



Studi Pengaruh Variasi Tinggi Balok I-Joist Dari Kombinasi Blockboard Lokal Dan Kayu Mahoni Terhadap Kekuatan Lentur

Yudhi Arnandha^{1*}, Muhammad Ilham Hafidhuddin², Julian Putra Rukmana³,
Anis Rakhmawati⁴, Lalu Samsul Aswadi⁵

¹⁻⁵Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Indonesia

Alamat : Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Indonesia

Email: yudhiarnandha@untidar.ac.id¹, ilhamhafid90@gmail.com², rukmana19@gmail.com³,

anisrakhmawati@untidar.ac.id⁴, lalusamsulaswadi@untidar.ac.id⁵

Penulis Korespondensi : [*yudhiarnandha@untidar.ac.id](mailto:yudhiarnandha@untidar.ac.id)

Abstract : *The utilization of blockboard for floor slabs in Indonesia remains limited, despite Magelang's good production potential. This study evaluates the use of blockboard as the web and mahogany wood as flanges in I-Joist beam profiles for wooden floor slab supports and determines the Modulus of Rupture (MoR) and Modulus of Elasticity (MoE) values of the I-Joist beams. The methodology employed experimental testing based on ASTM D198-2015 with 200 cm I-Joist beam length, height variations of 22, 24, 26, 28, and 30 cm, with two specimens for each variation. Fabrication was conducted at SMK N 1 Magelang and testing at the Civil Engineering Laboratory of Tidar University. Results showed that height increase does not always correlate linearly with flexural strength. MoR values: 22 cm (5,9333 MPa), 24 cm (7,2786 MPa), 26 cm (6,3287 MPa), 28 cm (6,0426 MPa), 30 cm (6,2524 MPa). MoE values: 22 cm (1.545 MPa), 24 cm (1.098 MPa), 26 cm (1.140 MPa), 28 cm (1.335 MPa), 30 cm (0.940 MPa). The 24 cm height beam showed the highest MoR (7.2786 MPa). Overall, the 24 cm height variation provided the best performance with optimal flexural strength. The blockboard-mahogany combination demonstrates potential as an economical construction material alternative.*

Keywords: *I-Joist beam, mahogany wood, flexural strength, blockboard, composite material*

Abstrak. Pemanfaatan blockboard untuk plat lantai di Indonesia masih terbatas, padahal Magelang memiliki potensi produksi yang baik. Penelitian ini mengevaluasi pemanfaatan blockboard sebagai web dan kayu mahoni sebagai flens pada balok penyangga plat lantai kayu berbentuk I-Joist dan untuk mengetahui nilai Modulus of Rupture (MoR) dan Modulus of Elasticity (MoE) pada balok I-Joist. Metodologi menggunakan pengujian eksperimental berdasarkan ASTM D198-2015 dengan panjang balok I-Joist 200 cm, variasi tinggi 22, 24, 26, 28, dan 30 cm, dan setiap variasi terdiri dari dua benda uji. Fabrikasi dilakukan di SMK N 1 Magelang dan pengujian di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Tidar. Hasil menunjukkan peningkatan tinggi tidak selalu berbanding lurus dengan kekuatan lentur. Nilai MoR: 22 cm (5,9333 MPa), 24 cm (7,2786 MPa), 26 cm (6,3287 MPa), 28 cm (6,0426 MPa), 30 cm (6,2524 MPa). Nilai MoE: 22 cm (1.545 MPa), 24 cm (1.098 MPa), 26 cm (1.140 MPa), 28 cm (1.335 MPa), 30 cm (0.940 MPa). Balok tinggi 24 cm menunjukkan MoR tertinggi (7,2786 MPa). Secara keseluruhan, variasi tinggi 24 cm memberikan performa terbaik dengan kekuatan lentur optimal. Kombinasi blockboard-mahoni menunjukkan potensi sebagai alternatif material konstruksi ekonomis.

Kata kunci: Balok I-Joist, Kayu Mahoni, Kuat Lentur, Blockboard, Material Komposit

1. LATAR BELAKANG

Kayu telah lama dikenal sebagai material konstruksi tradisional yang memiliki berbagai keunggulan dibandingkan material lainnya. Bobotnya yang ringan memudahkan proses transportasi dan pemasangan, fleksibilitas pengolahannya memungkinkan berbagai bentuk konstruksi, durabilitasnya yang baik menjadikannya tahan lama jika dirawat dengan benar, serta sifatnya yang ramah lingkungan menjadikannya pilihan yang berkelanjutan. Namun demikian, popularitas kayu di Indonesia justru mengalami

penurunan seiring dengan meningkatnya penggunaan beton dan baja. Fenomena ini terjadi akibat minimnya inovasi teknologi pengolahan kayu yang mampu mengimbangi perkembangan material konstruksi modern (Wijanarka, 2022). Masyarakat cenderung menganggap kayu sebagai material kuno yang kurang kuat dibandingkan beton atau baja, padahal dengan teknologi pengolahan yang tepat, kayu dapat memiliki kekuatan yang kompetitif.

Di tengah tantangan tersebut, inovasi konstruksi kayu terkini menghadirkan balok I-Joist berbahan dasar kayu yang dirancang untuk mencapai efisiensi material sekaligus kapasitas struktural yang optimal. Balok I-Joist memiliki penampang berbentuk huruf "I" yang memungkinkan distribusi beban lebih merata dengan penggunaan material yang minimal. Dalam desain balok I-Joist, tinggi balok menjadi faktor krusial yang menentukan kuat lentur struktur. Semakin tinggi balok, secara teoritis momen inersia semakin besar, namun peningkatan tinggi juga membawa risiko ketidakstabilan seperti buckling lateral. Sementara itu, pemanfaatan *blockboard* untuk aplikasi plat lantai di Indonesia masih sangat terbatas, padahal Kota Magelang dan sekitarnya memiliki potensi produksi *blockboard* yang cukup baik. Lebih lanjut, penggunaan kombinasi kayu *blockboard* sebagai komponen web (badan) dan kayu mahoni sebagai flange (sayap) dalam pembuatan balok I-Joist merupakan solusi yang selaras dengan potensi lokal Magelang. Wilayah Tempuran, Magelang, dikenal memiliki ketersediaan kayu mahoni yang melimpah, sementara industri pengolahan kayu *blockboard* juga sudah berkembang di daerah tersebut. Dengan memanfaatkan kedua material lokal ini, penelitian tidak hanya berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan tetapi juga pada pemberdayaan ekonomi lokal dan pengurangan ketergantungan pada material impor.

