

**SIFAT LENTUR PANEL BETON RINGAN DENGAN PERKUATAN
TULANGAN *WIRE MESH* M7**

(Skripsi)

Oleh

**MONICA SILVIA
NPM 2215011092**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRACT

FLEXURAL BEHAVIOR OF LIGHTWEIGHT CONCRETE PANEL REINFORCED WITH M7 WIRE MESH

By

MONICA SILVIA

Lightweight concrete panels are an innovative construction material with lower weight compared to normal concrete, thereby reducing the dead load of structures. This study aims to analyze the flexural behavior of lightweight concrete panels reinforced with M7 wire mesh under point load and uniformly distributed loading conditions. The parameters evaluated include load capacity, load–deflection relationship, load–strain relationship, crack patterns, and panel failure mechanisms.

The study was conducted at the Materials and Construction Laboratory, Universitas Lampung, using two lightweight concrete panels with dimensions of $2400 \times 600 \times 125$ mm. The lightweight concrete mixture consisted of PCC cement, fine aggregate passing a 2.36 mm sieve, GF 1420 foam agent, and Naptha E 1.2.1 as a additive. The panels were reinforced with M7 wire mesh and tested at the age of 28 days using a loading frame equipped with a load cell, LVDT, strain gauge, and 8-channel data logger to record the structural response during loading. Material testing results indicated that the average compressive strength of the lightweight concrete was 6.055 MPa, while the average yield strength of the reinforcing steel was 567.5 MPa.

The results showed that the panel subjected to uniformly distributed loading had a greater load capacity than the panel subjected to concentrated loading due to a more uniform stress distribution within the cross-section. The actual load capacity under uniformly distributed loading reached 12.2356 kN, while under point loading it reached 9.0221 kN. The maximum deflections recorded were 14.3560 mm and 13.4253 mm for uniformly distributed and point loading, respectively. The failure pattern observed in the panel was predominantly characterized by cracks initiating in the tension zone and propagating toward the upper fibers, indicating that the failure mechanism was flexural failure.

Keywords: Lightweight concrete panel, lightweight concrete, flexural capacity, uniformly distributed load, point load.

ABSTRAK

LENTUR PANEL BETON RINGAN DENGAN PERKUATAN TULANGAN *WIRE MESH* M7

Oleh

MONICA SILVIA

Panel beton ringan merupakan inovasi material konstruksi yang memiliki berat lebih rendah dibandingkan beton normal sehingga dapat mengurangi beban mati struktur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku lentur panel beton ringan bertulangan *wire mesh* M7 terhadap pembebanan terpusat dan beban merata. Parameter yang dianalisis meliputi kapasitas beban, hubungan beban–lendutan, hubungan beban–regangan, pola retak, serta mekanisme keruntuhan panel.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung menggunakan dua panel beton ringan berdimensi $2400 \times 600 \times 125$ mm. Campuran beton ringan menggunakan semen PCC, agregat halus lolos saringan 2,36 mm, *foam agent* GF 1420, serta bahan aditif Naptha E 1.2.1. Panel menggunakan menggunakan *wire mesh* M7 dan diuji pada umur 28 hari menggunakan *loading frame* dengan bantuan *load cell*, LVDT, *strain gauge*, dan data logger 8-Channel untuk merekam respons struktur selama pembebanan. Karakteristik material hasil pengujian menunjukkan kuat tekan rata-rata beton ringan sebesar 6,055 MPa dan kuat leleh rata-rata baja tulangan sebesar 567,5 Mpa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel dengan pembebanan merata memiliki kapasitas beban lebih besar dibandingkan panel dengan pembebanan terpusat karena distribusi tegangan yang terjadi pada penampang lebih merata. Kapasitas aktual panel pada pembebanan merata mencapai 12,2356 kN, sedangkan pada pembebanan terpusat sebesar 9,0221 kN dengan lendutan maksimum yang terjadi masing-masing sebesar 14,3560 mm dan 13,4253 mm untuk beban merata dan beban terpusat. Pola keruntuhan yang terjadi pada panel didominasi oleh retak pada zona tarik yang menjalar ke arah serat atas, menunjukkan bahwa mekanisme keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan lentur.

Kata kunci: Panel beton ringan, beton ringan, kapasitas lentur, beban merata, beban terpusat.

**SIFAT LENTUR PANEL BETON RINGAN DENGAN PERKUATAN
TULANGAN *WIRE MESH* M7**

Oleh
MONICA SILVIA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

**Judul Skripsi : SIFAT LENTUR PANEL BETON RINGAN
DENGAN PERKUATAN TULANGAN WIRE
MESH M7**

Nama Mahasiswa : Monica Silvia

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011092

Program Studi : S-1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.

NIP 19700430 199703 1 003

Ir. Laksmi Irianti, M.T.

NIP 19620408 198903 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Ketua Program Studi Teknik Sipil

Sasana Putra, S.T., M.T.

NIP 19691111 200003 1 002

Dr. Suyadi, S.T., M.T.

NIP 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

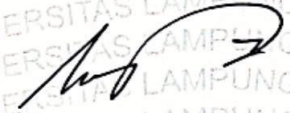
Ketua

**: Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T.,
D.E.A., Ph.D.**



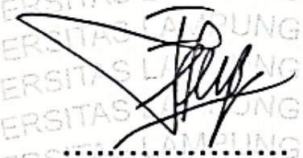
Sekretaris

: Ir. Laksmi Irianti, M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP 19691030 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 05 Juni 2026

PERNYATAAN


Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi saya yang berjudul "*Sifat Lentur Panel Beton Ringan dengan Perkuatan Tulangan Wire Mesh M7*" adalah bagian dari penelitian Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D. dan Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., mengenai pengaruh sifat lentur panel beton ringan produk labolatorium.
2. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasi orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidaksesuaian dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah berlaku di Universitas Lampung.


Bandar Lampung, Juni 2026

Mengetahui

Dosen Pembimbing Skripsi


Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.
NIP. 197004301997031003




Monica Silvia
NPM. 2215011092

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Ogan Ilir pada tanggal 30 November 2004, sebagai anak kedua dari dua bersaudara. Penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Imron dan Ibu Maryani. Penulis memulai pendidikan di TK PIDUA Meranjat dan melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD PIDUA Meranjat yang diselesaikan pada tahun 2016. Pada tahun 2019, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Indralaya dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN Sumatera Selatan yang diselesaikan pada tahun 2022.

Pada tahun 2022, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa Program Studi Teknik Sipil penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil sebagai anggota Departemen Eksplorasi dan Pengembangan HIMATEKS Tahun 2024 Periode 1 dan Bendahara Umum HIMATEKS tahun 2024 Periode 2. Penulis juga tercatat sebagai Pembimbing Mahasiswa Baru pada pengkaderan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung periode 2024/2025, serta menjadi presidium penanggung jawab pada acara Civil Brings Revolution (CBR) kesembilan.

Pada Januari 2025, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa bandar Agung, Lampung Selatan. Selanjutnya, pada Agustus 2025, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangaun Gor Saburai PKOR Way Halim di Bandar Lampung. Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten dosen pada beberapa mata kuliah Teknik Sipil. Tercatat penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Gambar Bangunan Sipil dan Balok Beton Bertulang, serta beberapa

kali dipercaya sebagai asisten mata kuliah Matematika, Kalkulus, Statika (Mekanika Teknik I), Analisis Statis tertentu (Mekanika Teknik II), Analisis Statis Tak Tentu (Mekanika Teknik III), dan Teknologi Bahan. Penulis memiliki ketertarikan pada bidang ilmu struktur, sehingga pada tahun 2025, penulis memutuskan untuk mengambil tugas akhir skripsi dengan judul skripsi Sifat Lentur Panel Beton Ringan dengan Perkuatan Tulangan *Wire Mesh* M7.

Persembahan

Bismillāhirrahmānirrahīm

Segala puji bagi Allah SWT yang telah kebersamai setiap langkah, menguatkan saat lelah, menenangkan saat gelisah, dan membuka jalan ketika segala sesuatu terasa sulit, sehingga skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik.

Dengan penuh rasa syukur, skripsi ini dipersembahkan kepada:

Orang Tua Tercinta

Yang senantiasa mendoakan, kebersamai, dan mengusahakan yang terbaik, untuk penulis. Tidak ada kata yang cukup untuk menggambarkan rasa terima kasih saya atas segala yang telah diberikan. Semoga pencapaian ini menjadi salah satu bentuk kebahagiaan yang dapat saya persembahkan kepada kalian.

Kakak dan Keluarga Tercinta

Yang selalu menjadi tempat pulang, tempat bercerita, dan tempat menemukan kekuatan ketika semangat mulai berkurang. Terima kasih atas dukungan dan kepercayaan yang diberikan menjadi pengingat bahwa saya tidak pernah berjalan sendirian.

Dosen dan Civitas Akademik Jurusan Teknik Sipil

Terima kasih atas ilmu, kesabaran, arahan, serta waktu yang telah diberikan selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Setiap masukan dan bimbingan yang diberikan menjadi bekal berharga dalam perjalanan akademik maupun kehidupan saya.

Sahabat dan Teman Teman Tersayang

Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini yang selalu memberikan bantuan, tawa, cerita, dukungan, dan kebersamaan yang membuat masa-masa sulit terasa lebih ringan untuk dijalani. Semoga setiap langkah yang kita tempuh setelah ini membawa kita menuju impian masing-masing.

Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2022

Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan yang penuh cerita ini. Kita datang dengan mimpi yang berbeda, dipertemukan dalam perjuangan yang sama, dan akan berpisah untuk menjemput takdir terbaik masing-masing.

Motto

“Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah.”

(QS. Grafir: 44)

“The most beloved deeds to Allah are those done consistently, even if they are small.”

(HR. Bukhari dan Muslim)

“It always seems impossible until it’s done.”

(Nelson Mandela)

“Kita bermimpi akan menjadi angan tak pasti kicau berani seperti takdir kita yang tulis.”

(Nadin Amizah – Seperti Takdir Kita yang Tulis)

"And eventually, i reach a calm space where i no longer chase and complain, but simply life, accept, and smile through whatever life brings, with gratitude for those who have always been by my side."

(Monica Silvia)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Sifat Lentur Panel Beton Ringan Dengan Perkuatan Tulangan Wire Mesh M7*” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, bimbingan, serta doa kepada penulis. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepadaP:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya.
2. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lampung.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Chatarina Niken DWSBU, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses perkuliahan.
6. Bapak Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama yang memberikan kesempatan untuk menjadikan penelitian skripsi ini bagian dari rangkaian penelitian yang dikembangkan. Melalui bimbingan,

arahan, serta dukungan yang diberikan selama proses penelitian, penulis memperoleh banyak pengalaman dan pengetahuan yang sangat berharga.

7. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediannya dalam meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta kritik dan saran dalam proses penyusunan skripsi ini.
8. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T. M.Sc. M.Phil., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.
9. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Kedua orang tua, Bapak Imron dan Ibu Maryani, serta kakak yang telah memberikan dorongan, dukungan, dan doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan segala proses perkuliahan.
11. Civitas lab, Mba Elfa Damayanti, Mas Tio, Pak Zalzali, Pak Ngadiono, dan Pak Eko yang selalu memberikan bantuan kepada penulis dalam hal pelaksanaan teknis dan pengadaan material.
12. Rekan-rekan laboratorium, khususnya Tarisa Ramadhani dan Alief Pratama yang telah memberikan bantuan dan meluangkan waktu untuk berdiskusi menyelesaikan skripsi ini.
13. Sahabat – sahabat terdekat penulis yang tergabung dalam grup Anak Tuha, Nabilla Adelya HS, Rintan Roro Mufidah, dan Lekat yang telah kebersamai dan menemani sejak hari pertama menjadi mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung. Terima kasih telah menjadi sahabat serta keluarga bagi penulis.
14. Sahabat – sahabat yang tergabung dalam *Circle Cumlaude*, Tarisa Ramadhani, Syintiana Massitoh, Belani Ratna Pangestu Wahyudi, Dea Gaizka Qumairoh, Anisa Ensa Putri, dan Dita Azzahra yang telah banyak berkontribusi dalam proses perkuliahan, terutama menjadi teman dalam belajar di kelas.
15. Sahabat – sahabat yang selalu menemani dan menjadi anggota Anti Miskom, Nabilla Adelya HS, Arditya Prayoga, Muhammad Firmansyah, dan Muhamad Ariq Angkasa yang senantiasa kebersamai penulis selama masa perkuliahan hingga terselesaikannya skripsi ini. Terima kasih atas segala bentuk dukungan,

bantuan, perhatian, kebersamaan, serta semangat yang diberikan dalam setiap proses yang dilalui. Kehadiran kalian tidak hanya menjadi teman dalam menempuh pendidikan, tetapi juga menjadi keluarga bagi penulis.

