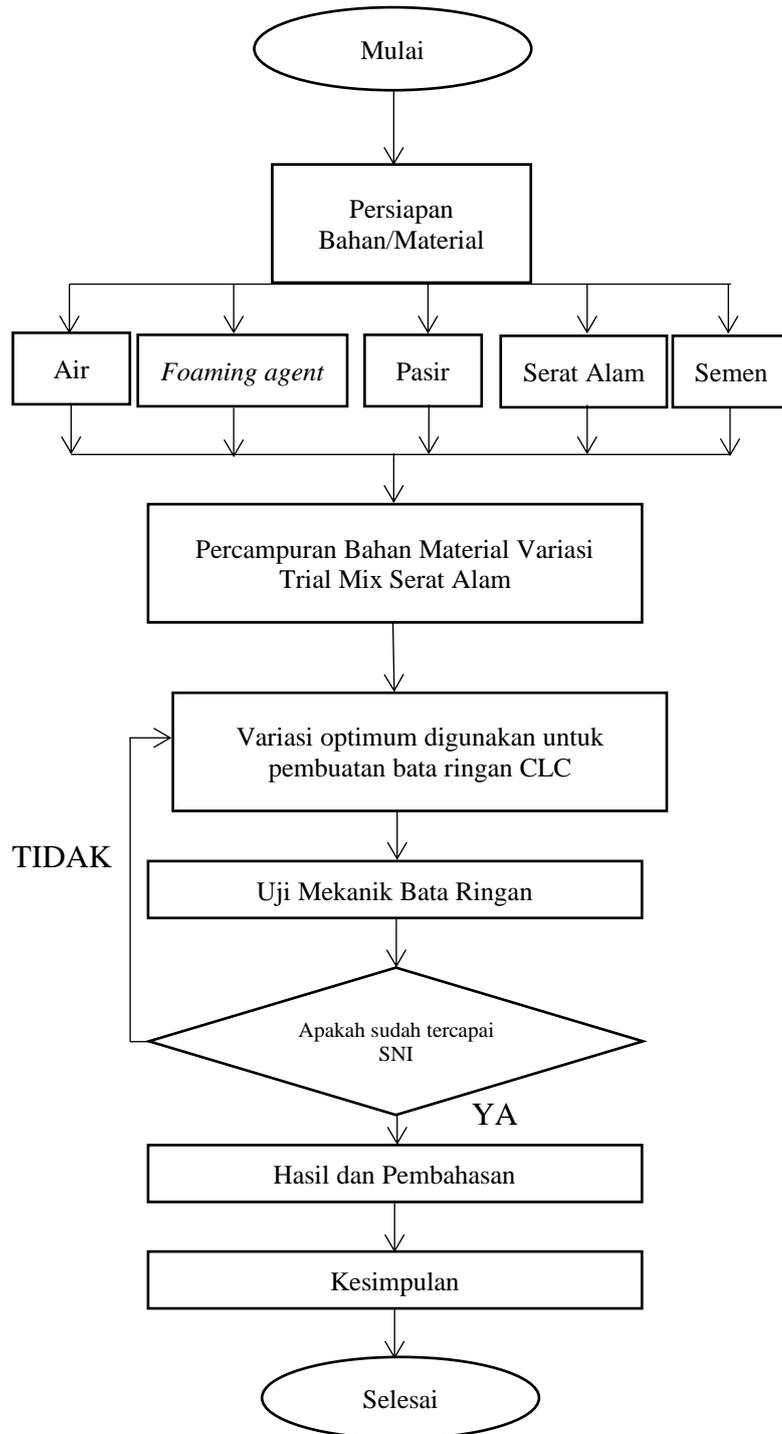
Penelitian dilakukan dari September hingga Desember 2023 di Laboratorium Mekanika Struktur dan Hanggar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, sesuai dengan rancangan pelaksanaan seperti yang tertera pada Tabel 3.1. Metode eksperimen menggunakan pembuatan dan pengujian bata ringan CLC serat alam untuk mencari komposisi kualitas mekanik terbaik. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Anova, dan dilakukan pula perhitungan teoritis untuk memverifikasi hasil eksperimen. Waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1. Metode eksperimen ini memungkinkan evaluasi berbagai kombinasi bahan dan proporsi untuk mencapai hasil yang optimal dalam hal kualitas mekanik bata ringan CLC. Penggunaan perangkat lunak Anova mendukung analisis statistik untuk menentukan perbedaan signifikan antara parameter yang diuji. Tujuan penelitian adalah untuk menyelidiki karakteristik mekanik bata ringan CLC serat alam serta faktor-faktor yang secara signifikan memengaruhi kualitasnya.