Meskipun berbagai penelitian tentang balok komposit telah dilakukan, masih terdapat kesenjangan pemahaman yang signifikan mengenai perilaku mekanik balok I-Joist yang menggunakan *blockboard* sebagai komponen web dan kayu mahoni sebagai flange. Penelitian Spulle dkk. (2017) misalnya, telah menunjukkan potensi I-Joist dari panel plywood birch dengan hasil beban puncak rata-rata mencapai 10.893 kN dan modulus elastisitas 7.934 N/mm². Namun, penelitian tersebut menggunakan material plywood birch yang tidak tersedia secara luas di Indonesia. Sementara itu, Theviani (2024) meneliti balok I-Joist dari bambu Siam, dan Mawardi dkk. (2024)

mengembangkan blockboard dari limbah bagasse, namun belum ada penelitian yang secara spesifik mengkombinasikan blockboard lokal dengan kayu mahoni serta menguji pengaruh variasi tinggi balok terhadap kekuatan lenturnya. Padahal, kayu mahoni memiliki sifat mekanis yang baik dengan kekuatan tarik mencapai 60,46 MPa dan modulus elastisitas 5,82 MPa, sementara blockboard memiliki kuat lentur yang tinggi hingga mencapai 800.000 kg/cm² tergantung pada kualitas veneer dan perekatnya (Santoso, 2021). Kombinasi kedua material ini berpotensi menghasilkan balok I-Joist dengan kinerja struktural yang baik namun tetap ekonomis. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh variasi tinggi balok I-Joist dari kombinasi blockboard lokal dan kayu mahoni terhadap kekuatan lentur menjadi sangat urgen untuk dilakukan.

Penelitian ini memiliki urgensi yang tinggi mengingat beberapa faktor. Pertama, dari sisi kelangkaan material, eksploitasi hutan yang berlebihan telah menyebabkan berkurangnya ketersediaan kayu berkualitas tinggi, sehingga diperlukan alternatif material komposit yang memanfaatkan kayu cepat tumbuh seperti mahoni dan produk olahan seperti blockboard. Kedua, dari sisi ekonomi, balok I-Joist komposit ini diproyeksikan lebih ekonomis dibandingkan balok kayu solid atau balok beton bertulang, sehingga dapat menjadi solusi konstruksi yang terjangkau untuk masyarakat. Ketiga, dari sisi keberlanjutan, pemanfaatan material lokal mengurangi jejak karbon dari transportasi material impor dan mendukung ekonomi sirkular. Keempat, dari sisi regulasi, masih sedikit penelitian yang mengacu pada standar SNI 7973:2013 tentang spesifikasi desain untuk konstruksi kayu, sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi praktisi dan regulator. Kelima, dari sisi kelangkaan penelitian, belum ada studi yang secara sistematis menguji variasi tinggi balok I-Joist dari 22 cm hingga 30 cm dengan interval 2 cm menggunakan kombinasi blockboard lokal dan kayu mahoni. Padahal rentang tinggi tersebut merupakan dimensi yang umum digunakan dalam konstruksi plat lantai bangunan bertingkat rendah hingga menengah.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui nilai *Modulus of Rupture* (MoR) dan *Modulus of Elasticity* (MoE) pada balok I-Joist dari kombinasi blockboard lokal dan kayu mahoni dengan variasi tinggi 22 cm, 24 cm, 26 cm, 28 cm, dan 30 cm; (2) mengidentifikasi jenis kerusakan dan mekanisme kegagalan yang terjadi selama pengujian kuat lentur; serta (3) menganalisis

efisiensi biaya produksi dari masing-masing variasi tinggi balok. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material konstruksi alternatif yang ekonomis, berkelanjutan, dan berbasis potensi lokal, serta menjadi pedoman bagi penelitian sejenis di masa mendatang.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1. Kayu Mahoni

Kayu mahoni (*Swietenia macrophylla*) merupakan salah satu jenis kayu komersial yang diminati karena kualitas mekanisnya yang tinggi.. Kayu mahoni dalam aspek mekanis menunjukkan performa yang sangat baik dengan kekuatan tarik mencapai 60,46 MPa dan kekuatan luluh 50,03 MPa. Penelitian menunjukkan bahwa kayu mahoni memiliki modulus elastisitas (MoE) sebesar 5,82 MPa, yang menandakan kemampuannya dalam menahan deformasi di bawah beban. Keunggulan ini membuat kayu mahoni lebih kompetitif dibandingkan dengan jenis kayu lokal lainnya seperti gempol, yang memiliki kekuatan dan sifat mekanis yang lebih rendah.

Keunggulan utama mahoni terletak pada kombinasi sifat mekanis dan ketahanan biologis. Partikel kayu mahoni dalam komposit particleboard menunjukkan kekuatan impak tertinggi 3,54 kJ/m², serta ketahanan terhadap serangan rayap tanah setelah impregnasi ACQ. Kehalusan seratnya memungkinkan presisi dalam komponen struktural, sementara kemampuan pengawetan efektif memperpanjang masa pakai konstruksi. Penelitian (Slamet dkk., 2023) menegaskan bahwa densitas tinggi (>0,6 g/cm³) dan struktur serat rapat berkontribusi pada performa mekanis superior dibanding kayu lokal lainnya.

2.2. Blockboard

Blockboard adalah produk kayu olahan yang terbuat dari kumpulan lembaran veneer kayu. Pada umumnya, papan veneer kayu tersebut ditekan dan diikat menjadi satu bagian solid. Proses pembuatan *blockboard* meliputi pengupasan log untuk menghasilkan veneer, pengeringan veneer, perekatan, dan pengempaan panas untuk menyatukan lapisan veneer. Tahapan ini diakhiri dengan pemotongan dan penghalusan agar produk siap digunakan.

Blockboard memiliki kuat lentur tinggi, mencapai 800,000 kg/cm², bergantung pada kualitas veneer, perekat, dan teknik laminasi (Santoso, 2021). Keunggulan

blockboard terletak pada kemampuannya menahan deformasi dan tidak mudah retak, sehingga banyak digunakan dalam konstruksi bangunan dan furnitur yang membutuhkan kekuatan dan stabilitas dimensi. Orientasi serat yang berbeda pada setiap lapisan juga membantu mengurangi potensi penyusutan dan pemuaian akibat perubahan kelembapan. “.”.