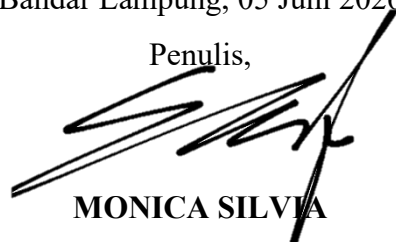
16. Semua anggota YTTA dan Kelas D Teknik Sipil yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih telah menjadi rekan yang hangat dan keluarga yang selalu mensupport.
17. Teman – teman SMAN Sumsel Lampung *District* yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih telah menjadi teman bagi penulis sejak masa SMA.
18. Nauval Akbar, Selvia Qolbina, Putri Aslamiah, Nabilla, Husniarti, Rifdah Arifah, Syafiqah Fankarinaswa, yang selalu menemani dan ada dalam setiap perjalanan. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan panjang yang penuh cerita dan tumbuh bersama dalam berbagai fase kehidupan.
19. Rekan-rekan Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2022, yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penulis secara langsung ataupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi isi maupun sistematika. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran diperlukan untuk kesempurnaan skripsi ini dikemudian hari.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Bandar Lampung, 05 Juni 2026

Penulis,



MONICA SILVIA

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Beton Ringan.....	6
2.1.1. Klasifikasi Beton Ringan.....	7
2.1.2. Persyaratan Agregat Ringan untuk Beton Struktural.....	9
2.1.3. Keunggulan Beton Ringan.....	10
2.2. Panel Beton Ringan.....	11
2.3. Bahan Pembentuk Beton Ringan	13
2.3.1. Agregat Halus	14
2.3.2. Air	14
2.3.3. Semen Portland Komposit (PCC).....	15
2.3.4. Naptha E.121	15
2.3.5. <i>Foam Agent</i>	16
2.4. Pengujian Panel Beton ringan	16
2.4.1. Uji Kuat Tekan (<i>Compression Test</i>).....	16
2.4.2. Uji Kuat Lentur (<i>Flexural Strength Test</i>).....	17
2.5. Penelitian Terdahulu.....	23

III. METODELOGI PENELITIAN	26
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.2. Alat Penelitian.....	27
3.3. Bahan Penelitian.....	37
3.4. Benda Uji	40
3.5. Pelaksanaan Penelitian	41
3.5.1. Pemeriksaan Material	41
3.5.2. Percobaan Campuran Beton Ringan (<i>Mix Design</i>).....	41
3.5.3. Pembuatan Sampel Benda Uji	42
3.5.4. <i>Curing</i> Benda Uji.....	45
3.5.5. Pengujian Benda Uji	46
3.6. Analisis Data	50
3.7. Diagram Alir Penelitian.....	59
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1. Hasil Pemeriksaan Bahan.....	60
4.2. Hasil Perencanaan Campuran Beton Ringan (<i>Mix Design</i>).....	61
4.3. Pengujian Kuat Tekan Beton (f_c').....	63
4.4. Analisis Kapasitas Lentur Beton.....	65
4.5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Lentur.....	83
4.6. Rekapitulasi Kapasitas Lentur Aktual Berdasarkan Uji Labolatorium .	84
4.7. Perbandingan Hasil Pengujian dan Teoritis Panel Beton Ringan	88
4.8. Pola Retak Panel Beton Ringan	89
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	93
5.1. Kesimpulan	93
5.2. Saran.....	94

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (PENGUJIAN BAHAN)

LAMPIRAN B (NILAI BEBAN, LENDUTAN, DAN REGANGAN PANEL)

LAMPIRAN C (DOKUMENTASI)

LAMPIRAN D (LEMBAR ASISTENSI)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Panel beton ringan.....	12
2.2 Panel beton ringan dengan perkuatan tulangan wire <i>mesh</i>	12
2.3 Struktur pori panel beton ringan	13
2.4 Proses perakitan panel beton ringan.....	13
2.5 Grafik hubungan beban dan lendutan	21
3.1 Lokasi penelitian	26
3.2 Timbangan.....	27
3.3 Kontainer.....	27
3.4 Oven	28
3.5 Satu set saringan.....	28
3.6 Mesin <i>sieve shaker</i>	29
3.7 Gelas ukur	29
3.8 Tabung <i>picnometer</i>	30
3.9 Cetakan benda uji	30
3.10 <i>Compression testing machine</i>	30
3.11 <i>Loading frame</i>	31
3.12 <i>Data logger</i>	31
3.13 <i>Load cell</i>	32
3.14 LVDT	32
3.15 <i>Strain gauge</i>	33
3.16 <i>Strain indicator</i>	33
3.17 Solder	34
3.18 Kabel <i>rainbow</i>	34
3.19 Ember	35
3.20 <i>Paint mixer</i>	35
3.21 Meteran	35

3.22 Obeng	36
3.23 Pinset.....	36
3.24 <i>Concrete mixer</i>	36
3.25 Tabung <i>Le Chatelier</i>	37
3.26 Air.....	37
3.27 Semen.....	38
3.28 Agregat halus.....	38
3.29 <i>Foam agent</i>	39
3.30 Naptha E 1.2.1	39
3.31 Benda uji panel beton ringan.....	40
3.32 Proses pembuatan bekisting panel beton ringan	43
3.33 Proses pemotongan dan pengelasan tulangan	43
3.34 Proses pengecoran panel beton ringan	44
3.35 Proses <i>curing</i> panel beton ringan	45
3.36 Persiapan benda uji	45
3.37 Proses menyambungkan strain gauge dengan kabel rainbow lalu dipasang dibagian bawah panel.....	46
3.37 Pemasangan <i>load cell</i> diatas benda uji.....	47
3.37 Pemasangan LVDT di bagian bawah panel.....	48
3.37 Proses pengintegrasian ke alat data logger.....	48
3.38 Proses pemasangan pembebanan terpusat.....	49
3.39 Proses pemasangan pembebanan merata	49
3.40 Skema pengujian	51
3.41 Ilustrasi penulangan pada panel beton ringan	51
3.42 Diagram alir	59
4.1 Pengujian kuat tekan beton ringan yang berasal dari bahan adukan beton segar	64
4.2 Pengujian kuat tekan beton ringan yang berasal dari potongan panel beton ringan	64
4.3 Grafik hubungan beban-lendutan berdasarkan momen-kekakuan.....	83
4.4 Grafik hubungan beban-lendutan berdasarkan kurvatur-regangan	84
4.5 Grafik hubungan beban – lendutan	85

4.6 Grafik hubungan beban – Regangan	86
4.7 Pemetaan retak pada pembebanan terpusat.....	90
4.8 Pemetaan retak pada pembebanan merata.....	90

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Klasifikasi Berat Jenis Beton Menurut Federation Internationale Precontrainte (FIP)	7
2. 2 Klasifikasi Berat Jenis Beton berdasarkan SNI	7
2. 3 Klasifikasi Berat Jenis Beton Berdasarkan American Concrete Institute (ACI)	7
2. 4 Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Massa Beton, dan Jenis Agregat.....	8
2. 5 Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah	10
2. 6 Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.....	10
2. 7 Syarat Gradasi Agregat Halus	14
2. 8 Nilai β_1 untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen	18
3. 1 Spesifikasi Benda Uji.....	42
4. 1 Hasil Pemeriksaan Bahan Agregat Halus.....	61
4. 2 Hasil Pemeriksaan Bahan Tulangan.....	61
4. 3 Kemampuan Pengembangan Foam Agent	61
4. 4 Komposisi Campuran Beton Ringan.....	62
4. 5 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dari Potongan Panel Beton Ringan	65
4. 6 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dari Bahan Adukan Beton Segar ...	65
4. 7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoretis Berdasarkan Momen Kekakuan.....	83
4. 8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoretis Berdasarkan Kurvatur Regangan...	83
4. 9 Rekapitulasi Hasil Pengujian Panel Beton Ringan Hubungan Beban – Lendutan	85
4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Panel Beton Ringan Hubungan Beban – Regangan.....	85
4.9 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Hasil Perhitungan teoritis.....	88

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi konstruksi di era modern menuntut inovasi material bangunan yang tidak hanya ringan, tetapi juga memiliki kinerja struktural yang baik. Salah satu material yang banyak dikembangkan adalah panel beton ringan (*lightweight concrete panel*) yang digunakan sebagai elemen dinding non-struktural maupun semi-struktural. Beton ringan memiliki keunggulan berupa berat jenis yang lebih rendah dibandingkan beton normal, sehingga mampu mengurangi beban mati struktur dan meningkatkan efisiensi konstruksi, khususnya pada bangunan bertingkat dan daerah rawan gempa (Zhou et al., 2021). Namun demikian, kelemahan utama beton ringan terletak pada kuat tarik dan kapasitas lenturnya yang relatif rendah, sehingga rentan terhadap retak dan keruntuhan getas akibat beban lentur (Wang et al., 2020).

Untuk meningkatkan performa tersebut, dilakukan penambahan tulangan atau material penguat seperti *wire mesh* maupun material sejenis (*fiber* atau anyaman). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan perkuatan pada panel beton ringan dapat meningkatkan kuat lentur, kekakuan, serta mengontrol pola retak. Studi pada panel beton ringan komposit menunjukkan bahwa penambahan lapisan beton bertulang mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan lentur apabila bekerja secara monolit (Nuryana Ferryana et al., 2024). Selain itu, penelitian lain menyebutkan bahwa penggunaan material penguat dengan sifat tarik tinggi, seperti anyaman atau serat, dapat meningkatkan kapasitas struktural dan memperbaiki perilaku retak pada beton ringan (Zuraidah S, 2020).

Dalam konteks pembebanan, panel beton ringan juga menunjukkan performa yang cukup baik terhadap beban lateral dan siklik. Penelitian numerik menunjukkan bahwa panel beton ringan dengan variasi dimensi dan perkuatan mampu memenuhi kriteria standar struktur tahan gempa serta menunjukkan distribusi tegangan dan deformasi yang masih dalam batas aman (Jaya Putra F, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa panel beton ringan berpotensi digunakan sebagai elemen dinding pada bangunan tahan gempa dengan syarat diberikan perkuatan yang memadai.

Selain meningkatkan kekuatan, penambahan perkuatan pada panel beton ringan juga berpengaruh terhadap kemampuan material dalam menyerap energi serta meningkatkan sifat daktilitasnya. Beton ringan yang diberi perkuatan umumnya menunjukkan perilaku yang lebih daktil dibandingkan beton ringan tanpa perkuatan, sehingga tidak langsung mengalami keruntuhan secara tiba-tiba. Adanya serat atau tulangan membantu menahan dan memperlambat perkembangan retak, sehingga struktur masih mampu menahan beban meskipun telah melewati kondisi elastisnya. Hal ini berdampak pada peningkatan kuat lentur maupun kuat tekan, serta memberikan kinerja struktural yang lebih baik secara keseluruhan. Dengan demikian, risiko keruntuhan getas dapat dikurangi, yang sangat penting dalam menjaga keamanan struktur.

Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa penambahan tulangan berupa *wire mesh* pada panel beton ringan mampu meningkatkan kinerja mekanis secara signifikan. Peningkatan tersebut terutama terlihat pada kuat lentur, yang dapat meningkat hingga lebih dari 100%, serta peningkatan kuat tekan meskipun dalam proporsi yang lebih kecil, yaitu sekitar 10–15%, tergantung pada jenis, diameter, dan konfigurasi *wire mesh* yang digunakan. Selain itu, keberadaan *wire mesh* juga mempengaruhi pola retak yang terbentuk, di mana retak cenderung lebih tersebar dan tidak terlokalisasi pada satu titik. Hal ini menunjukkan adanya mekanisme distribusi tegangan yang lebih merata serta peningkatan daktilitas, sehingga perilaku keruntuhan menjadi lebih terkendali dan tidak bersifat getas (Yang et al., 2022).

Penggunaan *wire mesh* juga memberikan keuntungan dari sisi ekonomi dan kemudahan aplikasi. *Wire mesh* lebih mudah dipasang dibandingkan tulangan konvensional, sehingga dapat mempercepat proses konstruksi dan mengurangi biaya tenaga kerja. Selain itu, *wire mesh* dapat diproduksi dengan berbagai ukuran dan spasi, sehingga memungkinkan penyesuaian terhadap kebutuhan struktural dan desain bangunan.

Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi dunia akademik dan industri konstruksi, dengan menyediakan informasi yang berguna untuk perancangan dan aplikasi panel beton ringan dengan *wire mesh* pada berbagai proyek konstruksi. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi untuk mewujudkan pengembangan bangunan yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku perilaku lentur panel ringan akibat beban merata dan beban terpusat?
2. Bagaimana pola kehancuran panel beton ringan?
3. Bagaimana kapasitas lentur panel hasil pengujian dengan teoritis berdasarkan kehancuran bahan?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah sesuai tujuan yang diharapkan, maka terdapat beberapa batasan masalah pada penelitian ini, antara lain:

1. Benda uji akan dibuat sebanyak empat sampel berbentuk panel yang dimensi $2400 \times 600 \times 125$ mm, serta diuji setelah panel berumur lebih dari 28 hari.
2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat data *logger* sebagai perangkat untuk merekam dan menyimpan data lendutan (defleksi atau

deformasi) dari sensor secara otomatis dan terus menerus dalam jangka waktu tertentu.

3. Sifat mekanik yang diuji adalah kuat tekan (*compression test*) dan kuat lentur (*flexural strength test*).
4. Komposisi beton ringan yang digunakan mengadopsi dari penelitian terdahulu.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka diperlukan tujuan masalah untuk menjawab rumusan masalah yang terjadi. Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perilaku lentur panel ringan akibat beban merata dan beban terpusat.
2. Menganalisis pola kehancuran panel beton ringan.
3. Membandingkan kapasitas lentur panel hasil pengujian dengan teoritis berdasarkan kehancuran bahan.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah:

1. Memberikan data empiris mengenai perilaku lentur panel beton ringan yang diperkuat dengan *wire mesh*, baik akibat beban merata maupun beban terpusat.
2. Membantu industri konstruksi dalam memilih material panel dinding yang ringan, kuat, dan ramah lingkungan dengan memahami pola kehancuran dan kapasitas lentur panel, serta dapat merancang panel dinding yang lebih aman dan efisien untuk berbagai jenis bangunan.
3. Dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan struktur bangunan modern, terutama untuk bangunan yang membutuhkan material ringan dan tahan gempa. Data perbandingan antara hasil pengujian dan nilai teoritis membantu perancang dalam mengevaluasi keandalan dan efektivitas perkuatan *wire mesh* pada panel beton ringan.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun menggunakan sistematika penulisan yang baku agar memudahkan proses penyusunan. Adapun rincian sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir yang dilakukan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang landasan teori fundamental sebagai penunjang penelitian yang akan dilakukan.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi uraian mengenai gambaran umum dan metode yang akan digunakan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis serta pembahasan data berdasarkan teori yang ada.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan akhir yang merupakan hasil dari pembahasan yang didapat dari pengolahan data dan saran dari hasil tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Ringan

Beton ringan (*lightweight concrete*) merupakan beton yang memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan beton normal, yang diperoleh melalui penggunaan agregat ringan atau pembentukan rongga udara dalam campuran beton. Berdasarkan SNI 03-3449-2002, beton ringan didefinisikan sebagai beton yang menggunakan agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dengan pasir alami, dengan berat isi maksimum sekitar 1400 kg/m³. Penggunaan agregat ringan seperti batu apung, tanah liat bakar, maupun material buatan lainnya bertujuan untuk mengurangi berat struktur tanpa menghilangkan fungsi utama beton sebagai material penahan beban. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa beton ringan umumnya memiliki berat jenis berkisar antara 1400–1850 kg/m³ dan tetap mampu memenuhi persyaratan kuat tekan untuk aplikasi struktural tertentu (Amanda Putra et al., 2023).

beton ringan juga dikembangkan melalui berbagai inovasi material, seperti penggunaan *foam agent*, limbah industri, atau agregat buatan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Beton ringan umumnya memiliki struktur berpori yang menyebabkan sifat mekanisnya, khususnya kuat tarik dan kuat lentur, lebih rendah dibandingkan beton normal, sehingga sering memerlukan perkuatan tambahan untuk meningkatkan kinerjanya. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agregat ringan seperti batu apung atau bahan buatan dapat menurunkan berat beton secara signifikan, namun juga mempengaruhi kuat tekan sehingga perlu optimasi campuran dan material

tambahan (Amir Sultan M, 2021). Oleh karena itu, beton ringan terus dikembangkan sebagai material konstruksi yang tidak hanya ringan, tetapi juga mampu memenuhi tuntutan kekuatan, efisiensi, dan keberlanjutan dalam konstruksi modern.