Tabel 3.1. Rancangan Kegiatan Penelitian Tesis

Kegiatan		Oktober				November				November				Desember				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Studi Literatur	■	■	■	■													
2	Seminar Proposal					■	■											
3	Pembuatan benda uji							■	■									
4	Pengujian							■	■	■	■							
5	Pengolahan data											■	■	■	■			
6	Pembuatan Laporan akhir															■	■	■

### 3.2. Diagram Alir

Diagram alir merupakan suatu acuan dilakukan penelitian ini seperti gambar 3.1. berikut :



Gambar 3.1. Diagram Alir

Gambar 3.1. menggambarkan alur proses penelitian, dimana pada awal penelitian dilakukan dengan pengkajian teori. Teori yang dipelajari mengenai bata ringan. Adapun dalam penelitian yang dilakukan mengenai bata ringan CLC. Setelah mempelajari teori sebagai landasan dasar penelitian. Kegiatan eksperimental dilakukan dengan pembuatan benda uji.

Proses selanjutnya dilakukan persiapan bahan material pembuatan bata ringan serat alam. Bahan utama yang harus disiapkan adalah air, *foaming agent*, pasir, semen dan tentunya serat alam. Proses selanjutnya dilakukan pencampuran komposisi bata ringan CLC yang dilakukan dengan beberapa variasi komposisi serat alam. Serat alam dengan kadar 0%, 0.5%, dan 1% dari berat total adukan. Panjang serat alam dengan variasi pendek, sedang, dan panjang. Perbandingan semen dan pasir terhadap komposisi campuran bata ringan yaitu variasi 1:1,2, 1:1,4, dan 1:1,6 dari berat total komposisi.

Setelah proses pembuatan bata ringan selesai dilakukan *injuri time* atau proses pengeringan benda uji selama minimal 28 hari. Dan dilakukan penyiraman di hari ke 5 dan 15. Ketika benda uji dalam kondisi kering, dilakukan pengujian dengan uji tekan dan *three point bending*. Uji tekan dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh penambahan serat alam. dan uji *three point bending* dilakukan untuk membandingkan nilai kekuatan benda uji dengan bata ringan yang beredar di pasaran. Hal ini lah yang akan menjadi data utama yang kemudian akan menjadi hasil serta output penelitian.

### 3.3. Pembuatan Alat Uji

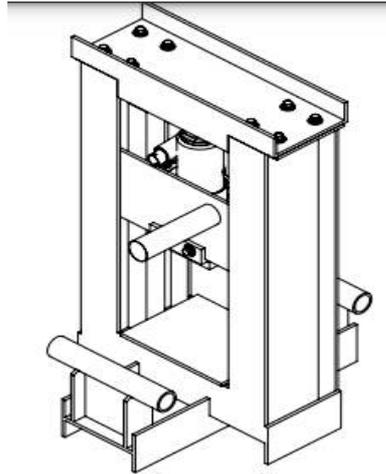
Alat uji yang digunakan adalah alat uji tekan dan alat uji *three point bending*. Adapun rancang bangun yang dilakukan pada alat uji adalah sebagai berikut :

### A. Alat Uji Tekan

Alat uji tekan dilakukan dengan dimulai dengan mendesain kerangka alat tersebut. Setelah desain selesai, material yang cocok untuk kerangka dipilih dengan cermat. Selanjutnya, pembangunan alat uji tekan dilakukan, dan pembacaan data pengujian dilakukan menggunakan *load cell* serta perangkat pendukung seperti ESP8266, HX711, dan software Arduino IDE. Proses perancangan ini membutuhkan kalibrasi awal agar perangkat dapat terhubung dengan Arduino IDE. Kalibrasi ini memerlukan pemrograman yang tepat agar data dapat terbaca pada software tersebut. Setelah kalibrasi, ESP8266 akan menerima data dari Arduino dan mengirimkannya untuk membaca pembebanan serta sensor *displacement*. Alat uji tekan ini juga akan dilengkapi dengan sensor tambahan untuk mengukur deformasi atau *displacement* dari benda uji. Sensor yang mungkin digunakan termasuk M18 Ultrasonic Sensor, Lidar, dan potensiometer.

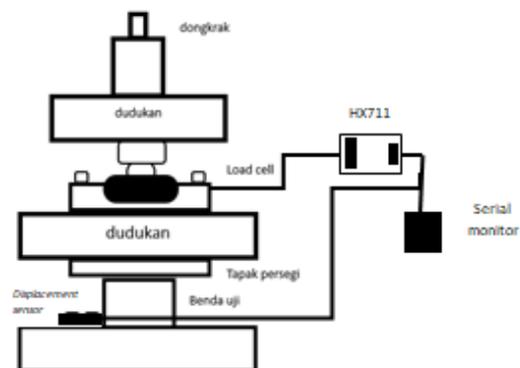
Alat uji tekan yang telah dirancang memiliki kemampuan maksimal untuk menahan tekanan hingga 10 ton pada berbagai jenis material. Dengan dimensi panjang keseluruhan antara 55,25 cm hingga 60,5 cm, tinggi 89,4 cm, dan lebar yang menyediakan area benda uji sebesar 0,54 m<sup>2</sup>, alat ini dirancang untuk memberikan kehandalan dalam pengujian material. Material utama yang digunakan adalah H beam yang terbuat dari baja karbon, dipilih karena kekuatan dan ketangguhannya yang teruji. Selain itu, penggunaan besi pipa dan plat baja dengan tebal 2 cm sebagai material tambahan menambah keandalan alat dalam melakukan pengujian tekanan yang akurat dan konsisten.