2.3. Balok I-Joist

Balok I-Joist merupakan elemen struktural dengan penampang berbentuk "I" yang dirancang untuk memberikan kekuatan tinggi dengan penggunaan material minimum. Hartanto (2017) menjelaskan bahwa balok ini menggabungkan kayu utuh dan material laminasi untuk mencapai performa optimal, dengan hasil pengujian menunjukkan kuat lentur balok I-Joist dari kayu utuh sebesar 0,056 kN/mm², sedangkan balok laminasi dengan profil I mencapai 0,0193 kN/mm². Desain penampang "I" memungkinkan distribusi beban yang merata dan efisiensi material yang superior dibandingkan balok konvensional.

Balok I-Joist menawarkan berbagai keunggulan sebagai solusi struktural dalam konstruksi modern. Konfigurasi penampang berbentuk "I" mengoptimalkan rasio kekuatan terhadap berat, menghasilkan komponen struktural yang mampu menahan beban berat secara optimal dengan penggunaan material kayu yang minimal. Bobot yang lebih ringan dibandingkan balok konvensional memberikan kemudahan dalam transportasi, pemasangan, serta mengurangi beban mati keseluruhan struktur bangunan.

2.4. Pengujian kadar air

Kadar air memiliki pengaruh signifikan terhadap konduktivitas listrik kayu dan menjadi faktor determinan dalam resistansi listriknya. metode pengukuran non-destruktif kadar air menggunakan moisture meter berbasis resistansi, di mana peningkatan kadar air menyebabkan konduktivitas listrik meningkat dan resistansi menurun (El-Galil dkk., 2023). Prinsip tersebut memungkinkan pengukuran kadar air secara tidak langsung melalui perubahan resistansi listrik material.

Pengukuran kadar air pada balok I-Joist dilakukan pada kedua komponen utama yaitu web dari blockboard dan flange dari kayu mahoni, mengingat perbedaan karakteristik absorpsi air masing-masing material. Blockboard menunjukkan stabilitas dimensi yang superior terhadap fluktuasi kadar air dibandingkan kayu solid karena

lapisan adhesif berfungsi sebagai barrier absorpsi air (Forest Products Laboratory, 2010). Perbedaan karakteristik ini memerlukan pendekatan pengukuran yang spesifik untuk setiap komponen guna memastikan akurasi data kadar air. Berikut merupakan perhitungan yang digunakan untuk menghitung kadar air :

$$\overline{KA} = \frac{\sum_{i=1}^n KA_i}{n}$$

Keterangan

$\overline{KA}$ = kadar air rata rata (%)

KA_i = kadar air pada titik ke-i (%)

n = jumlah titik pengujian

2.5. Pengujian Berat Jenis

Berat jenis kayu merupakan parameter yang menggambarkan densitas atau massa jenis kayu dalam kondisi padat. Secara teknis, berat jenis kayu didefinisikan sebagai rasio berat kayu terhadap volume spesifik. Pengukuran berat jenis kayu umumnya menggunakan satuan gram per sentimeter kubik (g/cm³) atau kilogram per meter kubik (kg/m³). Nilai berat jenis bervariasi berdasarkan spesies kayu dan kondisi kelembaban kayu tersebut. Menurut SNI 7973:2013 tentang "Spesifikasi desain untuk konstruksi kayu", berat jenis merupakan salah satu sifat fisik yang berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan struktur. Kayu dengan nilai berat jenis tinggi mengindikasikan tingkat kepadatan yang lebih besar. Parameter berat jenis memiliki signifikansi dalam berbagai aplikasi produk kayu, meliputi perencanaan struktur konstruksi, perancangan furnitur, proses pengolahan kayu, serta aspek estetika dan arsitektural. Penentuan nilai berat jenis dapat dilakukan menggunakan persamaan matematika sebagai berikut

$$BJ = \frac{M}{V \rho_{air}}$$

Keterangan :

BJ = berat jenis

M = massa benda/kayu (gram)

V = volume benda/kayu (mm³)

ρ_{air} = kerapatan air (gram/mm³)

2.6. Kuat Lentur

Kekuatan lentur, yang juga dikenal sebagai Modulus of Rupture (MoR), merupakan indikator penting yang menentukan kemampuan balok dalam menahan beban eksternal. Parameter ini mencerminkan resistensi material terhadap tegangan tarik yang terjadi pada serat-serat terluar ketika balok I-Joist mengalami pembebanan. Pengujian kapasitas lentur biasanya dilakukan dengan metode pembebanan pada titik tengah bentang. Kapasitas lentur adalah kemampuan balok kayu menahan gaya tegak lurus hingga patah, di mana tegangan lentur terjadi pada serat terluar balok dengan serat atas mengalami tekan dan serat bawah mengalami tarik (Hunggurami dkk., 2023). Metode pengujian dan perhitungan kuat lentur balok I-Joist mengacu pada standar nasional yang sejalan dengan ASTM D198-2015,.

$$\text{MoR} = \frac{M \cdot y}{I}$$

Keterangan

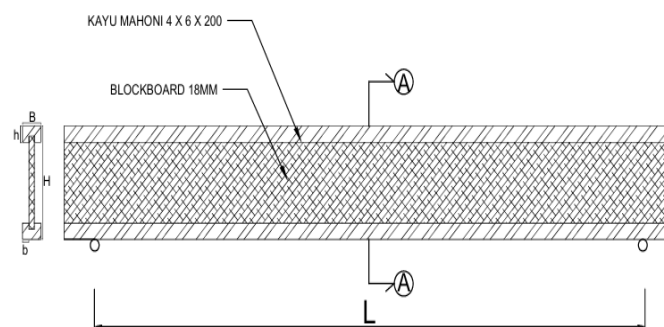
MoR = Modulus of Rupture atau tegangan lentur patah (MPa)

M = momen maksimum (N/mm)

y = garis netral (mm)

I = momen inersia (mm⁴)