2.1.1. Klasifikasi Beton Ringan

Beton dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai parameter yang digunakan oleh standar maupun hasil penelitian, seperti berat jenis, kuat tekan, fungsi struktural, serta jenis material penyusunnya. Beberapa klasifikasi berat jenis beton yang telah dikenal dan digunakan sebagai standar dalam pekerjaan konstruksi beton.

Tabel 2.1. Klasifikasi Berat Jenis Beton Menurut Federation Internationale Precontrainte (FIP)

Jenis Beton	Berat Volume (kg/m³)
Beton Ringan	< 2000
Beon Normal	2000 – 3000
Beton Berat	> 3000

(Sumber: Press University Survey, 1983)

Tabel 2.2. Klasifikasi Berat Jenis Beton berdasarkan SNI

Jenis Beton	Berat Volume (kg/m³)
Beton Ringan	< 2000
Beon Normal	2000 – 3000

(Sumber: Departemen PU, 1990)

Tabel 2.3. Klasifikasi Berat Jenis Beton Berdasarkan American Concrete Institute (ACI)

Jenis Beton	Berat Volume (kg/m³)
Beton Ultra Ringan	300 – 1100
Beton Ringan	1100 – 1600
Beton Ringan Struktural	1450 – 1900
Beton Berbobot Normal	2100 – 2550
Beton Berbobot Berat	2900 – 6100

(Sumber: Mindess, 1981)

Berdasarkan (Standar Nasional Indonesia, 1992), beton ringan dapat diklasifikasikan dengan mempertimbangkan parameter kuat tekan, berat jenis beton, serta jenis agregat yang digunakan, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Klasifikasi Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Massa Beton, dan Jenis Agregat

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

(Sumber: SNI 03-3449-2002)

Berdasarkan parameter berat jenis, kuat tekan, serta jenis agregat ringan yang digunakan, beton ringan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama (Prawito E, 2010). Klasifikasi beton ringan, antara lain:

a. Beton ringan insulasi (*insulating concrete*)

Beton jenis ini memiliki berat jenis rendah, yaitu sekitar 300–800 kg/m^3 , dengan kuat tekan berkisar antara 0,69–6,89 MPa. Beton ini umumnya digunakan untuk keperluan isolasi termal karena memiliki konduktivitas panas yang rendah. Struktur berpori pada beton diperoleh dari penggunaan agregat ringan seperti perlite dan vermiculite, sehingga cocok digunakan sebagai material pelindung panas atau pengisi ringan.

- b. Beton ringan dengan kekuatan sedang (*moderate strength concrete*)

Beton ringan kategori ini memiliki berat jenis antara 800–1440 kg/m³ dan kuat tekan berkisar 6,89–17,24 MPa. Jenis ini banyak dimanfaatkan sebagai elemen non-struktural yang tetap membutuhkan kekuatan tertentu. Bahan penyusunnya meliputi agregat ringan buatan seperti terak (*slag*), abu terbang (*fly ash*), tanah liat bakar, serta agregat ringan alami seperti batu apung dan tufa, yang mempengaruhi sifat mekanis beton.

- c. Beton ringan struktural (*structural lightweight concrete*)

Beton ringan struktural memiliki berat jenis berkisar antara 1440–1850 kg/m³ dan mampu mencapai kuat tekan lebih dari 17,24 MPa pada umur 28 hari. Beton ini dapat digunakan sebagai elemen pemikul beban dalam konstruksi. Agregat yang digunakan umumnya berupa material ringan berkekuatan tinggi seperti expanded shale, tanah liat, dan slag, sehingga menghasilkan kombinasi antara kekuatan yang memadai dan berat yang lebih ringan dibandingkan beton normal.

2.1.2. Persyaratan Agregat Ringan untuk Beton Struktural

Berdasarkan SNI 2461:2014, persyaratan sifat fisik, persyaratan kuat tekan, dan persyaratan kuat tarik belah beton yang dihasilkan adalah sebagai berikut untuk agregat ringan untuk beton struktural. Secara umum, semakin tinggi densitas beton ringan yang dihasilkan, maka semakin tinggi pula kekuatannya mekanisnya, sehingga pemilihan agregat ringan harus mempertimbangkan keseimbangan antara berat dan kekuatan agar sesuai dengan kebutuhan struktural.

Tabel 2.5. Persyaratan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

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

(Sumber: SNI 2461:2014 Tabel 3)

Tabel 2.6. Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural

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

(Sumber: SNI 2461:2014 Tabel 2)

2.1.3. Keunggulan Beton Ringan

Beton ringan merupakan salah satu material konstruksi yang semakin banyak digunakan karena menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan beton konvensional. Karakteristik utamanya yang memiliki berat jenis lebih rendah

memberikan keuntungan dalam mengurangi beban mati struktur, sehingga berkontribusi pada efisiensi desain dan peningkatan kinerja bangunan. Selain itu, beton ringan juga dikenal memiliki kemampuan isolasi termal dan akustik yang lebih baik, serta kemudahan dalam proses pelaksanaan konstruksi. Keunggulan beton ringan adalah sebagai berikut:

- a. Mengurangi beban mati struktur
Beton ringan memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan beton normal sehingga mampu menurunkan beban mati bangunan secara signifikan. Hal ini berdampak pada efisiensi dimensi struktur dan biaya konstruksi.
- b. Memiliki kemampuan isolasi yang baik
Struktur beton ringan yang berpori memberikan sifat isolasi termal dan akustik yang lebih baik. Kondisi ini membuat beton ringan cocok digunakan sebagai material dinding bangunan.
- c. Mempermudah pelaksanaan konstruksi
Bobot yang ringan membuat beton lebih mudah dalam proses pengangkutan dan pemasangan di lapangan. Hal ini dapat mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan konstruksi.
- d. Lebih tahan terhadap gempa
Berat struktur yang lebih ringan menyebabkan gaya gempa yang bekerja menjadi lebih kecil. Dengan demikian, penggunaan beton ringan dapat meningkatkan kinerja bangunan di daerah rawan gempa.
- e. Dapat memanfaatkan material limbah
Beton ringan dapat dibuat menggunakan bahan tambahan seperti fly ash atau styrofoam. Pemanfaatan material ini mendukung konsep konstruksi ramah lingkungan dan efisiensi material.

2.2. Panel Beton Ringan

Panel beton ringan (*lightweight concrete panel*) merupakan elemen pracetak biasanya digunakan sebagai dinding pengisi maupun elemen semi-struktural pada bangunan. Material ini terbuat dari beton dengan berat jenis rendah yang diperoleh melalui penggunaan agregat ringan atau pembentukan rongga udara di dalam campuran. Dibandingkan dengan dinding konvensional, panel beton ringan memiliki keunggulan dalam hal pengurangan beban mati struktur,

sehingga dapat meningkatkan efisiensi desain terutama pada bangunan bertingkat. Selain itu, penggunaan sistem panel pracetak memungkinkan proses konstruksi menjadi lebih cepat, seragam, dan minim limbah (Wang et al., 2023; Zhou et al., 2021).

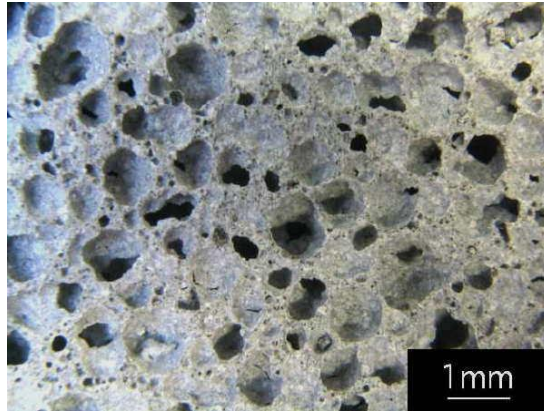


Gambar 2.1. Panel beton ringan.

Dari sisi mekanis, panel beton ringan memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan beton normal, terutama pada kuat tarik dan kuat lenturnya yang relatif lebih rendah. Struktur berpori yang dimiliki beton ringan menyebabkan material ini cenderung lebih getas dan mudah mengalami retak awal saat menerima beban. Dalam pengaplikasiannya diperlukan perkuatan tambahan seperti tulangan baja atau *wire mesh* untuk meningkatkan kapasitas lentur, daktilitas, serta kemampuan menahan beban. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan perkuatan mampu memperbaiki distribusi tegangan dan mengontrol perkembangan retak, sehingga perilaku keruntuhan menjadi lebih daktil dan terkendali (Li et al., 2025).



Gambar 2.2. Panel beton ringan dengan perkuatan tulangan *wire mesh*.



Gambar 2.3. Struktur pori panel beton ringan.

Bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan beton biasa menjadi keunggulan panel beton ringan dalam sistem konstruksi bangunan yang terintegrasi. Proses pengangkutan dan pemasangan panel menjadi lebih mudah dapat berlangsung dengan lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode konvensional yang cenderung lebih berat dan memerlukan waktu yang lama. Sifat pori pada panel beton ringan ini juga mampu menjaga suhu ruang tetap stabil, sehingga dapat memberikan kenyamanan bangunan untuk digunakan.



Gambar 2.4. Proses perakitan panel beton ringan.

2.3. Bahan Pembentuk Beton Ringan

Untuk memastikan Beton ringan memenuhi standar mutu yang diharapkan, pemilihan bahan penyusunnya harus dilakukan sesuai dengan standar. Setiap komponen yang dipakai harus memenuhi ketentuan spesifik yang telah

ditetapkan. Komponen-komponen yang terlibat dalam pembuatan beton ringan mencakup:

2.3.1. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir merujuk pada partikel mineral dengan ukuran kurang dari 4,75 mm atau yang lolos ayakan nomor 4 standar (ASTM C.33-03-2002). Sebelum digunakan untuk bahan pembuatan beton ringan, karakteristik agregat halus ini harus dievaluasi melalui pengujian sifat-sifatnya. Langkah ini memungkinkan perencanaan mix design yang tepat untuk mencapai kuat tekan yang ditargetkan. Pengujian mencakup analisis kadar lumpur, kadar air, berat jenis, berat volume, serta gradasi ayakan. Agregat halus untuk beton ringan, sesuai standar ASTM 11-70 adalah jenis yang lolos ayakan berdiameter kurang dari 5 mm. Pasir ini berfungsi sebagai pengisi untuk menghindari retak atau kerusakan pada beton ringan.

Tabel 2.7. Syarat Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan	Presentase Lolos Saringan
3/8 in (9,5 mm)	100
No. 4 (4,75 mm)	95 – 100
No. 8 (2,36 mm)	80 – 100
No. 16 (1,18 mm)	50 – 85
No. 30 (600 μ m)	25 – 80

(Sumber: ASTM C33)

2.3.2. Air

Air menjadi elemen krusial dalam proses pembuatan beton. Air diperlukan untuk memicu reaksi kimia dengan semen, sehingga menghasilkan pengikatan agregat dan proses hidrasi yang memadatkan beton, serta berfungsi sebagai pelumas antarbutir agregat halus agar mudah diaduk dan dikompresi. Secara kimiawi, hanya 25% dari berat semen yang dibutuhkan untuk reaksi hidrasi, sementara sisanya mendukung perawatan beton melalui penyiraman pasca-pencetakan.

Air berguna sebagai pembuatan pasta semen, mortar, plesteran. Menurut (SNI 03-2847-2002) syarat air harus memenuhi sebagai berikut :

- a) air yang akan digunakan tidak mengandung garam, minyak, bahan kimia, bahan lainnya yang merusak beton.
- b) air mengandung minimal 90% untuk kuat tekan benda uji.
- a) tidak mengandung klorida.

2.3.3. Semen Portland Komposit (PCC)

Semen Portland Komposit (PCC) merupakan pengikat hidrolis dari penggilingan klinker semen Portland dan gypsum bersama satu atau lebih bahan anorganik, atau campuran bubuk semen Portland dengan bahan anorganik lain. Bahan anorganik seperti pozzolan, silikat, atau batu kapur memiliki kadar total 6-40% dari massa semen. Kandungan silika pozzolan membuat pengerasan lebih lambat dengan panas hidrasi rendah, tetapi kuat beton meningkat signifikan pada umur 28 hari. Meski kekuatan awal rendah, perawatan tepat menghasilkan performa setara semen Portland murni. Pozzolan juga mengikat kalsium hidroksida, meningkatkan resistensi terhadap sulfat dan reaksi alkali-agregat dibanding semen Portland konvensional.

2.3.4. Naptha E.121

Naptha E 1.2.1 merupakan bahan aditif kimia yang digunakan dalam campuran beton ringan untuk meningkatkan kualitas campuran, khususnya pada beton berbasis foam agent. Aditif ini berfungsi sebagai water reducing admixture yang mampu meningkatkan kelecakan (workability) tanpa menambah kadar air, sehingga nilai faktor air semen (FAS) tetap rendah dan kekuatan beton dapat dipertahankan.

2.3.5. *Foam Agent*

Foam agent merupakan bahan tambahan yang digunakan dalam pembuatan beton ringan untuk menghasilkan gelembung udara (*foam*) yang stabil di dalam campuran beton. Gelembung tersebut membentuk struktur berpori sehingga menurunkan berat jenis beton tanpa memerlukan agregat kasar.