Rancangan *body* yang dilakukan adalah dengan *design* dengan aplikasi gambar terlebih dahulu, dengan dimensi yang sudah ditentukan sebelumnya. Rancangan *body* atau rangka dudukan terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Gambar rancangan rangka alat uji tekan dan *three point bending*

Setelah itu dilakukan akuisisi data, Pengumpulan data fisik yang dapat diukur oleh sensor adalah esensi dari akuisisi data. Sistem akuisisi data pada alat uji adalah kerangka konseptual yang dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data dari alat uji atau perangkat pengukuran. Pada sinyal analog, sistem ini menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk mengubah sinyal menjadi format digital agar dapat diolah oleh perangkat digital. Proses ini melibatkan pengambilan data pada interval waktu tertentu atau sesuai kebutuhan pengujian, kemudian data diproses untuk mengurangi gangguan atau *noise*, sehingga menghasilkan data yang lebih bersih dan akurat. Data yang telah diproses disimpan dalam format yang sesuai, seperti file atau database.



Gambar 3.3. Rancangan pembacaan data

Gambar 3.3. merupakan rancangan pembacaan data dalam uji tekan. Sinyal listrik yang dihasilkan oleh *load cell* umumnya lemah dan memerlukan penguatan menggunakan amplifier agar dapat dibaca oleh mikrokontroler. Dalam kasus ini, modul HX711 digunakan untuk memperkuat sinyal dari *load cell*. Koneksi antara *load cell* dan HX711 dilakukan menggunakan kabel yang tersedia dari *load cell*, yang terdiri dari empat kabel: merah (VCC), hitam (GND), hijau (data), dan putih (*clock*).

Untuk mengimplementasikan sistem ini, akan dibuat program Arduino yang bertugas membaca data dari HX711 dan mengirimkannya ke modul ESP melalui komunikasi serial. Program ini harus mencakup pengaturan komunikasi serial antara Arduino dan ESP, serta proses pembacaan data dari HX711, termasuk pengaturan kalibrasi *load cell* dan konversi data yang sesuai.

Modul ESP akan diatur dalam mode *Access Point* (AP) untuk membuat jaringan WiFi yang akan digunakan oleh perangkat pengguna untuk terhubung. Selanjutnya, kode atau program akan disiapkan untuk modul ESP agar dapat menerima data dari Arduino melalui koneksi serial.

Sebagai bagian dari pengembangan alat uji tekan bata ringan CLC, akan digunakan sensor pengukuran jarak untuk mengukur *displacement* pada benda uji saat tekanan diberikan. *Displacement* mengacu pada perubahan posisi atau jarak dari bata ringan ketika terkena tekanan. Sensor yang akan digunakan termasuk M18 *Ultrasonic Sensor*, Lidar, Sensor Laser CMOS Digital Seri LR-X, dan potensiometer sebagai alternatif. Potensiometer akan digunakan sebagai sensor *displacement* dengan memanfaatkan perubahan resistansi pada elemen resistifnya saat terjadi pergerakan, yang kemudian dikonversi menjadi nilai *displacement* dengan kalibrasi yang tepat.

## B. Alat Uji *three point bending*

Perbedaan alat uji *three point bending* adalah pada kedudukan pengujian atau bagian tapak pengujian dan benda uji seperti gambar 3.4.



Gambar 3.4. Design Alat Uji *three point bending*

Alat uji *three point bending* gambar 3.4. ini menggunakan *load cell* 10 ton untuk mengukur beban lentur pada spesimen uji. *Load cell* menghasilkan sinyal analog yang sebanding dengan beban yang diterima. Untuk memungkinkan pembacaan oleh mikrokontroler, sinyal analog ini harus dikonversi menjadi sinyal digital menggunakan modul HX711. Modul HX711 memiliki peran penting dalam mengubah sinyal gaya tekan dari *load cell* menjadi format digital yang dapat diolah lebih lanjut.

ESP8266, yang diprogram menggunakan Arduino IDE, menerima sinyal digital dari modul HX711 dan menampilkan hasil beban pada LCD i2c. Secara mekanis, alat ini bekerja dengan cara memberikan tekanan pada spesimen uji menggunakan dongkrak sehingga mata bending three point mendorong spesimen ke bawah. *Load cell* membaca nilai tekanan dan menampilkan hasilnya pada LCD i2c. Proses ini berlangsung sampai spesimen uji mencapai batas tegangan atau mengalami retakan. Setelah pengujian selesai, dongkrak diturunkan dan data yang terkumpul dapat diolah lebih lanjut menggunakan komputer.