Berikut merupakan ilustrasi dan konfigurasi pembebanan balok I-Joist



Gambar 1. konfigurasi pembebanan balok I-Joist

Modulus of Elasticity (MoE) merupakan parameter utama dalam menilai kekuatan kayu yang merepresentasikan kemampuan material untuk menahan deformasi akibat pembebanan, dimana semakin besar nilai MoE menunjukkan semakin kaku material tersebut sehingga perubahan bentuk akibat beban akan semakin kecil. Pada pengujian lentur, nilai MoE dihitung berdasarkan hubungan antara beban pada batas proporsional

dan defleksi yang dihasilkan, dan dalam SNI 7973:2013, nilai modulus elastisitas statik kayu digunakan sebagai dasar pengelompokan mutu kayu serta dapat dimanfaatkan untuk memprediksi sifat mekanika lainnya termasuk kekuatan lentur kayu (Awaludin & Wusqo, 2020). Penentuan beban dan lendutan proporsional dilakukan menggunakan metode Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) yang mengasumsikan bahwa nilai defleksi pada saat beban mencapai 40% dari beban maksimum dikalikan dengan faktor pengali 1,25 untuk mendapatkan defleksi yang sesuai dengan beban batas proporsional, dimana perhitungan ini dilakukan saat kayu masih berada dalam batas elastis sehingga kayu dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan, dan penentuan beban pada batas proporsional ini sangat penting karena menjadi batas aman pemakaian kayu sebagai komponen struktural (Sutrisna dkk., 2016).

$$\text{MoE} = \frac{P.L^3}{48.\Delta y. I}$$

Keterangan

MoE = modulus of elasticity

P = beban pada batas proporsional (N)

L = panjang bentang dari jarak tumpuan satu ke tumpuan lain (mm)

Δy = lendutan proporsional (mm)

I = momen inersia (mm⁴)

3. METODE PENELITIAN

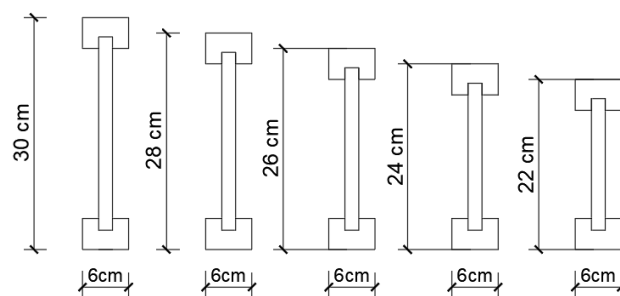
3.1. Preliminary design

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental. Karakteristik struktural material lokal dianalisis melalui pengujian fisik dan simulasi numerik untuk memperoleh data yang akurat mengenai perilaku mekanik material tersebut. Pemanfaatan material lokal dalam konstruksi dapat memberikan keunggulan dari aspek ketersediaan material dan kesesuaian dengan kondisi lingkungan setempat.

Konfigurasi eksperimental menggunakan spesimen I-joist dengan dimensi penampang 40 mm × 30 mm mengacu pada standar APA (The Engineered Wood Association). Elemen flange dibuat dari kayu mahoni lokal, sedangkan elemen web menggunakan blockboard dengan variasi tinggi 160 mm, 200 mm, 240 mm, dan 220 mm. Pemilihan dimensi dan material mengikuti ketentuan SNI 01-5008.2-2000 untuk

memastikan aplikabilitas hasil penelitian pada praktik konstruksi. Kayu mahoni dan blockboard dipilih sebagai material komposit berdasarkan sifat mekanik yang memadai untuk aplikasi struktural.

metodologi eksperimental dan numerik Penelitian ini menunjukkan potensi material lokal sebagai alternatif dalam konstruksi modern yang mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis. Konfigurasi dimensi balok I-joist yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2. Konfigurasi dimensi balok I-joist

3.2. Pembuatan benda uji

Fabrikasi spesimen balok I-joist mengacu pada standar ASTM D143-14 untuk pengujian sifat mekanik material kayu. Setiap variasi tinggi web dibuat dalam duplikat (2 spesimen) untuk memastikan reliabilitas data pengujian. Proses fabrikasi dilaksanakan di Laboratorium Struktur dengan kontrol kualitas yang ketat.

Prosedur fabrikasi dimulai dengan pemotongan batang kayu mahoni sepanjang 2000 mm menggunakan circular saw dengan toleransi ± 1 mm. Elemen web dari blockboard dipotong sesuai variasi tinggi yang telah ditetapkan dengan toleransi yang sama. Pembuatan alur pada flange dilakukan menggunakan router dengan kedalaman 15 mm, lebar 18 mm, dan panjang 2000 mm.

Tabel 1. Kode Spesimen I-Joist

No	Kode Benda Uji	Tinggi (mm)
1	22 A.22 B	220
2	24 A 24 B	240
3	26 A-26 B	260
4	28 A-28 B	280
5	30 A-30 B	300

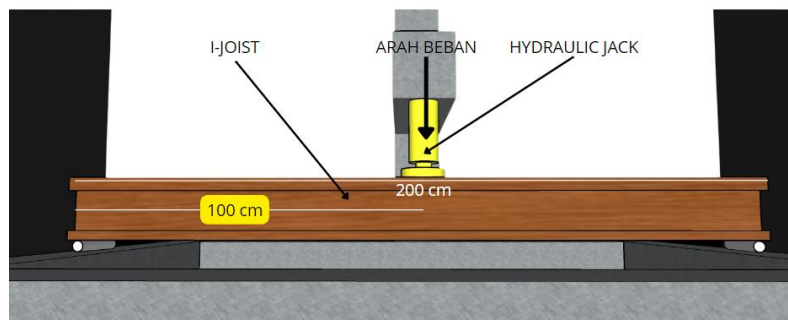
Perakitan dilakukan dengan lem kayu yang diaplikasikan secara merata pada permukaan kontak antara flange dan web. Elemen web dipasang ke dalam alur flange dan

ditekan hingga posisi tepat. Spesimen dibiarkan mengering selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian. Total 10 spesimen dihasilkan sesuai kode yang tercantum dalam Tabel 3.1, dimana huruf A dan B menunjukkan duplikat spesimen untuk setiap variasi tinggi web.

3.3. Pengujian Spesimen

Pengujian kuat lentur dilakukan mengacu pada ASTM D198-2015 "Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes" dengan menggunakan mesin TML Data Logger 540 Type S-2880 yang telah dikalibrasi sesuai spesifikasi teknis. Jarak tumpuan dan konfigurasi pembebanan diatur sesuai ketentuan standar dengan penempatan beban terpusat di tengah bentang. Benda uji kayu struktural diposisikan pada tumpuan sederhana di kedua ujung untuk memperoleh kondisi pembebanan lentur murni.