Foam agent umumnya terdiri dari bahan sintetis atau berbasis protein. Dalam penggunaannya, *foam agent* dicampur dengan air dan udara melalui alat pembangkit busa (*foam generator*) sebelum dimasukkan ke dalam adukan beton. Fungsi utamanya adalah menciptakan pori-pori yang merata, meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*), serta mengontrol densitas beton ringan.

2.4. Pengujian Panel Beton ringan

2.4.1. Uji Kuat Tekan (*Compression Test*)

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan beton, dimana sampel beton dikenai gaya tekan secara bertahap hingga mengalami kerusakan atau kehancuran. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan nilai maksimum tekanan yang dapat ditahan oleh beton sebagai indikator kekuatan material. Dalam penelitian ini, pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari guna memastikan bahwa kekuatan tekan beton telah berkembang maksimal dan dapat memenuhi spesifikasi yang diharapkan sesuai standar mutu.

Kuat tekan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$F_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan: F_c' = Kuat tekan (MPa)
 P = Beban tekan maksimum (N)
 A = Luas bidang tekan (mm²)

2.4.2. Uji Kuat Lentur (*Flexural Strength Test*)

Pengujian bertujuan untuk mengukur kemampuan suatu beton atau panel beton ringan dalam menahan beban lentur hingga terjadi kerusakan. Ketika elemen struktur dikenai beban, akan timbul respons internal berupa momen lentur yang menyebabkan terjadinya deformasi (lendutan) serta distribusi tegangan di sepanjang penampang. Besarnya lendutan dan kapasitas lentur menjadi indikator utama dalam menilai kekakuan serta kemampuan elemen dalam menahan beban kerja (Wahid et al., 2025).

Distribusi tegangan akibat momen lentur menunjukkan bahwa bagian penampang yang berada pada sisi tekan mengalami tegangan tekan, sedangkan sisi lainnya mengalami tegangan tarik. Di antara kedua kondisi tersebut terdapat bidang netral, yaitu lokasi dengan regangan nol, yang menjadi batas antara zona tekan dan tarik. Dalam analisis struktur beton bertulang, distribusi regangan pada penampang umumnya diasumsikan linier, sehingga memungkinkan pendekatan analitis dalam menentukan kapasitas lentur dan perilaku deformasi elemen (Santa & Hutaajulu, 2023).

Keterbatasan beton dalam menahan tegangan tarik menjadi salah satu alasan utama penggunaan tulangan baja sebagai elemen penahan gaya tarik. Dalam sistem beton bertulang, beton berperan dominan dalam menahan gaya tekan, sedangkan baja tulangan berfungsi menahan gaya tarik serta mengendalikan retak yang terjadi. Interaksi keduanya menghasilkan perilaku komposit yang mampu meningkatkan kapasitas lentur, daktilitas, serta keandalan struktur secara keseluruhan, khususnya pada material beton ringan yang memiliki karakteristik porositas lebih tinggi dibandingkan beton normal.

a. Keseimbangan Gaya Dalam

Pada kondisi *under-reinforced* (tulangan tarik telah leleh terlebih dahulu), keseimbangan gaya dalam penampang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C_c = T_s \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

C_c = gaya tekan pada beton (N)

T_s = gaya tarik pada tulangan (N)

Gaya tarik pada tulangan dihitung dengan:

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

A_s = luas penampang tulangan tarik (mm²)

f_y = tegangan leleh baja (MPa)

b. Parameter Blok Distribusi Tegangan

Distribusi tegangan tekan beton disederhanakan dalam bentuk blok tegangan persegi panjang. Parameter nilai β_1 , dinyatakan dalam SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3 atau Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Nilai β_1 untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen

f_c' (Mpa)	β_1	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,65	c)

Jarak garis netral dihitung sebagai:

$$c = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

c = jarak garis netral (mm)

b = lebar penampang (mm)

c. Regangan pada Baja Tulangan

Regangan baja pada suatu lapisan tulangan dapat dihitung dengan hubungan linier:

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot \varepsilon_{cu} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

d = tinggi efektif (mm)

ε_{cu} = regangan maksimum beton ($\approx 0,003$)

Baja dikatakan leleh apabila:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y \dots\dots\dots (2.6)$$

d. Regangan pada Baja Tulangan

Tinggi blok tekan ekuivalen:

$$a = \beta_1 c \dots\dots\dots (2.7)$$

Gaya tekan beton:

$$C_c = 0,85 f_c' ab \dots\dots\dots (2.8)$$

e. Kapasitas Momen Lentur

Kapasitas momen nominal penampang dihitung dari resultan gaya tarik dan tekan:

$$M_n = T_s \cdot (d - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan:

M_n = momen nominal (N·mm)

T_s = Gaya tarik pada tulangan tarik (N)

d = Jarak efektif tulangan tarik dari serat terluar tekan beton ke titik berat tulangan tarik (mm)

a = Panjang garis tekan ekuivalen (mm)

Keruntuhan lentur pada elemen beton bertulang umumnya diawali oleh terbentuknya retak pada zona tarik, yaitu pada bagian bawah penampang. Seiring dengan peningkatan beban, retak tersebut akan mengalami penyebaran dan pelebaran secara bertahap menuju zona tekan hingga mendekati kondisi ultimit. Pada tahap ini, perilaku

penampang menunjukkan bahwa tulangan tarik telah mencapai regangan leleh (ϵ_y), sementara beton pada serat tekan mengalami regangan maksimum (ϵ_{cu}) yang menandai batas kapasitas deformasi material beton. Kondisi tersebut mencerminkan tercapainya kapasitas lentur ultimit elemen, yang ditandai dengan ketidakmampuan penampang dalam menahan peningkatan beban lebih lanjut.

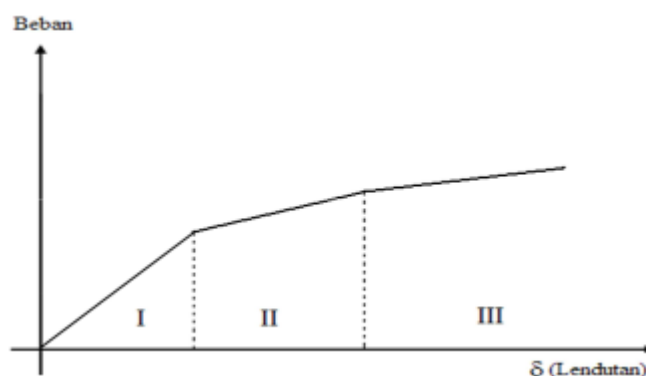
f. Hubungan Beban-Lendutan

Hubungan antara beban dan lendutan (load–deflection relationship) merupakan parameter fundamental dalam mengevaluasi respons deformasi elemen beton bertulang terhadap pembebanan. Kurva ini menggambarkan evolusi perilaku struktur dari kondisi elastis hingga memasuki tahap nonlinier dan mendekati keruntuhan, sehingga sering digunakan untuk menilai kekakuan, daktilitas, serta kapasitas beban ultimit suatu elemen struktur. Studi eksperimental menunjukkan bahwa respons beban–lendutan sangat dipengaruhi oleh kekakuan lentur (EI) serta interaksi antara beton dan tulangan dalam menahan deformasi (Pham et al., 2020)

Ketika elemen beton bertulang mengalami pembebanan, deformasi yang timbul berupa lendutan akibat momen lentur yang bekerja sepanjang bentang. Besarnya lendutan dipengaruhi oleh parameter mekanik seperti kekakuan lentur (EI), panjang bentang, kondisi perletakan, serta tingkat retak yang terjadi pada beton. Setelah retak awal terbentuk pada zona tarik, kontribusi beton terhadap kekakuan lentur berkurang secara signifikan, sehingga lendutan meningkat dan menunjukkan perilaku nonlinier. Fenomena ini sejalan dengan hasil penelitian eksperimental yang menunjukkan bahwa respons lendutan meningkat seiring degradasi kekakuan akibat retak dan perubahan interaksi beton–tulangan. Secara teoritis, hubungan beban–lendutan pada elemen beton bertulang

dapat dibagi ke dalam beberapa tahapan perilaku. Pada tahap awal, elemen masih berada dalam kondisi elastis tanpa retak sehingga hubungan antara beban dan lendutan bersifat linier. Seiring meningkatnya beban, retak mulai berkembang pada daerah tarik yang menyebabkan penurunan kekakuan, meskipun elemen masih mampu menahan beban secara stabil. Pada tahap lanjut, tulangan tarik mencapai kondisi leleh yang ditandai dengan peningkatan lendutan yang signifikan hingga mendekati kondisi ultimit. Tahapan ini menunjukkan transisi dari perilaku elastis menuju plastis yang menjadi karakteristik utama beton bertulang dalam menahan beban lentur. Secara teoritis, hubungan antara beban dan lendutan pada beton bertulang dapat digambarkan dalam bentuk kurva trilinear yang terdiri dari tiga tahap utama:

1. Zona I (pra-retak), struktur masih bekerja elastis dan belum terjadi retak.
2. Zona II (pasca-retak), retak mulai muncul, namun masih dalam kondisi terkendali.
3. Zona III (pasca-leleh), baja tulangan telah mencapai tegangan leleh dan deformasi meningkat signifikan.



Gambar 2.5. Grafik hubungan beban dan lendutan.

g. Hubungan Beban-Lendutan

Regangan (*strain*) merupakan perubahan relatif panjang material akibat gaya yang bekerja, yang dinyatakan sebagai perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang awal. Parameter ini

menjadi indikator penting dalam mengevaluasi respons mekanik material terhadap pembebanan (Rahman et al., 2021).

Hubungan antara beban dan regangan pada elemen struktur umumnya direpresentasikan melalui kurva beban–regangan. Pada tahap awal pembebanan, hubungan ini bersifat linier yang menunjukkan bahwa material masih berada dalam kondisi elastis. Seiring meningkatnya beban, regangan akan bertambah hingga mencapai batas tertentu yang ditandai dengan munculnya retak atau awal plastisitas, sehingga respons berubah menjadi nonlinier.

Pada material beton yang bersifat getas, regangan tarik maksimum terjadi pada zona tarik dan menjadi penyebab utama terbentuknya retak awal. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas tarik beton sangat terbatas dibandingkan dengan kapasitas tekannya, sehingga retak menjadi indikator awal kerusakan pada elemen beton (Li et al., 2025) Secara umum, regangan dirumuskan sebagai:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

ε = regangan

ΔL = perubahan panjang

L = panjang awal

Hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan pada material mengikuti hukum Hooke pada daerah elastis, yaitu:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana:

σ = tegangan

E = modulus elastisitas

ε = regangan

Hubungan ini menunjukkan bahwa pada tahap elastis, tegangan berbanding lurus dengan regangan.

h. Hubungan Beban-Lendutan

Kekakuan lentur merupakan ukuran kemampuan struktur dalam menahan deformasi, yang secara umum didefinisikan sebagai perbandingan antara beban dan lendutan, Gere dan Timoshenko 2000 mendefinisikan kekakuan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan, seperti berikut:

$$K = \frac{P_{cr}}{\delta_{cr}} \dots \dots \dots (2.12)$$

dengan:

K = kekakuan (kN/mm)

P_{cr} = beban saat retak awal (kN)

δ_{cr} = lendutan saat retak awal (mm)

2.5. Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa referensi dari penelitian terdahulu yang penulis gunakan sebagai literatur dan bahan pembelajaran dalam pembuatan panel beton ringan. Adapun penelitian terdahulu tersebut, antara lain:

- a) (Taufik, dkk 2017) meneliti tentang kuat tekan bata ringan menggunakan bahan tambahan *foaming agent*. Dalam penelitian ini bata ringan menggunakan *foam agent* dengan metode CLC (*Cellular Lightweight Concrete*) yang ditambahkan dengan metode substitusi dari berat pasir yang dicampurkan bata ringan dengan jumlah variasi 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, dan 1,5%. Hasil kuat tekan optimum didapat pada varian 0,9%. Gelembung udara dalam campuran mortar menghasilkan material yang berstruktur sel-sel, yang mengandung rongga udara dengan ukuran antara 0,1 sampai 1,0 mm dan tersebar merata sehingga menjadikan sifat bata yang lebih baik untuk menghambat panas dan lebih kedap udara. Perawatan yang dipakai dengan cara penyimpanan didalam ruangan. Benda uji yang dibuat dengan ukuran 60x20x7,5 cm bertujuan mengetahui pengaruh *foaming agent* terhadap kuat tekan bata dengan standar pengujian (SNI, 03-6825-2002). Hasil penelitian nilai kuat tekan

pada umur 7 hari yaitu 0,489 MPa, 14 hari 0,578 MPa, dan 28 hari yaitu 0,667 MPa. Hasil penelitian furnace bata ringan bisa bertahan di suhu < 500°C. Hasil penelitian akustik dapat meredam suara sebesar 3%. Hasil pengujian SEM dan EDX *foaming agent* berfungsi sebagai pembuat gelembung udara yang terdapat antara lekatan agregat dengan pasta semen.

- b) Hasyim, 2025 membahas pengaruh kuat leleh tulangan baja terhadap kapasitas lentur balok beton bertulang melalui pendekatan analisis sensitivitas menggunakan metode simulasi Monte Carlo. Penelitian ini menggunakan model balok beton bertulangan tunggal dengan variasi dimensi dan diameter tulangan, serta mempertimbangkan ketidakpastian nilai kuat leleh berdasarkan data hasil pengujian laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat leleh tulangan (f_y) memiliki hubungan positif terhadap kuat lentur balok (M_n), di mana peningkatan nilai f_y akan meningkatkan kapasitas lentur. Nilai sensitivitas yang diperoleh bervariasi tergantung dimensi balok, dengan nilai tertinggi mencapai 1,70 pada balok berpenampang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kuat leleh tulangan terhadap kapasitas lentur lebih signifikan pada elemen dengan dimensi yang lebih kecil.
- c) Ma'arif, dkk. (2024). "A Comparative Study of Flexural Capacity of Precast Light Concrete Plate Building with Experimental and FEM Analysis", *Mindanao Journal of Science and Technology*, Vol. 22 (S1), 28–42. Penelitian ini menguji dua panel lantai beton ringan pracetak ($120 \times 600 \times 2.970$ mm) dengan pembebanan empat titik dan membandingkannya dengan model FEM tiga dimensi nonlinier. Hasilnya menunjukkan beban retak pertama sekitar 8,33–8,34 kN dengan lendutan $\pm 2,0$ mm dan beban maksimum sekitar 24,3–24,5 kN, serta pola retak lentur yang berawal dari titik pembebanan menuju zona tarik pelat; lendutan yang terjadi masih memenuhi batas SNI 2847-2019 (8,25 mm) sehingga panel dinyatakan memiliki kapasitas lentur yang memadai sebagai pelat lantai beton ringan pracetak. Pola retak menunjukkan retakan yang terjadi di sisi kiri dan kanan pelat, dimulai dari titik

pembebanan, kemudian bergerak menuju tumpuan, dan akhirnya ke tengah bentang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton mengalami retakan, yaitu retakan lentur yang terjadi di kedua sisi pelat akibat beban aksial yang diberikan. Temuan ini konsisten dengan penelitian Zhang (2014). Retakan meningkat seiring dengan penambahan beban. Retakan baru dapat muncul di samping retakan yang sudah ada, dan peningkatan beban dapat memperlebar sekaligus memperpanjang retakan ini. Retakan awal terjadi di area beban dan di tengah bentang.