Alat uji *three point bending* ini menggunakan *load cell* 10 ton untuk mengukur beban lentur pada spesimen uji. *Load cell* menghasilkan sinyal analog yang sebanding dengan beban yang diterima. Agar dapat dibaca oleh mikrokontroler, sinyal analog ini perlu dikonversi terlebih dahulu oleh modul HX711 menjadi sinyal digital. Modul HX711 sangat penting untuk mengubah besaran gaya tekan dari *load cell* analog menjadi sinyal digital yang dapat diolah lebih lanjut.

### 3.4. Pembuatan Benda Uji

Penelitian diawali dengan studi pustaka melalui literatur-literatur yang ada di perpustakaan. Kemudian dilanjutkan dengan penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung dengan pembuatan benda uji sebagai berikut :



Gambar 3.5. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian

Gambar 3.5. merupakan langkah pembuatan benda uji penelitian, proses diawali dengan menampurkan *foaming agent* dan air dengan perbandingan air dan *foaming agent* 19 : 1 ke dalam foaming generator, kemudian foaming generator diberikan tekanan melalui kompressor yang mengisikan angin. Selanjutnya, proses pencampuran komposisi air, *foaming agent*, pasir, semen, dan serat alam sesuai dengan *mix design* ke dalam molen, setelah tercampur komposisi akan dituangkan ke dalam 2 ukuran bekisting berukuran kubus dan balok. Setelah dituangkan, benda uji akan dilakukan pengeringan selama

minimal 28 hari. Setelah kering, maka dilakukan perawatan dan dilakukan penyiraman di hari ke 15. Dan setelah 28 hari, benda uji di uji menggunakan alat uji tekan dan alat uji *three point bending* untuk mengetahui nilai kekuatan bata ringan dalam menerima pembebanan secara terdistribusi dan terpusat. Adapun langkah langkah secara rinci adalah sebagai berikut :

#### 1. Persiapan Alat dan Bahan.

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini merupakan alat yang berhubungan dengan pembuatan bata ringan seperti halnya :

- *Foam Generator*
- Kompresor
- Mesin pengaduk komposisi bata ringan
- Ember
- Gelas Ukur
- Gunting
- Cetakan benda Uji
- Timbangan

Adapun bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

- Air
- Semen
- Pasir
- *Foaming agent*
- Serat Alam

#### 2. Pemeriksaan Bahan

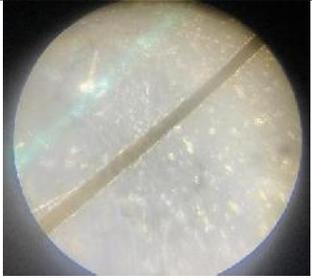
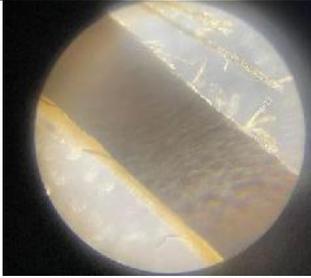
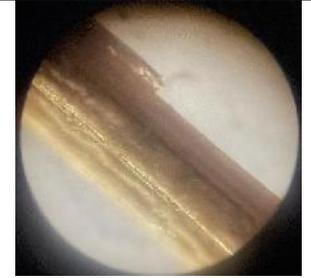
Material serat bambu harus dipastikan dalam kondisi siap pakai. Yaitu dalam kondisi serat yang basah. Pengecekan dilakukan dengan membersihkan pengotor dengan air bersih dan menjemur serat alam sehingga dapat dipastikan dalam kondisi kering. Dan dilakukan perendaman selama 20 menit untuk menghindari penyerapan *foam agent* secara berlebih. Selanjutnya dilakukan pengamatan pada serat yang akan digunakan.

Penelitian Penambahan Serat Pinang Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Beton Ringan berpengaruh terhadap daya serap air papan beton ringan. Pada sampel papan beton ringan tanpa serat dan *fly ash* daya serap air yang didapat adalah 7,34%, ini adalah daya serap air terkecil yang didapatkan. Hal ini dikarenakan pada sampel papan beton ringan tanpa serat

dan *fly ash* tidak terdapat rongga-rongga udara, bahwa selulosa yang terdapat dalam filler (serat pinang) papan partikel mampu menyerap air karena adanya gaya absorpsi yang merupakan gaya tarik molekul air pada ikatan hidrogen yang terdapat dalam selulosa tersebut. Daya serap air terbesar adalah 12,71% yang ditunjukkan pada persentase 1% serat (Anugrah dan Mahyudin, 2022).

Kemudian pengukuran serat, Pengukuran serat dilakukan untuk mengetahui klasifikasi serat. Selain pengukuran dilakukan pengambilan dokumentasi dengan kamera pembesaran 75x guna pengamatan klasifikasinya, tabel 3.2. merupakan hasil pengukuran serat merupakan hasil pengamatan serat bambu.