Proses pengujian dimulai dengan menjalankan mesin untuk mencatat data lendutan dan beban secara otomatis hingga benda uji mengalami kegagalan. Pengamatan dilakukan secara kontinyu untuk mengidentifikasi mode kegagalan sambungan dan mengukur parameter kekuatan. Data hasil pengujian diolah untuk menghitung nilai kuat lentur, modulus of rupture (MOR), dan modulus elastisitas (MOE) sesuai prosedur perhitungan dalam standar. Skema pengujian dan sistem perletakan ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 3. Skema pengujian dan sistem perletakan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian kadar air

Proses pengukuran kelembaban kayu meliputi persiapan alat moisture meter, pemilihan sampel kayu, dan pengukuran pada titik-titik yang telah ditentukan. Langkah-langkahnya adalah mengidentifikasi jenis kayu, memasukkan jarum sensor ke permukaan

kayu, lalu membaca hasil pada layar alat. Proses ini memberikan data akurat tentang kadar air kayu sebelum diproses lebih lanjut.



Gambar 4. Pengujian Kadar Air

Berikut merupakan tabel hasil pengujian kadar air

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Air

No	Kode Benda Uji	Rata-Rata (%)
1	22 A	12,06
2	22 B	12,15
3	24 A	11,89
4	24 B	11,66
5	26 A	11,62
6	26 B	11,28
7	28 A	11,41
8	28 B	11,86
9	30 A	12,96
10	30 B	12,82
Rata-Rata		12.06

Kadar air dan berat jenis merupakan parameter penting dalam menilai kualitas kayu konstruksi. Berdasarkan SNI 03-3959-1995, kadar air benda uji berada di kisaran 9%–14,8%, dengan rata-rata tiap sampel 11,28%–12,96%, yang masih sesuai standar (12%–20%). Variasi kadar air dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan dan metode pengeringan.

4.2. Pengujian Berat Jenis

Penentuan berat jenis memerlukan serangkaian tahapan pengukuran. Pengukuran dimensi objek dilakukan terlebih dahulu guna memperoleh data ukuran yang tepat. Tahap berikutnya melibatkan proses penimbangan objek untuk mendapatkan data berat dimensi. Dokumentasi proses pengukuran panjang dan penimbangan berat

Pengukuran dan analisis berat jenis untuk benda uji kayu mahoni dan blockboard mengacu pada metodologi dalam persamaan 2.2. Untuk mendapatkan data yang representatif, proses pengujian dilaksanakan dengan metode sampling yang melibatkan 3 spesimen berbeda untuk masing-masing material, baik kayu mahoni maupun blockboard.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis Kayu Mahoni

Kode	Massa (gram)	Volume (cm ³)	Beat Jenis
1	34,25	58,475	0,586
2	35,87	62,493	0,574
3	33,46	56,970	0,587
Rata-Rata			12.06

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis Blockboard

Kode	Massa (gram)	Volume (cm ³)	Beat Jenis
1	19,35	0,422	0,586
2	20,48	0,439	0,574
3	18,76	0,414	0,587
Rata-Rata			0,425

pengujian berat jenis menunjukkan multipleks memiliki rata-rata 0,425 g/cm³ (tergolong kayu ringan), sedangkan kayu mahoni 0,582 g/cm³ (kategori kayu sedang). Perbedaan ini memengaruhi karakteristik mekanis balok I-joist

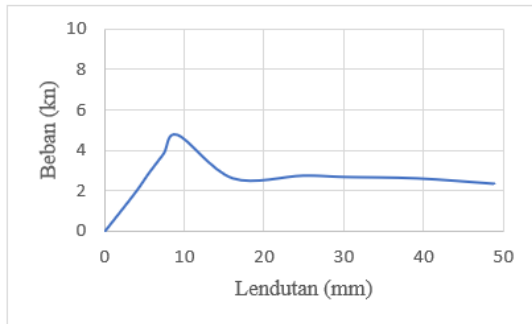
4.3. Pengujian Kuat lentur

Uji kuat lentur I-Joist menggunakan dua spesimen untuk setiap variasi tinggi, menghasilkan grafik perbandingan hasil antar sampel. Gambar 4.3 menunjukkan proses pengujian kuat lentur yang menggunakan perangkat loading frame dengan hydraulic jack dan TML Data Logger.

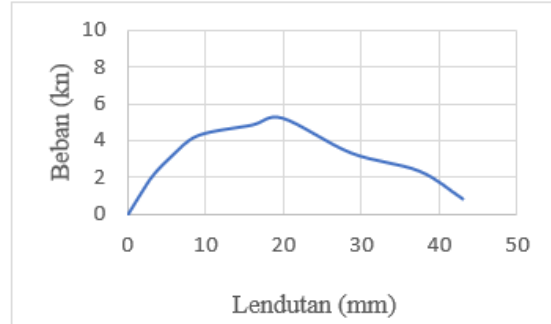


Gambar 5. Uji kuat lentur I-Joist

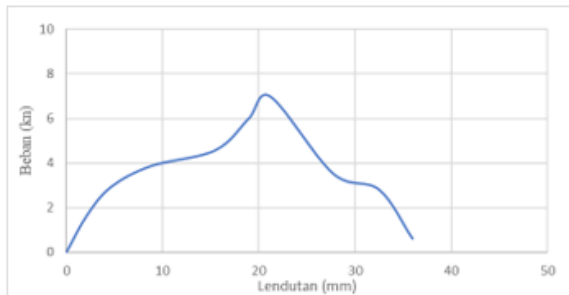
Output pengujian menampilkan beban (kN) yang menunjukkan kapasitas I-Joist dalam menahan gaya, serta lendutan (mm) yang mengindikasikan deformasi akibat pembebanan. Hasil pengujian Balok I-Joist Ditunjukkan pada Grafik Berikut :