- d) Ferryana, 2024 melakukan pengujian lentur empat titik pada panel lantai pracetak Aerated Autoclaved Concrete (AAC) berukuran $1970 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \times 125 \text{ mm}$ sebagai panel kontrol tanpa lapisan topping (kode T 0) untuk mengetahui kapasitas lentur dasar panel sebelum dikompositkan dengan lapisan beton bertulang. Panel T(0) dibebani secara monotonik hingga runtuh dengan pengukuran lendutan di beberapa titik bentang untuk memperoleh kurva hubungan beban–deformasi sebagai acuan pembandingan bagi panel komposit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada panel tanpa topping (T 0) beban retak awal P_{crack} tercapai sekitar 750 kg pada deformasi sekitar 4,00 mm, yang menandai munculnya retak lentur utama di daerah tarik. Beban leleh P_{yield} diambil pada saat penurunan kekakuan yang cukup nyata, yaitu sekitar 1670 kg pada deformasi $\pm 18,70 \text{ mm}$, dan panel masih mampu menahan tambahan beban hingga mencapai beban ultimit P_{ult} sekitar 1810 kg pada deformasi $\pm 30,90 \text{ mm}$ sebelum kapasitas beban mulai menurun. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa panel AAC tanpa topping memiliki kapasitas lentur dan kekakuan awal yang terbatas dan relatif rendah untuk aplikasi beban yang lebih besar. Nilai P_{crack} , P_{yield} , dan P_{ult} pada panel T-0 kemudian digunakan oleh peneliti sebagai baseline untuk menilai seberapa besar peningkatan kekuatan lentur dan kekakuan ketika panel yang sama diberi topping beton bertulang dan shear connector, sehingga posisi panel tanpa topping dalam penelitian ini berperan sebagai pembandingan utama efektivitas sistem komposit yang dikembangkan.

III. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu oleh Hardianto dkk. (2018), dengan adopsi yang difokuskan pada aspek komposisi campuran material. Komposisi tersebut dijadikan sebagai dasar dalam penentuan proporsi bahan yang bertujuan untuk memperoleh nilai kuat tekan yang sesuai dengan target penelitian, yaitu 5 MPa.

Adapun metode pelaksanaan dan prosedur pengujian tidak sepenuhnya mengacu pada penelitian tersebut, melainkan disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi penelitian yang dilakukan. Meskipun demikian, penerapan komposisi berdasarkan Hardianto dkk. (2018) tetap mempertimbangkan prinsip-prinsip dasar yang telah teruji, sehingga diharapkan mampu menghasilkan karakteristik kuat tekan yang optimal serta tetap memiliki landasan ilmiah yang kuat.

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung. Seluruh tahapan, mulai dari pembuatan sampel, perawatan, hingga pengujian, dilaksanakan di tempat yang sama agar kondisi penelitian tetap terkontrol dan konsisten.



Gambar 3.1. Lokasi penelitian.

3.2. Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini, antara lain:

1. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk mengukur massa bahan penyusun campuran secara akurat, sehingga proporsi yang digunakan sesuai dengan komposisi yang telah direncanakan. Terdapat beberapa jenis timbangan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: timbangan kecil dengan ketelitian 0,01 gram, timbangan sedang dengan kapasitas 0,1 kg, dan timbangan berukuran besar dengan kapasitas 0,5 kg.



Gambar 3.2. Timbangan.

2. Kontainer

Pada pelaksanaan penelitian ini kontainer yang digunakan adalah kontainer persegi yang berfungsi sebagai wadah untuk masing-masing bahan material yang akan digunakan.



Gambar 3.3. Kontainer.

3. Oven

Oven pada penelitian ini digunakan untuk mengeringkan bahan-bahan material yang akan digunakan dalam pembuatan panel beton ringan. Oven yang digunakan memiliki kapasitas suhu maksimum 110°C dan memiliki daya sebesar 2800 watt.



Gambar 3.4. Oven.

4. Satu set saringan

Diameter saringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah saringan 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; 0,02 mm dan pan. Alat ini digunakan untuk memisahkan agregat sesuai dengan gradasinya yang kemudian akan digunakan pada penelitian sesuai dengan modulus kehalusan agregat yang telah ditentukan.



Gambar 3.5. Satu set saringan.

5. Mesin *sieve shaker*

Mesin *sieve shaker* adalah mesin yang digunakan untuk menggerakkan satu set saringan secara otomatis dan mekanis untuk mempercepat proses penyaringan agregat. Hasil dari pengayakan ini digunakan untuk analisis ukuran partikel secara lebih cepat dan efisien dibandingkan pengayakan manual.



Gambar 3.6. Mesin *sieve shaker*.

6. Gelar ukur

Gelas ukur digunakan sebagai wadah dan alat ukur untuk mengukur *foam agent* dan sikament LN sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.7. Gelas ukur.

7. *Picnometer*

Picnometer pada penelitian ini digunakan sebagai alat untuk menguji kandungan zat organik dalam pasir dan berat jenis agregat halus.



Gambar 3.8. Tabung *picnometer*.

8. Cetakan benda uji

Pada penelitian ini cetakan yang digunakan terbuat dari bahan multipleks dengan dimensi $247 \times 60 \times 12,5$ cm.



Gambar 3.9. Cetakan benda uji.

9. *Compression testing machine*

Alat ini digunakan untuk menguji kuat tekan pada beton ringan. Kemudian menghasilkan angka maksimal kuat tekan dari beton ringan tersebut.



Gambar 3.10. *Compression testing machine.*

10. Mesin uji lentur (*loading frame*)

Mesin uji lentur (*loading frame*) digunakan sebagai alat untuk pengujian kuat lentur pada beton ringan.



Gambar 3.11. *Loading frame.*

11. *Data Logger*

Data logger digunakan sebagai alat bantu untuk merekam hasil dari pengujian yang akan dilakukan pada sampel penelitian.



Gambar 3.12. *Data logger.*

12. *Load cell*

Load cell digunakan untuk mengukur besar beban yang bekerja pada benda uji. *Load cell* yang digunakan mampu mendeteksi beban hingga kapasitas maksimum 5 ton dengan tingkat ketelitian yang baik.



Gambar 3.13. *Load cell.*

13. LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*)

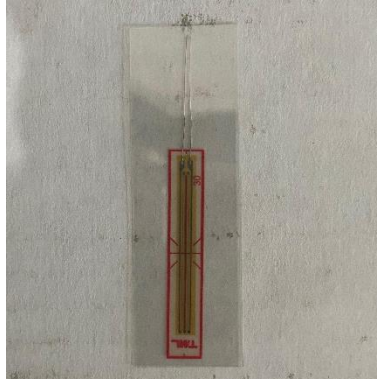
Dalam penelitian ini, LVDT digunakan untuk mengukur besarnya lendutan atau perubahan panjang benda uji saat diberikan beban, sehingga dapat dianalisis perilaku deformasi material.



Gambar 3.14. LVDT.

14. *Strain gauge*

Strain gauge merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur regangan (strain) pada suatu material akibat beban yang bekerja. Alat ini bekerja dengan mendeteksi perubahan resistansi yang terjadi ketika material mengalami deformasi. Dalam penelitian, strain gauge dipasang pada permukaan bawah benda uji untuk mengetahui distribusi regangan, sehingga dapat digunakan dalam analisis tegangan dan perilaku struktur secara lebih detail.



Gambar 3.15. *Strain gauge*.

15. *Strain indicator*

Strain indicator digunakan untuk membaca dan menampilkan nilai regangan yang terukur oleh strain gauge. Alat ini mengolah sinyal listrik menjadi data yang mudah dibaca selama pengujian.



Gambar 3.16. *Strain indicator*.

16. Solder

Solder digunakan untuk menyambungkan kabel atau komponen listrik secara permanen. Alat ini memastikan koneksi antar komponen kuat dan stabil selama proses pengujian.



Gambar 3.17. Solder.

17. Kabel *rainbow*

Kabel *rainbow* digunakan sebagai penghubung antara *strain gauge* dan *strain indicator*.



Gambar 3.18. Kabel *rainbow*.

18. Ember

Pada penelitian ini ember plastik digunakan sebagai wadah untuk membuat campuran beton ringan.



Gambar 3.19. Ember.

19. *Paint Mixer*

Paint mixer digunakan untuk membantu proses pengadukan semen dan campuran beton ringan lainnya.



Gambar 3.20. *Paint mixer*.

20. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur panjang, lebar, atau tinggi suatu benda uji. Alat ini membantu memastikan dimensi sesuai dengan perencanaan penelitian.



Gambar 3.21. Meteran.

21. Obeng

Obeng digunakan untuk mengencangkan atau melepas baut dan sekrup pada peralatan. Alat ini membantu dalam proses perakitan maupun penyesuaian alat penelitian.



Gambar 3.22. Obeng.

22. Pinset

Pinset digunakan sebagai alat bantu dalam proses menyambungkan antara kabel *strain gauge* dengan kabel *rainbow*.



Gambar 3.23. Pinset.

23. Concrete mixer

Concrete mixer digunakan untuk mencampur bahan penyusun beton seperti semen, agregat, dan air hingga menjadi campuran yang homogen.



Gambar 3.24. *Concrete mixer*.

24. Tabung *Le Chatelier*

Concrete mixer digunakan untuk mencampur bahan penyusun beton seperti semen, agregat, dan air hingga menjadi campuran yang homogen.



Gambar 3.25. Tabung *Le Chatelier*.

3.3. Bahan Penelitian

Adapun bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini, antara lain:

1. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini harus bersih, tidak mengandung minyak, lumpur, dan garam. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.



Gambar 3.26. Air.

2. Semen

Semen yang digunakan dalam pembuatan beton ringan jenis CLC dan kombinasinya adalah semen jenis PCC dengan merek Semen Baturaja.



Gambar 3.27. Semen.

3. Agregat halus

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini sudah memenuhi standar ASTM yang sebelumnya telah dilakukan pengujian seperti kadar air, gradasi agregat kasar, berat jenis dan penyerapan, dan berat volume.



Gambar 3.28. Agregat halus.

4. *Foam Agent*

Foam agent yang digunakan pada penelitian ini adalah merk GF 1420. Gelembung udara yang dihasilkan dari *foam agent* ini merupakan busa organik yang kurang stabil dan berfungsi hanya sebagai media untuk membungkus udara.



Gambar 3.29. *Foam agent*.

5. Zat adiktif

Zat aditif merupakan bahan tambahan yang dicampurkan dalam jumlah tertentu ke dalam suatu material untuk memperbaiki atau mengubah sifat-sifatnya sesuai kebutuhan. Pada penelitian ini zat adiktif yang digunakan adalah Naptha E-121, yang merupakan bahan aditif kimia yang digunakan dalam campuran beton untuk meningkatkan kinerja dan kemudahan pengerjaan (*workability*). Penggunaannya dapat membantu memperbaiki sifat campuran, seperti meningkatkan kelecakan serta mendukung pencapaian kuat tekan yang diinginkan. Penggunaannya membantu menghasilkan campuran yang lebih homogen serta mendukung pembentukan struktur pori yang baik, sehingga berat jenis lebih ringan dan kuat tekan tetap optimal.



Gambar 3.30. Naptha E 1.2.1.

3.4. Benda Uji

Pada penelitian ini digunakan dua buah benda uji berupa panel beton ringan yang dirancang untuk merepresentasikan dua kondisi pembebanan, yaitu beban terpusat dan beban merata. Kedua benda uji dibuat dengan dimensi yang identik, yaitu $2470 \times 600 \times 125$ mm guna memastikan keseragaman geometri sehingga perbedaan respons struktur yang terjadi dapat dikaitkan secara langsung dengan jenis pembebanan yang diberikan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku lentur, kapasitas dukung, serta karakteristik deformasi panel beton ringan di bawah variasi pola distribusi beban.

Masing-masing benda uji diperkuat dengan tulangan *wire mesh* tipe M7 yang ditempatkan di dalam penampang beton. Keberadaan tulangan ini berfungsi untuk meningkatkan kapasitas menahan tegangan tarik, mengendalikan lebar dan pola retak, serta menjaga integritas struktur setelah terjadinya retak awal. Dengan konfigurasi tersebut, diharapkan panel mampu menunjukkan perilaku struktural yang representatif, sehingga hasil pengujian dapat digunakan untuk menganalisis hubungan beban–lendutan, kapasitas momen, serta mekanisme keruntuhan yang terjadi pada elemen beton ringan bertulangan.



Gambar 3.31. Benda uji panel beton ringan.

3.5. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi, pemeriksaan material, percobaan komposisi material, pembuatan sampel benda uji, dan pengujian benda uji.