Tabel 3. 2. Pengukuran Serat

Serat Pendek	Serat Sedang	Serat Panjang
Memiliki ketebalan rata-rata 0.11 mm	Memiliki ketebalan rata-rata 0.25 mm	Memiliki ketebalan rata-rata 0.75 mm
Panjang maksimal serat 2 cm	Panjang maksimal serat 3 cm	Panjang maksimal serat 5 cm
		

#### 1. Perencanaan campuran bata ringan

Campuran bata ringan dilakukan dengan berbagai metode campuran komposisi. Hal ini dilakukan dengan memvariasikan persentase kandungan serat alam yang akan berpengaruh terhadap kekuatan benda uji. Variasi penambahan serat Alam dilakukan dengan menambahkan 0%, 0.5% dan 1% serat alam dari berat total adukan bata ringan. Parameter lainnya adalah perbandingan semen dan pasir dengan perbandingan 1 : 1,2, 1 : 1,4, dan 1 : 1,6 yang dihitung dari total berat komposisi bata ringan.

2. Pembuatan adukan Bata Ringan.

Menggunakan satu rencana komposisi rancang campur pada tabel 3.3.

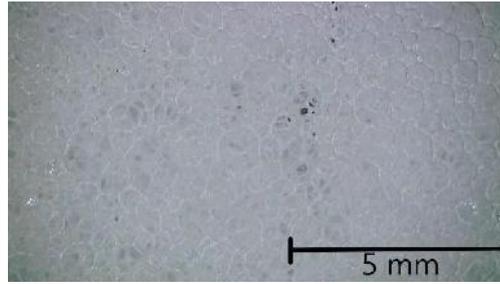
3. Pembuatan benda uji.

Proses pembuatan dilakukan dengan percampuran bahan-bahan dengan parameter komposisi . *foaming agent* berasal dari alat *foam generator* seperti gambar 3.6. dan percampuran komposisi dilakukan dalam tangki pengaduk. *Foam Generator* merupakan tangki bertekanan yang dirancang untuk menahan tekanan guna mengembangkan volume busa *foam generator*.



Gambar 3.6. *Foam Generator*

*Foam generator* bekerja melalui kompresor yang memasukkan tekanan, lalu memberikan volume pada cairan *foaming agent*. Kemudian setelah dirasa cukup mengembang *foaming agent* masuk ke dalam pipa penyaring dan kemudian dikeluarkan dalam bentuk busa yang padat. Adapun hasil pengamatan *foaming agent* adalah gambar 3.7.



Gambar 3.7. Pengamatan *foaming agent*

Setelah pencampuran bahan-bahan bata ringan CLC dengan serat bambu dituangkan ke dalam bekisting atau cetakan. Dalam penelitian ini digunakan 2 bentuk cetakan atau bekisting yaitu

Kubus dan Cetakan Bata Ringan dengan masing dimensi yaitu:

- Kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm
- Balok 10 cm x 60 cm x 20 cm

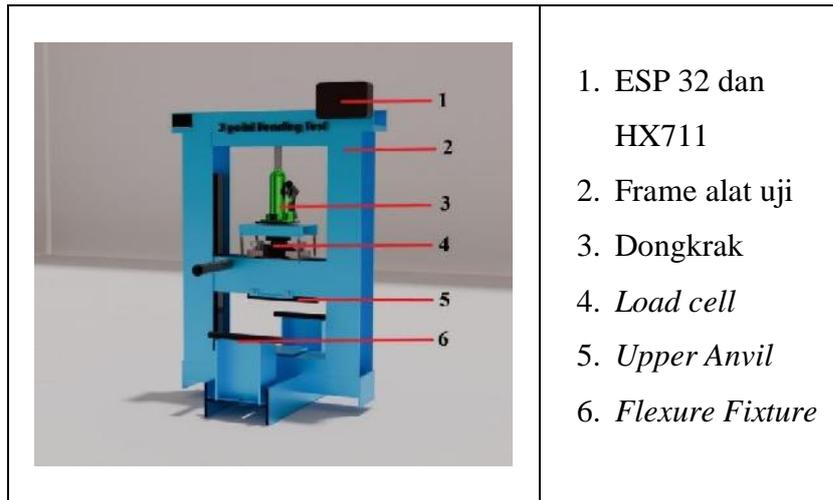
4. Perawatan benda uji.

Perawatan dilakukan dengan pengeringan selama 28 hari. dan penyiraman di hari ke 5 dan 15.

5. Pengujian benda uji.

Pengujian menggunakan mesin uji si tonton pada gambar 3.4. Mesin Uji si tonton digunakan untuk uji tekan bata ringan dan bending 3 point. Adapun desain alat uji si tonton adalah sebagai berikut :

Alat uji didesain mempunyai kapasitas kekuatan 10 Ton. Kekuatan alat uji ini dikarenakan untuk membandingkan *green composite* dengan material yang akan digantikan olehnya seperti *metal, fiber glass, carbon fiber* atau komposit lainnya. Alat uji dilengkapi dengan data akuisi yang dapat merekam data yang diambil secara *time series* berbasis Arduino. Gambar 3.8 merupakan rancangan dan bagian penting alat uji yang akan digunakan.