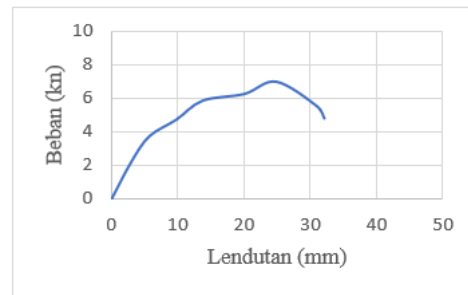
Gambar 6. Benda uji 22 a



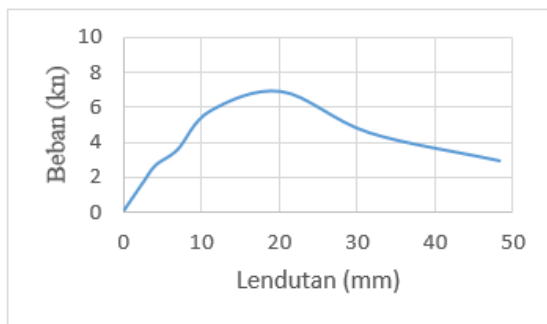
Gambar 7. Benda uji 22 b



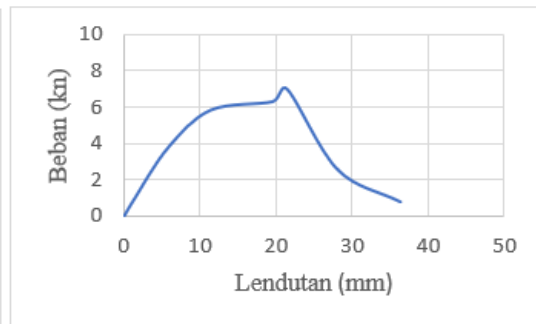
Gambar 8. Benda Uji 24a



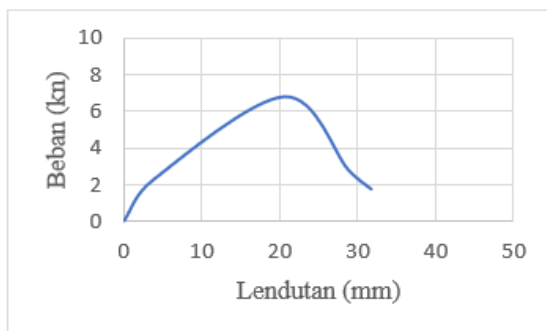
Gambar 9. Benda Uji 24 b



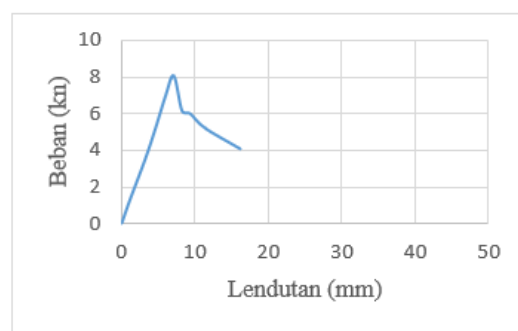
Gambar 10. lendutan



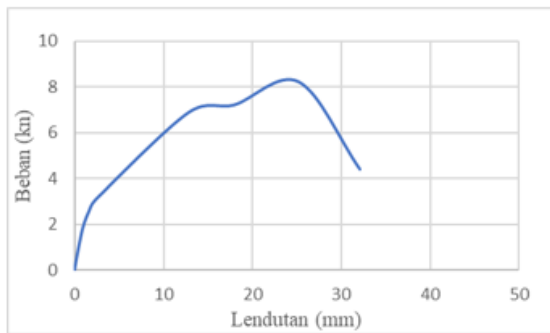
Gambar 11. Benda Uji 26b



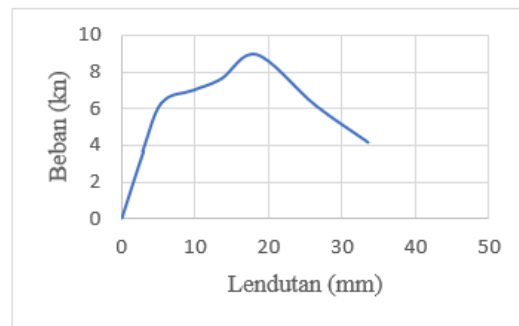
Gambar 12. Benda uji 28 a



Gambar 13. Benda uji 28b



Gambar 14. Benda uji 30 a



Gambar 15. Benda uji 30 b

Hasil pengujian kuat lentur balok I-Joist direkap dalam tabel yang berisi beban maksimum dan defleksi maksimum hasil pengujian, yaitu pada Tabel 4.4.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kadar Air

Kode	Beban Maksimum (N)	Lendutan Maksimum(mm)
22 A	4735	2,977
22 B	5175,3	19,891
24 A	6988,9	21,236
24 B	7002,4	24,593
26 A	6887,5	20,258
26 B	6942	21,418
28 A	6789	20,626
28 B	8069,5	7,113
30 A	8976,8	18,379
30 B	8203,3	25,201

Tabel menunjukkan hasil pengujian kadar air pada 10 sampel kayu dengan kode berbeda (22A hingga 30B). Data yang disajikan meliputi beban maksimum dalam satuan Newton (N) dan lendutan maksimum dalam satuan milimeter (mm). Dari data tersebut terlihat adanya variasi yang cukup signifikan antar sampel, dimana beban maksimum berkisar antara 4735-8976,8 N dan lendutan maksimum berkisar antara 7,113-25,201 mm. Hal ini menunjukkan perbedaan karakteristik mekanis dari masing-masing sampel kayu yang diuji.

4.4. Perhitungan nilai Modulus of Rupture (MoR)

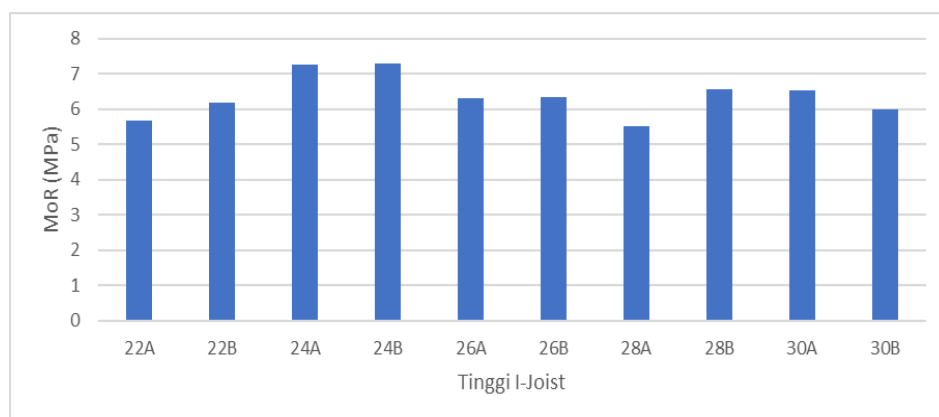
Tegangan lentur patah atau *Modulus of Rupture* (MoR) digunakan untuk menentukan kapasitas beban yang mampu ditahan oleh balok I-Joist sampai mengalami kerusakan. Metode perhitungan kuat lentur dihitung sesuai dengan Persamaan 2.6 tentang

MoR Hasil perhitungan kuat lentur pada benda uji terdapat pada Tabel 4.5. Perhitungan lainnya disajikan dalam Lampiran 4.