3.5.1. Pemeriksaan Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik bahan yang digunakan dalam pembuatan beton, meliputi:

a. Agregat Halus

1. Kadar air agregat halus (ASTM C 70-94)
2. Berat jenis agregat halus (ASTM C 128-98)
3. Kadar lumpur agregat halus (ASTM C 117-80)
4. Kandungan zat organik agregat halus (ASTM C 40-92)
5. Pengujian gradasi agregat halus (ASTM C 33-93)
6. Berat volume agregat halus (ASTM C 29)

b. Semen

1. Berat jenis semen (ASTM C 188-95)

a. Tulangan *Wire mesh*

1. Pengujian tarik besi tulangan (ASTM A 370)

b. *Foam Agent*

1. Kemampuan pengembangan *foam agent*

3.5.2. Percobaan Campuran Beton Ringan (*Mix Design*)

Komposisi material yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Hardianto dkk. (2018), yang telah mengkaji karakteristik beton ringan dengan parameter campuran tertentu. Acuan tersebut dipilih karena dinilai memiliki kesesuaian dengan tujuan penelitian, khususnya dalam menghasilkan beton ringan dengan kombinasi sifat mekanik dan densitas yang optimal. Meskipun demikian, untuk memastikan bahwa komposisi yang diadopsi tetap

relevan dan mampu memenuhi target kuat tekan yang direncanakan, dilakukan serangkaian pengujian ulang melalui metode *trial and error*.

Proses verifikasi ini dilakukan dengan membuat beberapa variasi campuran berdasarkan komposisi awal dari penelitian Hardianto dkk. (2018), kemudian diuji untuk mengetahui kesesuaian hasil kuat tekan yang diperoleh terhadap nilai rencana dalam penelitian ini. Hal ini penting dilakukan mengingat adanya kemungkinan perbedaan kondisi material, metode pencampuran, serta faktor lingkungan yang dapat memengaruhi hasil akhir beton.

3.5.3. Pembuatan Sampel Benda Uji

Sampel yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua panel beton ringan dengan spesifikasi disajikan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Benda Uji

Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Dimensi (mm)	Tulangan
Panel beton Ringan	2	2400 × 600 × 125	<i>Wire mesh M7</i>

Adapun tahapan pembuatan sampel benda uji, meliputi:

a. Pembuatan bekisting

Dilakukan pembuatan bekisting secara mandiri di laboratorium sebagai wadah pencetakan benda uji panel beton ringan. Proses ini diawali dengan pemotongan material bekisting berupa multipleks dengan ketebalan 12 mm sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan. Selanjutnya, dilakukan perakitan setiap bagian bekisting dengan memperhatikan ketelitian ukuran, kekakuan sambungan, serta kerapatan antar bidang agar mampu menahan tekanan campuran beton segar tanpa mengalami deformasi maupun kebocoran. Proses pembuatan bekisting dapat dilihat pada gambar 3.33.



Gambar 3.33. Proses pembuatan bekisting panel beton ringan.

b. Pemotongan dan Pengelasan Tulangan

Tulangan baja berupa *wire mesh* M7 dipotong sesuai kebutuhan dimensi, kemudian dilakukan perakitan dengan membentuk bagian korset dan kait. Proses ini dilaksanakan dengan bantuan tenaga staff labolatorium untuk memastikan ketelitian ukuran serta kemudahan dalam tahapan perakitan selanjutnya. Sambungan antar elemen tulangan dilakukan melalui proses pengelasan, sehingga terbentuk rangka tulangan yang monolit dan memiliki kekakuan yang memadai. Proses pemotongan dan pengelasan tulangan dapat dilihat pada gambar 3.34.



Gambar 3.34. Proses pemotongan dan pengelasan tulangan.

c. Proses Pengecoran Panel Beton Ringan

Selanjutnya dilakukan pengecoran panel beton ringan ke dalam bekisting yang dilaksanakan pada tanggal 10 – 11 Maret 2026.

Proses pengecoran beton ringan dilakukan dengan perhatian khusus terhadap stabilitas busa dan homogenitas campuran. Tahap awal diawali dengan pencampuran material dasar, yaitu agregat halus yang lolos saringan 2,36, semen, dan air didalam mesin molen hingga membentuk mortar yang merata. Secara terpisah, *foam agent* diencerkan dengan air dengan perbandingan tertentu, kemudian diolah menggunakan alat pembangkit busa (pada penelitian digunakan *paint mixer*) selama 3 – 5 menit hingga menghasilkan busa yang stabil dan berstruktur halus. Busa yang telah terbentuk selanjutnya dicampurkan ke dalam mortar secara bertahap sambil diaduk perlahan untuk menjaga agar gelembung udara tidak pecah dan tetap terdistribusi secara merata.

Setelah campuran beton ringan mencapai konsistensi yang diinginkan, adukan dituangkan ke dalam bekisting secara hati-hati untuk menghindari kerusakan struktur pori yang telah terbentuk. Berbeda dengan beton konvensional, proses pemadatan tidak dilakukan dengan getaran berlebih, melainkan cukup dengan perataan ringan guna menjaga kestabilan rongga udara dalam campuran. Tahap akhir dilakukan perataan permukaan menggunakan alat bantu seperti roskam untuk memperoleh hasil akhir yang rapi. Proses ini sangat menentukan kualitas beton ringan, terutama dalam menghasilkan distribusi pori yang seragam, berat jenis yang rendah, serta kekuatan mekanik yang tetap memenuhi persyaratan.





Gambar 3.35. Proses pengecoran panel beton ringan.

3.5.4. *Curing* Benda Uji

Setelah benda uji dimasukkan ke dalam cetakan dan dibiarkan selama 24 jam, kemudian benda uji dilapisi dengan geotextile dan disemprotkan air secara halus sebanyak 2-3 kali sehari sampai umur 7 hari. Pada umur 8 hari, benda uji kemudian disemprotkan air kembali sebanyak 1-2 kali sehari sampai umur 28 hari. Hal ini dilakukan untuk menjamin proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna sehingga tidak terjadi retak- retak pada beton ringan.



Gambar 3.35. Proses *curing* panel beton ringan.

3.5.5. Pengujian Benda Uji

a. Tahap Awal Pengujian

Tahap awal penelitian diawali dengan proses persiapan benda uji yang akan digunakan dalam pengujian. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan dua unit panel lantai beton ringan hasil produksi industri sebagai benda uji penelitian.
2. Melakukan pemeriksaan visual terhadap masing-masing panel untuk memastikan tidak terdapat cacat awal, seperti retak, kerusakan permukaan, atau deformasi yang dapat memengaruhi hasil pengujian.
3. Membersihkan permukaan panel dari debu, kotoran, dan partikel lain guna menjamin kualitas pemasangan alat ukur.
4. Menentukan serta menandai titik-titik pengukuran pada permukaan panel sebagai acuan pemasangan instrumen, seperti *load cell*, *strain gauge*, dan LVDT, agar posisi pengukuran lebih akurat dan konsisten.



Gambar 3.36. Persiapan benda uji.

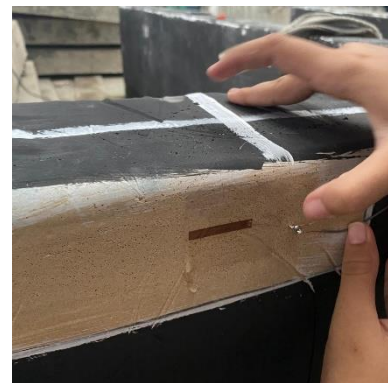
b. Tahap Pemasangan Instrumen Pengujian

Berikut tahapan pemasangan instrumen pengujian yang dilakukan secara sistematis untuk memastikan akurasi data yang diperoleh:

1. *Strain gauge* dipasang pada permukaan bawah panel sebagai lokasi terjadinya regangan tarik maksimum. Sebelum

pemasangan, permukaan terlebih dahulu dihaluskan dan dibersihkan dari debu maupun kotoran agar sensor dapat melekat dengan baik dan menghasilkan pembacaan yang akurat.

2. Setelah *strain gauge* terpasang, sensor dihubungkan ke *strain indicator* menggunakan kabel penghubung (*rainbow cable*) untuk memungkinkan pembacaan regangan secara langsung.
3. *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) diposisikan pada tengah bentang panel guna mengukur besarnya lendutan yang terjadi selama proses pembebanan.
4. *Load cell* ditempatkan pada sistem pembebanan di tengah bentang untuk merekam besaran gaya yang diberikan pada panel secara presisi.
5. Selanjutnya, *load cell* dan LVDT diintegrasikan dengan data logger 8-channel, sehingga seluruh data pengujian, baik gaya maupun lendutan, dapat terekam secara simultan dan kontinu selama pengujian berlangsung.



a)



b)



c)



d)

Gambar 3.37. a) proses menyambungkan *strain gauge* dengan kabel *rainbow* lalu dipasang dibagian bawah panel b) pemasangan *load cell* diatas benda uji c) pemasangan LVDT di bagian bawah panel d) proses pengintegrasian ke alat data logger.

c. Tahap Pengujian

Prosedur pengujian dilaksanakan secara bertahap dan sistematis sebagai berikut:

1. Panel beton ringan ditempatkan pada sistem tumpuan sesuai dengan skema pengujian yang telah direncanakan.
2. Seluruh komponen pengujian, meliputi benda uji, alat ukur, serta sistem pembebanan, diperiksa untuk memastikan telah terpasang dengan benar, sejajar, dan dalam kondisi stabil.

3. Pembebanan diberikan secara bertahap menggunakan mesin uji lentur hingga panel menunjukkan indikasi retak awal dan terus dilanjutkan sampai mencapai beban maksimum.
4. Pengujian dilakukan dengan dua variasi metode pembebanan, yaitu:
 - a) Pembebanan terpusat (*third-point loading*).



Gambar 3.38. Proses pemasangan pembebanan terpusat.

- b) Pembebanan merata (*uniformly distributed load*)



Gambar 3.38. Proses pemasangan pembebanan merata.

5. Selama proses pembebanan berlangsung, data gaya, lendutan, dan regangan direkam secara kontinu menggunakan *data logger* untuk memperoleh respons struktur secara menyeluruh.
6. Perkembangan pola retak serta mekanisme keruntuhan yang terjadi diamati dan didokumentasikan secara visual sebagai bagian dari evaluasi perilaku struktural.

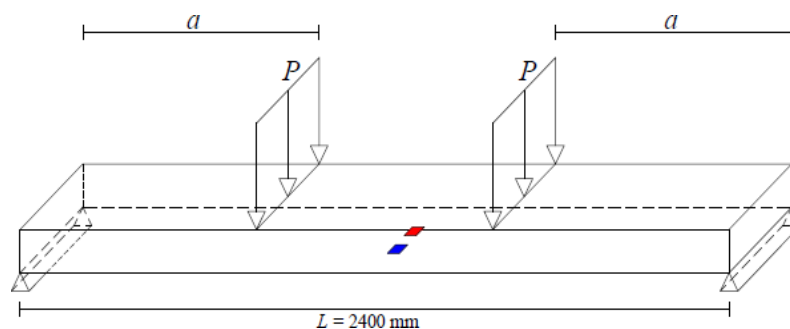
7. Pengujian dihentikan setelah panel mencapai kondisi keruntuhan atau ketika kapasitas maksimum alat uji telah tercapai.
8. Seluruh data hasil pengujian kemudian dicatat, diolah, dan dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan terkait kinerja panel beton ringan.

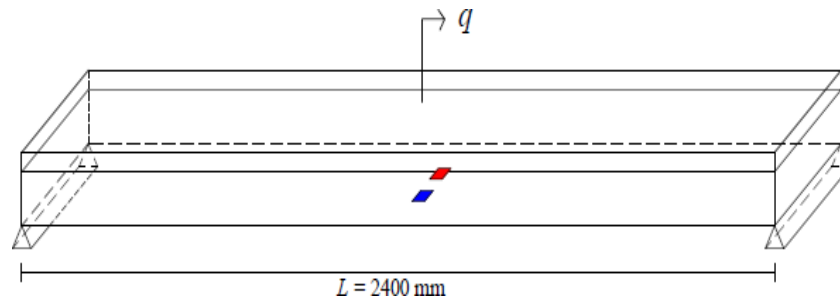
3.6. Analisis Data

Data hasil pengujian yang diperoleh dari alat Data Logger akan dianalisis dengan langkah-langkah berikut:

1. Menyusun data hasil pencatatan dari data logger dan mesin uji.
2. Memverifikasi data untuk menghindari kesalahan pencatatan dan membuang data *outlier*.
3. Menghitung regangan (ϵ), menghitung tegangan (σ), menentukan lendutan (δ) dari hasil pembacaan sensor LVDT, dan menghitung kekuatan lentur sesuai standar SNI/ASTM.
4. Menyajikan grafik hubungan beban–lendutan dan regangan–beban.
5. Menghitung persentase perbedaan kinerja antar panel.
6. Menjelaskan perbedaan hasil uji berdasarkan faktor material, metode produksi, dan perawatan (*curing*).
7. Memberikan kesimpulan awal mengenai potensi panel hasil laboratorium sebagai alternatif panel pabrikan.

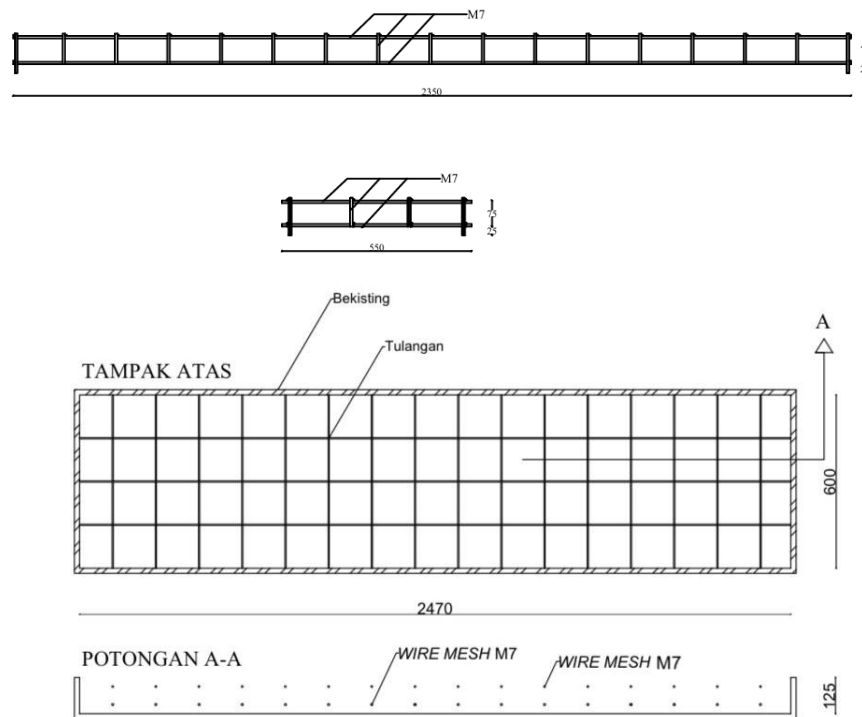
Adapun skema pengujian lentur yang akan dilakukan terhadap panel sebagai berikut:





Gambar 3.39. Skema pengujian.