Gambar 3.8. Alat Uji Tekan dan *three point bending*

### 3.5. Rancang Campur (*Mix Design*)

Tabel 3.3. berikut adalah rancang campur *polymer modified mortar* (PMM) yang ditambahkan dengan volume serat sebanyak 0%, 0.5%, dan 1% dari berat semen yang akan digunakan untuk perbandingan panjang serat sebesar pendek, sedang, panjang yang akan digunakan untuk perbandingan volume fraction. Serta perbandingan kadar semen sebagai penguat dasar dalam komposisi campuran. Komposisi campuran Pasir, Foam agent, air yang digunakan pada penelitian ini mengikuti SOP Produksi Bata Ringan *Celluler Lighweight Concrete* (CLC) PT. Brik Koe Jaya Perkasa. dimana untuk 1m<sup>3</sup> bata ringan terdiri atas 350kg pasir, 180 liter air, 1 liter foam agent, dan 280 kg semen

Tabel 3. 3. Rancang Campur Adukan Bata Ringan CLC Berserat Alami dengan Variasi Perbandingan Berat Semen, Persentase Serat, dan Panjang Serat.

No	Panjang serat	Persentase Serat (dari berat total komposisi)	Perbandingan Semen Dan Pasir (dari berat total komposisi)	
1		0%	1 : 1.2	
2			1 : 1.4	
3			1 : 1.6	
4	Pendek	0,5%	1 : 1.2	
5			1 : 1.4	
6			1 : 1.6	
7		1%	1 : 1.2	
8			1 : 1.4	
9			1 : 1.6	
10		Sedang	0,5%	1 : 1.2
11				1 : 1.4
12				1 : 1.6
13	1%		1 : 1.2	
14			1 : 1.4	
15			1 : 1.6	
16	Panjang		0,5%	1 : 1.2
17				1 : 1.4
18				1 : 1.6
19		1%	1 : 1.2	
20			1 : 1.4	
21			1 : 1.6	

### 3.6. Standar Operasional Prosedur pembuatan bata ringan

Standar operasional prosedur dalam pembuatan bata ringan CLC yang diperkuat serat bambu adalah berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Merendam serat selama 20 menit dalam air, hal ini dilakukan agar serat tidak menyerap air dalam komposisi
3. Mencampurakn semen, pasir, dengan air dalam molen pengaduk
4. Menyiapkan *foaming agent* dan air dalam tabung dengan komposisi 19 liter air : 1 liter cairan *foaming agent*

5. Memberikan oli terhadap sisi bekisting agar komposisi dalam proses pengeringannya tidak menempel
6. Mencampurkan semua komposisi bahan dan memastikan tidak ada komposisi yang mengendap.
7. Menuangkan adukan komposisi ke dalam bekisting dengan sistem pembagian yang merata, karena pada umumnya tuangan pertama konsistensi *foaming agent* lebih tinggi dan mudah menyusut.
8. Melepas komposisi adukan dari bekisting sebaiknya setelah 1 x 24 jam pasca penuangan
9. Pengeringan di suhu ruang minimal 28 hari untuk mendapatkan kekuatan yang optimal.

### **3.7. Uji Porositas Dan Densitas**

Uji densitas dan porositas adalah dua teknik yang digunakan untuk mengukur karakteristik fisik dari suatu bahan atau material. Uji densitas bertujuan untuk menentukan seberapa rapat suatu bahan atau material, dengan mengukur massa dalam suatu volume tertentu. Teknik ini penting dalam berbagai aplikasi, seperti teknik sipil dan geoteknik, untuk mengukur kepadatan tanah atau agregat dalam konstruksi.