Tabel 6. Hasil Perhitungan MoR

No	Kode	Nilai MoR (MPa)
1	22 A	5,6697
2	22 B	6,1969
3	24 A	7,2716
4	24 B	7,2856
5	26 A	6,3038
6	26 B	6,3537
7	28 A	5,5219
8	28 B	6,5634
9	30 A	6,5444
10	30 B	5,9805

Berdasarkan perhitungan *Modulus of Rupture* (MoR) pada balok I-Joist dari kombinasi kayu mahoni dan blockboard, diperoleh nilai rata-rata MoR untuk setiap variasi tinggi balok dengan hasil sebagai berikut: tinggi 22 cm memiliki nilai MoR rata-rata 5,9333 MPa, tinggi 24 cm sebesar 7,2786 MPa, tinggi 26 cm sebesar 6,3288 MPa, tinggi 28 cm sebesar 6,0427 MPa, dan tinggi 30 cm sebesar 6,2625 MPa. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai MoR tertinggi terdapat pada balok I-Joist dengan tinggi 24 cm (ditandai dengan warna hijau pada tabel) dengan nilai tertinggi pada benda uji 24 B sebesar 7,2856 MPa, sedangkan nilai MoR terendah terdapat pada balok I-Joist dengan tinggi 28 cm (ditandai dengan warna kuning pada tabel), khususnya pada benda uji 28 A dengan nilai 5,5219 MPa. Nilai MoR I-Joist disajikan pada grafik Gambar 4.1 dibawah ini.

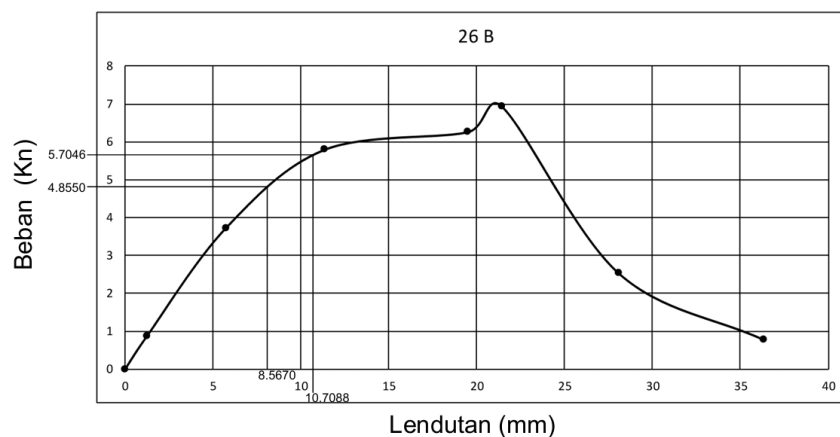


Gambar 16. Nilai MoR I-Joist

Berdasarkan penelitian, variasi tinggi balok I-Joist dengan kayu mahoni sebagai flange dan blockboard sebagai web menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai Modulus of Rupture (MoR). Nilai MoR optimal dicapai pada tinggi 24 cm sebesar 7,2786 MPa, yang meningkat 22,67% dari tinggi 22 cm (5,9333 MPa), kemudian menurun pada tinggi 26 cm dan 28 cm menjadi 6,3288 MPa dan 6,0427 MPa, sebelum sedikit meningkat kembali pada tinggi 30 cm menjadi 6,2625 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan tinggi balok tidak selalu menghasilkan kekuatan lentur yang lebih baik, dan terdapat titik optimal dalam desain balok I-Joist dimana efisiensi struktural mencapai nilai maksimum sebelum menurun akibat efek buckling dan ketidakseimbangan distribusi beban.

4.5. Perhitungan *Modulus of Elasticity* (MoE)

Modulus of Elasticity (MoE) adalah sifat mekanis yang menunjukkan tingkat elastisitas balok kayu, yang ditentukan dari data beban dan lendutan saat kayu masih dalam kondisi elastis sebelum mengalami kepatahan. Penentuan nilai MoE menggunakan metodologi Commonwealth Scientific And Industrial Organisation (CSIRO), dimana titik defleksi proporsional (Δy) diperoleh dengan mengalikan defleksi pada 40% beban maksimum dengan faktor pengali 1,25. Metode CSIRO dipilih karena memberikan tingkat akurasi yang tinggi dalam mengidentifikasi batas proporsional material kayu tanpa terpengaruh oleh variasi subjektif dalam interpretasi data. Penggunaan metode ini memberikan standarisasi yang konsisten dalam mengevaluasi sifat elastis kayu untuk mendapatkan hasil yang objektif dan terukur. berikut contoh grafik Moe untuk benda uji 26 b dan table Hasil perhitungan MoE

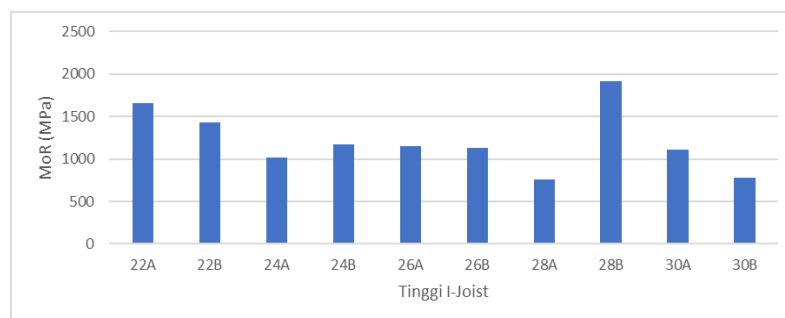


Gambar 17. benda uji 26 b dan table Hasil perhitungan MoE

Tabel 7. Hasil Perhitungan MoE

Kode	P _y (N)	L (mm)	Δy (mm)	Nilai MoR(MPa)
22 A	2312,0	1900	4,5563	1.662
22 B	4339,3	1900	9,9453	1.429
24 A	4158,4	1900	10,6178	1.022
24 B	5617,8	1900	12,4763	1.174
26 A	5506,1	1900	10,1288	1.151
26 B	5704,6	1900	10,7088	1.128
28 A	4467,5	1900	10,3263	756
28 B	3892,9	1900	3,5550	1.914
30 A	6970,4	1900	9,1895	1.109
30 B	6727,9	1900	12,6005	781