Tulangan *wire mesh* yang digunakan dalam panel beton ringan adalah *wire mesh* M7 untuk bagian atas dan bagian bawah, disajikan dalam gambar 3.5.



Gambar 3.40. Ilustrasi penulangan pada panel beton ringan.

Berdasarkan skema tersebut, momen lentur maksimum terjadi pada bagian tengah bentang panel, sehingga daerah tersebut menjadi lokasi kritis terjadinya regangan maksimum, lendutan terbesar, serta inisiasi retak hingga keruntuhan. Dari skema tersebut dapat diketahui persamaan dasar kuat lentur adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan:

σ = Kuat lentur (kg/m²)

M = Momen maksimum (kg.m)

y = Jarak titik massa balok dari serat atas, $1/2 h$ balok (cm)

I = Momen inersia balok (cm⁴)

Untuk penampang persegi, momen inersia dihitung dengan:

$$I_{persegi} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 \dots\dots\dots(3.2)$$

I = Inersia (mm⁴)

b = lebar (mm)

h = tinggi (mm)

Modulus elastisitas beton:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c'} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

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

Sesuai dengan teori Park & Paulay (1975), lendutan pada pelat tidak ditentukan secara langsung dari besarnya beban yang bekerja, melainkan diperoleh melalui pendekatan kurvatur (ϕ). Kurvatur merepresentasikan tingkat kelengkungan penampang yang berhubungan langsung dengan distribusi regangan di dalam elemen struktur. Dengan demikian, lendutan dihitung berdasarkan integrasi kurvatur sepanjang bentang, sehingga mampu menggambarkan perilaku deformasi struktur secara lebih realistis, terutama pada kondisi nonlinier. Hubungan utamanya adalah:

$$\phi = \frac{\varepsilon}{y} \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan:

ϕ = Kurvatur (rad/mm)

ε = Regangan

y = Jarak dari garis netral ke serat yang ditinjau (mm)

Lendutan (δ) selanjutnya diperoleh dengan cara meninjau distribusi kurvatur sepanjang bentang dan mengintegrasikannya. Proses ini dilakukan menggunakan Teorema Momen-Area II, yaitu dengan menentukan momen statis dari luasan diagram kurvatur terhadap titik acuan (tumpuan). Dengan pendekatan ini, besarnya lendutan dapat diturunkan secara bertahap dari bentuk diagram kurvatur yang terbentuk di sepanjang elemen struktur.

1. Fase retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{0,62\sqrt{f_c'} \cdot I_g}{y} \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan:

M_{cr} = Momen retak (Nmm)

I_g = Inersia penampang bruto (mm⁴)

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

y = Jarak titik berat penampang dari serat atas, $\frac{1}{2} h$ (mm)

Kurvatur dihitung berdasarkan inersia utuh (I_g). Diagram kurvatur mengikuti bentuk trapesium momen secara linear. Lendutan (δ_{cr}) adalah hasil integrasi luasan kurvatur. Berikut ini persamaan untuk momen retak pada pembebanan terpusat:

$$\begin{aligned} \text{Momen statis 1 } (M_1) &= A_1 \cdot x_1 \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot a \cdot \phi_{cr}\right) \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot a\right) = \frac{1}{3} \phi_{cr} \cdot a^2 \dots\dots\dots (3.6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen statis 2 } (M_2) &= A_2 \cdot x_2 \\ &= \phi_{cr} \left(\frac{L}{2} - a\right) \cdot \left(\frac{L/2 + a}{2}\right) = \frac{\phi_{cr} L^2}{8} - \frac{\phi_{cr} a^2}{2} \dots\dots (3.7) \end{aligned}$$

$$\text{Lendutan } (\delta_{cr}) = M_1 + M_2 = \frac{\phi_{cr}}{24} (3L^2 - 4a^2) \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan:

δ_{cr} = Lendutan ketika beton tarik retak (mm)

ϕ_{cr} = Kurvatur ketika beton tarik retak (rad/mm)

L = Bentang (mm)

a = Jarak tumpuan ke beban P, $1/3L$ (mm)

Berikut ini persamaan untuk momen retak pada pembebanan merata:

endutan maksimum pada pembebanan merata terjadi di tengah bentang, sehingga analisis difokuskan pada titik tersebut sebagai lokasi kritis deformasi. Oleh karena itu, penentuan kurvatur maksimum dilakukan berdasarkan momen lentur maksimum yang juga terjadi di tengah bentang. Untuk balok dengan tumpuan sederhana dan beban merata, momen maksimum dinyatakan sebagai:

$$M_{max} = \frac{qL^2}{8} \dots\dots\dots (3.9)$$

Nilai momen ini kemudian digunakan dalam hubungan antara momen dan kurvatur untuk memperoleh kurvatur maksimum, yang selanjutnya menjadi dasar dalam perhitungan lendutan maksimum.

$$\phi_{max} = \frac{M}{EI} = \frac{qL^2}{8EI} \dots\dots\dots (3.10)$$

Lalu substitusikan ke rumus lendutan elastis:

$$\delta_{cr} = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI} = \frac{5}{48} \cdot \frac{qL^2}{8EI} \cdot L^2 \dots\dots\dots (3.11)$$

$$\delta_{cr} = \frac{5}{48} \phi \cdot L^2 \dots\dots\dots (3.12)$$

dengan:

q = Beban merata yang bekerja sepanjang bentang (kN/m)

L = Panjang bentang pelat (mm)

ϕ = Kurvatur penampang (rad/mm)

δ = Lendutan maksimum pelat (mm)

M = Momen lentur pada penampang (Nmm)

E = Modulus elastisitas material (MPa)

I = Momen inersia penampang (mm⁴)

$$\phi_{cr} = \frac{\varepsilon_{ct}}{y_t} \text{ atau } \phi_{cr} = \frac{M_{cr}}{E_c \times I_g} \dots\dots\dots (3.13)$$

dengan:

ϕ_{cr} = Kurvatur ketika beton tarik retak (rad/mm)

ε_{ct} = Regangan saat beton tarik retak, fr/Ec

y_t = Jarak dari sumbu netral ke serat tarik terluar, ½ h (mm)

M_{cr} = Momen retak (Nmm)

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

I_g = Inersia penampang bruto (mm⁴)

2. Fase leleh (M_y)

Pada tahap ini, pembebanan yang diberikan pada panel terus ditingkatkan hingga tulangan tarik mencapai regangan leleh (ϵ_y). Kondisi ini menandai berakhirnya perilaku elastis penuh dan awal dari respons inelastis pada elemen struktur. Secara mekanika, distribusi momen lentur sepanjang bentang masih mengikuti bentuk yang sama seperti tahap sebelumnya, namun nilai momennya telah meningkat hingga mencapai momen leleh (M_y) di daerah tengah bentang sebagai zona kritis.

Dalam pendekatan analisis, lendutan pada kondisi ini tidak dihitung langsung dari persamaan elastisitas sederhana, melainkan melalui konsep kurvatur (ϕ_y) yang merepresentasikan kelengkungan penampang akibat distribusi regangan. Nilai kurvatur leleh diperoleh dari hubungan kompatibilitas regangan antara beton dan baja, dengan asumsi bahwa regangan bervariasi linier terhadap tinggi penampang.

Perhitungan lendutan dilakukan dengan mengintegrasikan distribusi kurvatur sepanjang bentang menggunakan prinsip momen-area. Karena sebagian penampang telah memasuki kondisi nonlinier (tulangan tarik mulai leleh), maka kekakuan efektif elemen mengalami penurunan dibandingkan kondisi sebelum leleh. Hal ini menyebabkan peningkatan lendutan yang lebih signifikan meskipun kenaikan beban relatif kecil. Dengan demikian, fase leleh merupakan kondisi transisi penting yang menunjukkan perubahan perilaku struktur dari elastis menuju plastis, yang ditandai dengan mulai dominannya deformasi akibat lelehnya tulangan tarik. Pendekatan ini juga konsisten dengan konsep daktilitas struktur beton bertulang yang dikemukakan oleh Park dan Paulay, di mana deformasi pasca-leleh menjadi parameter utama dalam evaluasi kinerja struktur.

Lendutan pembebanan terpusat:

$$(\delta_y) = \frac{\phi_y}{24} (3L^2 - 4a^2) \dots\dots\dots (3.14)$$

Lendutan pembebanan merata:

$$\delta_y = \frac{5}{48} \phi_y L^2 \dots\dots\dots (3.15)$$

δ_y = Lendutan ketika tulangan leleh (mm)

ϕ_y = Kurvatur ketika tulangan leleh (rad/mm)

L = Bentang (mm)

a = Jarak tumpuan ke beban P , $1/3 L$ (mm)

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_y}{d-c} \text{ atau } \phi_y = \frac{M_y}{E_c \times I_{cr}} \dots\dots\dots (3.16)$$

Dengan:

ϕ_{cr} = Kurvatur ketika beton tarik retak (rad/mm)

ε_{ct} = Regangan saat beton tarik retak, f_r/E_c

y_t = Jarak dari sumbu netral ke serat tarik terluar, $1/2 h$ (mm)

M_{cr} = Momen retak (N.mm)

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

I_g = Inersia penampang bruto (mm⁴)

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot c^3 + n \cdot A's \cdot (d' - c)^2 + n \cdot A_s \cdot (d - c)^2 \dots\dots\dots (3.17)$$

dengan:

I_{cr} = Inersia penampang retak (mm⁴)

b = Lebar pelat (mm)

c = Panjang garis netral dari serat atas ketika leleh (mm)

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots (3.18)$$

$A's$ = Luas tulangan tarik bagian atas (mm²)

A_s = Luas tulangan tarik bagian bawah (mm²)

d' = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat dari tulangan tarik atas (mm)

d = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat dari tulangan tarik bawah (mm)

3. Fase leleh (M_y)

Pada tahap ini, struktur telah melewati kondisi leleh dan memasuki perilaku nonlinier secara penuh hingga mendekati keruntuhan. Peningkatan beban tidak lagi diikuti oleh kenaikan kapasitas yang

signifikan, melainkan menghasilkan deformasi yang semakin besar. Hal ini disebabkan karena sebagian besar penampang, khususnya pada zona tarik, telah mengalami plastisitas, sementara beton pada zona tekan mendekati regangan maksimum.

Menurut konsep yang dikemukakan oleh Park dan Paulay (1975), respons lendutan pada kondisi ultimit tidak lagi dapat dijelaskan hanya dengan pendekatan elastis, melainkan merupakan kombinasi antara deformasi elastis yang tersisa dan deformasi plastis yang terlokalisasi. Pada kondisi ini terbentuk daerah sendi plastis (*plastic hinge*), umumnya di sekitar tengah bentang, yang menjadi pusat rotasi akibat akumulasi kurvatur.

Secara analitis, lendutan ultimit diperoleh dari penjumlahan lendutan saat leleh (δ_y) dan tambahan lendutan akibat rotasi plastis (δ_p). Tambahan lendutan ini muncul dari selisih kurvatur antara kondisi ultimit (ϕ_u) dan kondisi leleh (ϕ_y) yang terdistribusi pada panjang karakteristik tertentu (L_p). Distribusi ini menghasilkan rotasi plastis yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan lendutan total.

$$\delta_u = \delta_y + \delta_p \dots \dots \dots (3.19)$$

Selisih antara kurvatur ultimit (ϕ_u) dan kurvatur leleh (ϕ_y) yang menyebar sepanjang jarak ekuivalen L_p menghasilkan rotasi, berdasarkan kondisi tumpuan sederhana (*simple support*) dan posisi beban titik, rotasi ini bekerja dengan lengan momen sebesar jarak geser (a) terhadap tumpuan untuk beban terpusat dan pada pembebanan merata kontribusi lendutan plastis ditinjau terhadap posisi lendutan maksimum, yaitu di tengah bentang. Oleh karena itu, lengan rotasi plastis diambil sebesar setengah panjang bentang ($L/2$), sehingga tambahan lendutan plastis dinyatakan sebagai hasil kali rotasi plastis dengan $L/2$, maka:

$$\delta_p \text{ terpusat} = (\phi_u - \phi_y) \cdot L_p \cdot a \dots \dots \dots (3.20)$$

$$\delta_p \text{ merata} = (\phi_u - \phi_y) \cdot L_p \cdot \frac{L}{2} \dots \dots \dots (3.21)$$

Dengan menggabungkan kedua fase tersebut, maka rumus lendutan ultimit yang digunakan dalam analisis secara teoretis adalah:

$$\delta_u \text{ terpusat} = \frac{\phi_y}{24}(3L^2 - 4a^2) + (\phi_u - \phi_y) \cdot L_p \cdot a \dots \dots \dots (3.22)$$

$$\delta_u \text{ merata} = \frac{5}{48} \phi_y L^2 + (\phi_u - \phi_y) \cdot L_p \cdot \frac{L}{2} \dots \dots \dots (3.23)$$

dengan:

δ_u = Lendutan ketika beban ultimit (mm)

ϕ_y = Kurvatur ketika tulangan leleh (mm^{-1})

L = Bentang (mm)

a = Jarak tumpuan ke beban P , $1/3L$ (mm)

ϕ_u = Kurvatur ketika beban ultimit (mm^{-1}), ϵ_{ycu}

L_p = Panjang sendi plastis ekivalen (mm), diambil sebesar 0,5d.