Di sisi lain, uji porositas bertujuan untuk mengukur rasio volume pori dalam suatu material dengan volume total material tersebut. Porositas memberikan informasi tentang seberapa banyak ruang kosong di dalam material yang dapat diisi dengan udara, air, atau substansi lainnya. Metode pengukuran porositas termasuk metode penyerapan air, metode imbibisi, atau teknik pemindaian seperti tomografi komputer. Kedua teknik ini memberikan wawasan yang penting tentang sifat fisik material, yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses manufaktur, mengkarakterisasi bahan, atau memahami perilaku material dalam berbagai aplikasi.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Rancang bangun alat uji tekan dan uji *three point bending* dengan penambahan sensor displacement yang terhubung ke *voltmeter* telah berhasil dilakukan. Sensor ini memungkinkan pengukuran displacement yang lebih akurat dan mudah dibaca, dengan tegangan yang dikonversi ke milimeter (mm). Kalibrasi yang dilakukan memastikan hasil yang akurat dengan membandingkan sensor dengan alat ukur standar. Alat ini tidak hanya mengukur kekuatan tekan dan lentur, tetapi juga displacement, memberikan data yang lebih lengkap. *Voltmeter* memudahkan pengguna membaca hasil tanpa konversi manual, mengurangi kesalahan. Secara keseluruhan, alat ini meningkatkan akurasi, kemudahan penggunaan, dan fungsi, siap digunakan untuk berbagai pengujian material.
2. Penelitian ini menghasilkan bata ringan CLC dari semen, pasir, air, foaming agent, dan serat bambu, dengan komposisi optimal terdiri dari serat 0,5% dan perbandingan semen-pasir 1:1,6. Benda uji nomor 12 menunjukkan kekuatan tekan 1.130165 MPa dan lentur 1.088965 MPa. Serat direndam selama 20 menit sebelum dicampur untuk mengurangi penyerapan cairan foaming agent, memastikan homogenitas dan kekuatan optimal. Pasir silika dalam komposisi ini meningkatkan kekuatan melalui uji *main effect plot* dan pengisian ruang kosong, menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat. Namun, penambahan pasir harus tepat untuk menghindari penurunan kekuatan akibat pengurangan semen sebagai bahan pengikat. Pendekatan ini mencerminkan upaya cermat dalam mengoptimalkan produksi material konstruksi yang kuat.

## 5.2. Saran

Setelah rangkaian penelitian dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut, yaitu:

1. Disarankan untuk mengganti dongrak dengan hidrolik, hal ini dilakukan agar tekanan dan pembebanan dapat terbaca secara konstan.
2. Disarankan untuk membuat benda uji khusus uji densitas porositas agar tidak terpengaruh oleh retakan setelah pengujian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, A., Yuliet, R., & Fernandez, F. (2012). PENGARUH PENGGUNAAN SEMEN SEBAGAI BAHAN STABILISASI PADA TANAH LEMPUNG DAERAH LAMBUNG BUKIT TERHADAP NILAI CBR TANAH. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 8, 29. <https://doi.org/10.25077/jrs.8.1.29-44.2012>
- Anugrah, F., & Mahyudin, A. (2022). Pengaruh Komposisi Serat Sabut Kelapa dan Pinang Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Beton Ringan dengan Fly Ash sebagai Filler. *Jurnal Fisika Unand*, 11(1). <https://doi.org/10.25077/jfu.11.1.8-14.2022>
- Arita, D., Kurniawandy, A., & Taufik, H. (2017a). TINJAUAN KUAT TEKAN BATA RINGAN MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH FOAMING AGENT. In *Jom FTEKNIK* (Vol. 4, Issue 1).
- Arita, D., Kurniawandy, A., & Taufik, H. (2017b). Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah Foaming Agent. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 4(1), 1–10.
- ASTM C 136. (2004). *ASTM C 136*.
- ASTM C20. (2022). *Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*.
- ASTM C78/C78M. (2021). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*.
- ASTM C94/C94M-21a. (2021). *ASTM C94/C94M-21a*.
- ASTM C869. (2006). *Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete 1*. [www.astm.org](http://www.astm.org)
- Awaludin, A., & Andriani, V. (2014). Bolted Bamboo Joints Reinforced with Fibers. *Procedia Engineering*, 95, 15–21. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.12.160>
- Bassuoni, M. T., & Rahman, M. M. (2016). Response of concrete to accelerated physical salt attack exposure. *Cement and Concrete Research*, 79, 395–408. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2015.02.006>
- Dirjen Cipta Karya, D. P. U. dan T. L. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I. - 2*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, 1971.
- Edwards, A. W. F. (2005). Chapter 67 - R.A. Fischer, statistical methods for research workers, first edition (1925). In I. Grattan-Guinness, R. Cooke, L. Corry, P. Crépel, & N. Guicciardini (Eds.), *Landmark Writings in Western Mathematics 1640-1940* (pp. 856–870). Elsevier Science. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-044450871-3/50148-0>