Kekakuan pelat:

$$K = \frac{P_{cr}}{\delta_{cr}} \dots \dots \dots (3.24)$$

K = Kekakuan pelat (kN/mm)

P_{cr} = Beban saat retak awal (kN)

δ_{cr} = Lendutan saat retak awal (mm)

Daktilitas pelat:

$$\mu_\delta = \frac{\delta_u}{\delta_y} \dots \dots \dots (3.25)$$

dengan:

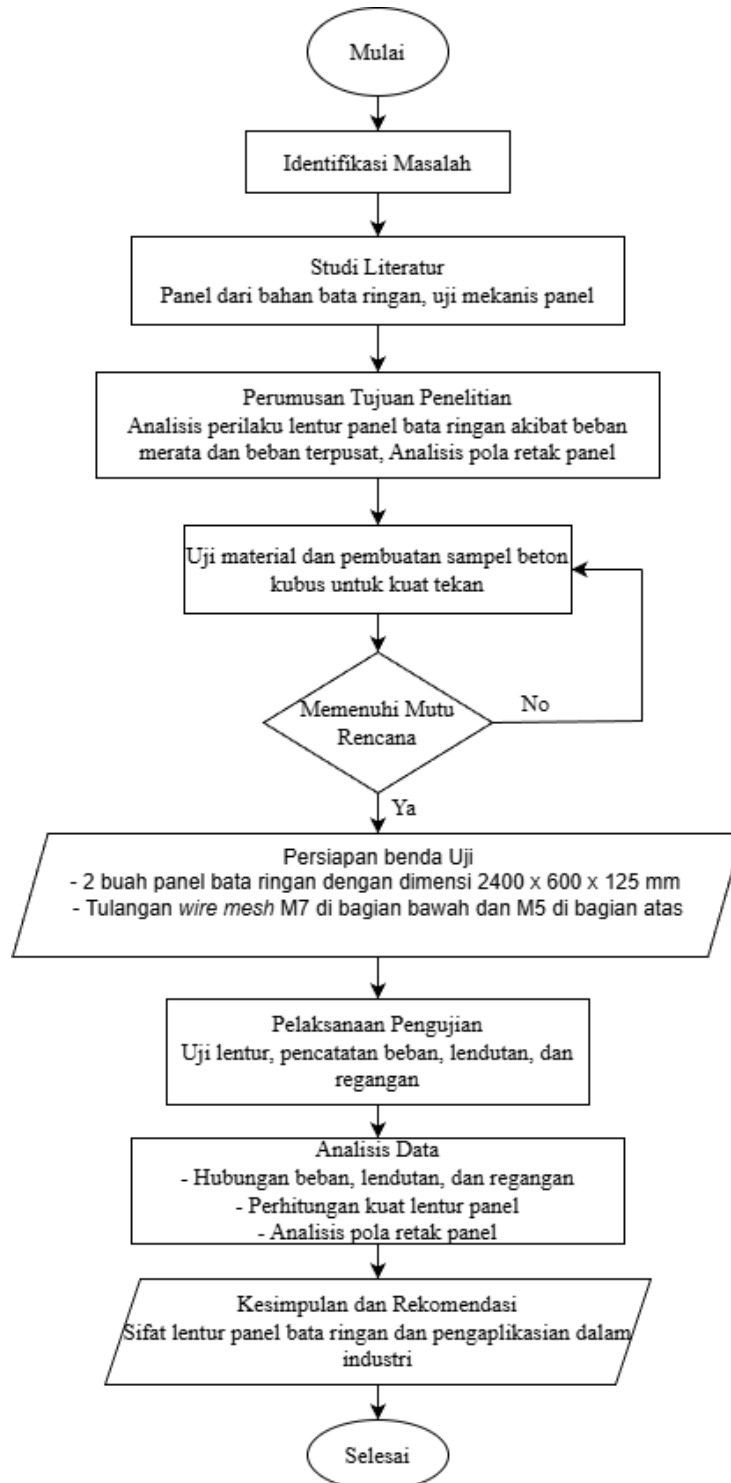
μ_δ = Daktilitas

δ_u = Lendutan ultimit (mm),

δ_y = Lendutan leleh (mm)

3.7. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir metodologi penelitian ditunjukkan pada skema dibawah ini:



Gambar 3.41 Diagram alir.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental yang dilakukan di laboratorium serta didukung oleh analisis teoretis, penelitian terhadap panel beton ringan ini menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian, proses pembuatan beton ringan sangat dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik material yang digunakan, terutama agregat halus. Pemilihan agregat dengan ukuran yang lebih halus terbukti berperan penting dalam menghasilkan campuran yang lebih homogen, memperbaiki distribusi pori, serta meningkatkan ikatan antar material penyusun beton. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap tercapainya berat jenis dan kuat tekan rencana yang diinginkan. Agregat halus juga membantu menghasilkan struktur beton yang lebih padat dan stabil, sehingga meskipun beton memiliki bobot yang ringan, kapasitas mekanisnya tetap dapat dipertahankan sesuai kebutuhan perencanaan.
2. Berdasarkan hasil perhitungan teoritis diperoleh nilai momen nominal (M_n) sebesar 7,6126 kNm dan momen leleh (M_y) sebesar 7,5928 kNm. Kedua nilai tersebut memiliki selisih yang sangat kecil, yaitu sekitar 0,26%. Perbedaan yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa kapasitas lentur penampang hampir mencapai kondisi seimbang antara kemampuan beton dalam menahan tekan dan kontribusi tulangan dalam menahan tarik. Nilai M_n dan M_y yang hampir sama dipengaruhi oleh mutu beton ringan yang relatif rendah, sehingga beton pada zona tekan telah mendekati kondisi ultimit sebelum tulangan mengalami leleh secara signifikan.

3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel dengan tipe pembebanan merata mampu menahan beban yang lebih besar, yaitu sebesar 12,2356 kN, dibandingkan panel dengan pembebanan terpusat yang hanya mencapai 9,0221 kN. Kondisi ini terjadi karena pada pembebanan merata, distribusi gaya tersebar secara lebih merata ke seluruh permukaan panel sehingga konsentrasi tegangan pada satu titik menjadi lebih kecil. Sebaliknya, pada pembebanan terpusat, gaya bekerja pada area yang relatif kecil sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan yang tinggi di daerah tertentu, khususnya pada zona tengah bentang.
4. Berdasarkan hasil pengujian, pola retak pada panel beton ringan diawali dari bagian bawah panel yang merupakan zona tarik akibat pembebanan lentur. Seiring bertambahnya beban, retak berkembang secara vertikal menuju bagian atas panel dan jumlah retak semakin bertambah hingga mencapai kondisi ultimit. Pada penelitian panel beton ringan dianggap telah mencapai ultimitnya ketika retak sudah berkembang sampai ke serat atas.
5. Pada pengujian panel beton ringan dengan beban terpusat didapatkan hasil 9,0221 kN, nilai tersebut mendekati hasil perhitungan teoritis 9,0086 kN dengan selisih 0,15%, namun terjadi perbedaan yang cukup signifikan pada pembebanan merata yaitu sebesar 67,65% dengan hasil pengujian laboratorium dan teoritisnya didapatkan hasil masing-masing yaitu 12,2356 kN dan 24,7447 kN. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan asumsi kegagalan pada perhitungan teoritis beton.

5.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan serta temuan yang diperoleh dalam penelitian ini, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan prosedur pengecoran yang lebih terkontrol, terutama pada tahap material. Beton ringan dengan bahan pengembang *foam agent* sangat sensitif terhadap

variasi waktu pengadukan dan metode pencampuran. Oleh karena itu, diperlukan standar operasional yang konsisten, seperti durasi mixing yang tetap, urutan pencampuran yang jelas, serta pengendalian kadar air untuk menjaga stabilitas gelembung udara dalam campuran.

2. Disarankan untuk melakukan evaluasi lebih mendalam terhadap distribusi dan ukuran pori dalam beton ringan. Studi terbaru menunjukkan bahwa homogenitas ukuran gelembung udara sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan daktilitas material. Oleh karena itu, penggunaan alat bantu seperti foam generator yang terkalibrasi dapat membantu menghasilkan ukuran gelembung yang lebih seragam.
3. Perlu dilakukan kajian lanjutan terkait kombinasi mutu beton ringan dan rasio penulangan yang optimal. Penelitian terkini menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton ringan atau penambahan tulangan tekan dapat memperbaiki keseimbangan mekanisme keruntuhan, sehingga kegagalan tidak didominasi oleh hancurnya beton secara tiba-tiba. Variasi diameter dan jumlah tulangan juga dapat dieksplorasi untuk mencapai kondisi penampang *under-reinforced* yang lebih ideal dan meningkatkan daktilitas struktur.
4. Disarankan untuk menggunakan sistem akuisisi data terintegrasi yang mampu merekam data beban, lendutan, dan regangan secara simultan dalam satu platform. Penggunaan sistem digital atau berbasis *wireless sensor* saat ini banyak direkomendasikan dalam penelitian eksperimental karena mampu meminimalisir *time lag*, mengurangi *noise*, serta meningkatkan akurasi dalam analisis hubungan beban–regangan maupun beban–lendutan.
5. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis berbasis hubungan momen–kurvatur ($M-\phi$) sebagai pendekatan utama dalam mengevaluasi perilaku lentur. Pendekatan ini dinilai lebih representatif dibandingkan parameter kekakuan konvensional karena mampu menggambarkan respons penampang secara menyeluruh, mulai dari kondisi elastis, retak awal, hingga mendekati keruntuhan.

6. Selain pembebanan statik, penelitian lanjutan juga perlu mempertimbangkan pengaruh beban berulang (*fatigue*) maupun beban jangka panjang (*creep* dan *shrinkage*), mengingat beton ringan memiliki porositas tinggi yang dapat memengaruhi stabilitas deformasi dalam jangka waktu tertentu. Hal ini penting untuk mendukung aplikasi panel dalam kondisi lapangan yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318. (2019). 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. In *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. American Concrete Institute. <https://doi.org/10.14359/51716937>
- Akram Hassan, S., & Ewayed Ajeel, A. (2014). Effect of Concrete Compressive Strength and Compression Reinforcement in Compression Zone on the Ductility of Reinforced Concrete Beams. In *Eng. & Tech. Journal* (Vol. 32, Number 5).
- Amanda Putra, S., Ary Wahyudie, I., Dharta, Y., & Manufaktur Negeri Bangka Belitung, P. (2023). *Pengaruh Ukuran Butir Pasir Terhadap Kuat Tekan Cellular Lightweight Concrete*. 01(2), 428.
- Amir Sultan M, T. E. F. F. A. M. (2021). *Kapasitas Lentur Balok Beton Ringan Dengan Penambahan Serat Ijuk*.
- Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP). (1983). *FIP Manual of Lightweight Aggregate Concrete*.
- FIB. (2020). *fib Model Code for Concrete Structures (2020)*.
- Gere James M & Timoshenko Stephen P. (2000). *MEKANIKA BAHAN*.
- Hardianto, R., Sutandar, E., & Supriyadi, A. (2018). *STUDI EKSPERIMENTAL PEMBUATAN BATA RINGAN FOAM AGENT (BUSA) DENGAN VARIASI PEMAKAIAN AIR*.
- Hasyim, W. (2025). Analisis Sensitivitas Kuat Leleh Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 189–200. <https://doi.org/10.29103/tj.v15i1.1223>

- Jaya Putra F, H. A. N. S. (2022). *ANALISIS NUMERIK PERILAKU DINDING PANEL BETON RINGAN DENGAN VARIASI DIMENSI AKIBAT BEBAN SIKLIK*.
- Li, Q., Wang, Z., Zhou, S., & Chen, Y. (2025). Flexural Performance of Prefabricated Steel-Fiber-Reinforced Concrete Wall Panels: Finite Element Analysis. *Buildings*, 15(23). <https://doi.org/10.3390/buildings15234370>
- Ma'arif, F., Nugroho, M. S., & Widodo, S. (2024). A Comparative Study of Flexural Capacity of Precast Light Concrete Plate Building with Experimental and FEM Analysis. In *Mindanao Journal of Science and Technology* (Vol. 22, Number 1).
- Mindess, S. , & Y. J. F. (1981). *Concrete*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Nuryana Ferryana, I., Sumargo, S., & Oesman, M. (2024). Analisis Kinerja Komposit Hibrid Aerated Autoclaved Concrete Panel – Lapisan Beton Bertulang Terhadap Lentur. *Jurnal Teknik Sipil*, 31(2), 227–234. <https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.2.13>
- Pham, A. D., Ngo, N. T., & Nguyen, T. K. (2020). Machine learning for predicting long-term deflections in reinforce concrete flexural structures. *Journal of Computational Design and Engineering*, 7(1), 95–106. <https://doi.org/10.1093/JCDE/QWAA010>
- Prawito E. (2010). *Analisa Perbandingan Berat Jenis dan Kuat Tekan Antara Beton Ringan dan Beton Normal dengan Mutu Beton K-200 (Kajian Eksperimental)*.
- Rahman, F. A. A., Kadir, M. Z. A. A., Amirulddin, U. A. U., & Osman, M. (2021). Electrical performance of polymer-insulated rail brackets of dc transit subjected to lightning induced overvoltage. *Materials*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/ma14071684>
- Santa, L., & Hutaajulu, N. (2023). *Analisis Tegangan Lentur pada Balok Beton Bertulang Dengan Beban Terpusat*. 9(2), 38–43.
- Standar Nasional Indonesia. (1992). *SNI 03-3122-1992 PANEL BETON RINGAN BERSERAT*.

- Taufik, H., Kurniawandy, A., & Arita, D. (2017). *Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah Foaming Agent The analysis of Lightweight Compressive Strength by adding Form Agent Material* (Vol. 17, Number 1).
- Wahid, M. I., Saputra, E., & Yachya, M. A. (2025). STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH RASIO TULANGAN LENTUR TERHADAP MEKANISME KERUNTUHAN BALOK BETON BERTULANG. In *Agustus* (Vol. 8, Number 3).
- Wang, E., Xiang, L., Tang, B., Dai, X., Cao, Z., Jiang, T., Wang, Y., Chen, X., Li, W., Zhao, Y., Yang, K., & Wu, X. (2023). Preparation and Compression Resistance of Lightweight Concrete Filled with Lightweight Calcium Carbonate Reinforced Expanded Polystyrene Foam. *Polymers*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/polym15244642>
- Yang, K. H., Mun, J. H., Kim, J. W., & Lee, S. J. (2022). Flexural–Shear Performance of Lightweight Concrete Panels with High Insulation Capacity. *Buildings*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/buildings12101741>
- Zhou, F., Zhu, J., Qi, Y., Yang, J., & An, Y. (2021). Multi-dimensional corporate social responsibilities and stock price crash risk: Evidence from China. *International Review of Financial Analysis*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101928>
- Zuraidah S, S. B. A. W. X. N. (2020). *Teknologi Pembuatan Beton Ringan untuk Panel Dinding dengan Perkuatan Anyaman Bambu*.