- Hunggurami, E., Utomo, S., & Wadu, A. (2014). Pengaruh Masa Perawatan (Curing) Menggunakan Air Laut Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Beton. *Jurnal Teknik Sipil Nusa Cendana*, 3(2), 103–110.
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. (2015). Likert Scale: Explored and Explained. *British Journal of Applied Science & Technology*, 7, 396–403. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2014). *SNI 7064-2014 Semen Portland Komposit*.
- Lembang, D., & Unwakoly, B. (2022). Analisis Kuat Tekan Bata Ringan (CLC) Berbahan Dasar Pasir Fakfak Dengan Penambahan Zat Aditif. *JUITIK*, 2(1).
- Li, N., Shi, C., Zhang, Z., Wang, H., & Liu, Y. (2019). A review on mixture design methods for geopolymer concrete. *Composites Part B: Engineering*, 178, 107490. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107490>
- MULYONO, T. (2015). *TEKNOLOGI BETON*. <http://www.unj.ac.id>
- Mulyono, T. (2018). *TEKNOLOGI BETON: Dari Teori Ke Praktek* (pp. 1–26).
- Narayanan, N. K., & Ramamurthy, K. (2000). STRUCTURE AND PROPERTIES OF AERATED CONCRETE: A REVIEW. *Cement & Concrete Composites*, 22, 321–329. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:65439009>
- Nwaoha, T., Ombor, G., & Okwu, M. (2016). A combined algorithm approach to fuel consumption rate analysis and prediction of sea-worthy diesel engine-powered marine vessels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 231. <https://doi.org/10.1177/1475090216663946>
- Paul Nugraha, & Antoni. (2007). *Teknologi beton: dari material, pembuatan, ke beton kinerja tinggi* (Suyantoro Sigit, Ed.; 1st ed.).
- Putranto, S., Habsya, C., & Rahmawati, A. (2017). PENGARUH FLY ASH SEBAGAI BAHAN TAMBAH BETON RINGAN FOAM TERHADAP BERAT JENIS, KUAT TEKAN DAN DAYA SERAP AIR, UNTUK MATERIAL DINDING STRUKTUR. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Dan Kejuruan*, 10. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v10i1.14966>
- Quan, W., Huang, W., An, Y., Miao, X., & Chen, Z. (2023). The effect of natural bamboo fiber and basalt fiber on the properties of autoclaved aerated concrete. *Construction and Building Materials*, 377, 131153. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131153>
- Sebayang, A. M. S., Tetuko, A. P., Nurdiyansah, L. F., Asri, N. S., Setiadi, E. A., & Sebayang, P. (2022). Wick parameters (particle size, porosity and contact angle) and performances of a U-shaped heat pipe: experimental, analytical and numerical. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 22, 552–565. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:252298774>
- Setioko, F., Trinugroho, S., & Nurchasanah, Y. (2015). *ANALISIS KUAT TEKAN, KUAT TARIK, DAN KUAT LENTUR BETON MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH SIKAS VISCOCRETE-10 DAN FLY ASH (TINJAUAN ANALISIS PADA UMUR DELAPAN JAM SAMPAI DENGAN DUA PULUH EMPAT JAM)*.
- Short, A., & Kinniburgh, W. (1968). *Lightweight concrete*. London : C. R. Books. <http://lib.ugent.be/catalog/rug01:001032485>

- SNI 03-0349-1989. (1989). *Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Bata beton untuk pasangan dinding.*
- SNI 03-2847-2002. (2002). *STANDAR NASIONAL INDONESIA.*
- SNI 15-2049-2004. (2004). *Standar Nasional Indonesia Semen portland ICS 91.100.10 Badan Standardisasi Nasional.*
- SNI 2049. (2015). *SNI 2049:2015 Semen Portland.*
- SNI 8640. (2018). *Spesifikasi Bata Ringan untuk Pasangan Dinding.*
- Sri Harjanto., Prima Sony, Bambang Suharno, & Ashadi. (2007). STRUKTURMIKRO DAN SIFAT FISIK-MEKANIK BETON RINGAN TANPA PEMATANGAN DALAM AUTOCLAVE (NON AUTOCLAVED AERATED CONCRETE, NAAC). *Jurnal Sains Materi Indonesia (Indonesian Journal of Materials Science).*
- Suryanto, H. (2016). *REVIEW SERAT ALAM : KOMPOSISI, STRUKTUR, DAN SIFAT MEKANIS.*
- Tokede, B., & Wardhono, A. (2018). *PENGARUH PENGGUNAAN BOTTOM ASH BATU BARA DAN LIMBAH KARBIT SEBAGAI SEMEN PADA CAMPURAN PAVING BLOCK.*
- Widyawati, F., & Haqqi, A. (2020). *Science and Technology PEMANFAATAN SERAT SISAL (agave sisalana L.) DAN LIMBAH PLASTIK PET UNTUK PEMBUATAN BATA RINGAN CLC (CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE)* (Vol. 4, Issue 1). <http://jurnal.uts.ac.id>
- Zhang, J., Huang, F., Wu, Y., Fu, T., Huang, B., Liu, W., & Qiu, R. (2022). Mechanical properties and interface improvement of bamboo cellulose nanofibers reinforced autoclaved aerated concrete. *Cement and Concrete Composites*, 134, 104760. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2022.104760>
- Zhang, W., Wang, C., Gu, S., Yu, H., Cheng, H., & Wang, G. (2021). Physical-Mechanical Properties of Bamboo Fiber Composites Using Filament Winding. *Polymers*, 13, 2913. <https://doi.org/10.3390/polym13172913>
- Zulapriansyah, R., Suryanita, R., & Maizir, H. (2020). Komposisi Optimal Campuran Bata Ringan Silica Fume Berdasarkan Kuat Tekan. *Sainstek (e-Journal)*, 8, 49–55. <https://doi.org/10.35583/js.v8i2.119>