Berdasarkan hasil pengujian *Modulus of Elasticity* (MoE) pada balok I-Joist kayu mahoni-blockboard dengan variasi tinggi, diperoleh nilai MoE yang fluktuatif: balok 22 cm (1545,50 MPa), 24 cm (1098,00 MPa), 26 cm (1139,50 MPa), 28 cm (1335,00 MPa), dan 30 cm (945,00 MPa). Variasi signifikan pada sampel dengan tinggi sama terlihat pada balok 28 cm, dimana sampel 28B mencapai nilai tertinggi 1914 MPa sedangkan 28A terendah 756 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa faktor selain dimensi tinggi, seperti kualitas perekat dan distribusi serat kayu, berpengaruh terhadap elastisitas balok. Temuan ini penting untuk pertimbangan desain struktural dan menunjukkan perlunya analisis komprehensif dalam menentukan dimensi optimal balok I-Joist yang mempertimbangkan keseimbangan antara kekakuan struktur dan efisiensi material.



Gambar 18. odulus of Elasticity (MoE) pada balok I-Joist kayu mahoni-blockboard

Pengujian *Modulus of Elasticity* (MoE) pada balok I-Joist kayu mahoni-blockboard dengan variasi tinggi 22-30 cm menunjukkan nilai yang bervariasi. Balok

tinggi 22 cm memiliki MoE rata-rata tertinggi (1545,50 MPa), kemudian menurun pada tinggi 24 cm (1098,00 MPa) dan mengalami fluktuasi pada tinggi selanjutnya: 26 cm (1139,50 MPa), 28 cm (1335,00 MPa), dan 30 cm (945,00 MPa).

Variasi signifikan terlihat pada sampel tinggi 28 cm dengan rentang nilai 756-1914 MPa, mengindikasikan pengaruh faktor material dan fabrikasi terhadap kinerja balok. Pola non-linear antara tinggi balok dan nilai MoE menunjukkan bahwa optimalisasi dimensi balok I-Joist memerlukan pertimbangan kompleks antara aspek struktural dan efisiensi material.

4.6. Analisis Kerusakan balok I-Joist

Pengujian kuat lentur balok I-Joist kayu mahoni-blockboard menghasilkan berbagai mode kegagalan yang dapat dikategorikan menjadi tiga jenis utama: kegagalan lentur, kegagalan geser, dan kegagalan sambungan adhesif. Dokumentasi visual pola kerusakan untuk setiap sampel disajikan pada Gambar 4.2, dengan karakteristik kerusakan yang terangkum dalam Tabel 4.7.



Gambar 19. kegagalan geser, dan kegagalan sambungan adhesif

Analisis menunjukkan variasi pola kerusakan yang signifikan antar sampel. Balok tinggi 22-24 cm didominasi retak vertikal dan kegagalan adhesif, balok 26-28 cm menunjukkan buckling lateral dan shear failure, sedangkan balok 30 cm mengalami crushing material. Retak vertikal menjadi mode kegagalan dominan pada 70% sampel, diikuti buckling pada 20% sampel, mengindikasikan keterbatasan material dalam menahan kombinasi gaya tekan, tarik, dan geser serta ketidakstabilan struktural.

Variasi pola kerusakan pada sampel dengan tinggi sama menunjukkan pengaruh kritis kualitas sambungan adhesif dan homogenitas material terhadap integritas struktural.

Fenomena buckling lateral pada balok tinggi menunjukkan pentingnya pertimbangan stabilitas dalam desain. Temuan ini menekankan perlunya optimalisasi teknik perekatan dan analisis buckling dalam desain balok I-Joist komposit untuk aplikasi struktural.

4.7. 5 Analisis Biaya Spesimen

Biaya produksi per unit balok I-Joist menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya tinggi balok. Variasi tinggi 22 cm memerlukan biaya Rp 240.348,18 per unit, variasi 24 cm sebesar Rp 243.800,26 per unit, variasi 26 cm mencapai Rp 247.252,34 per unit, variasi 28 cm membutuhkan Rp 250.704,42 per unit, dan variasi tertinggi 30 cm menghabiskan biaya Rp 254.156,51 per unit. Peningkatan biaya ini sebanding dengan peningkatan volume material yang digunakan, namun perlu dipertimbangkan bahwa tidak semua variasi tinggi memberikan peningkatan kinerja struktural yang proporsional dengan kenaikan biayanya. Analisis cost-benefit ratio menunjukkan bahwa terdapat titik optimum dimana peningkatan tinggi balok masih memberikan nilai ekonomis yang menguntungkan dibandingkan dengan kenaikan biaya produksinya. Oleh karena itu, pemilihan dimensi balok I-Joist harus mempertimbangkan aspek teknis struktural dan ekonomis secara bersamaan untuk mencapai efisiensi maksimal.

5. KESIMPULAN

Karakteristik mekanis balok menunjukkan pola non-linear terhadap variasi tinggi. Balok tinggi 24 cm memberikan nilai MoR optimal sebesar 7,28 MPa, sedangkan balok tinggi 22 cm menghasilkan MoE tertinggi sebesar 1.545 MPa. Hal ini mengindikasikan adanya dimensi optimum spesifik untuk setiap parameter mekanis.

Mode kegagalan dominan pada semua variasi adalah retak vertikal dengan mekanisme yang bervariasi berdasarkan dimensi balok, mulai dari retak pada web dan flange, delaminasi, buckling lateral, shear failure, hingga crushing flange. Variasi ini mengkonfirmasi keterbatasan material komposit dalam menahan kombinasi beban kompleks.

Aspek ekonomis menunjukkan peningkatan biaya produksi yang linear dari Rp 240.348 hingga Rp 254.157 seiring bertambahnya tinggi balok. Namun, analisis cost-benefit mengungkap bahwa tidak semua peningkatan dimensi memberikan kinerja struktural yang proporsional dengan kenaikan biaya.

Optimalisasi balok I-Joist komposit memerlukan pendekatan multikriteria yang mempertimbangkan aspek teknis struktural dan ekonomis secara simultan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan material komposit kayu lokal untuk aplikasi struktural dengan implikasi praktis terhadap optimalisasi desain dan efisiensi biaya produksi dalam industri konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials Committee, 2015, ASTM D198-15. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Arisandi, R., 2021 Karakteristik Kayu Mahoni (*Swietenia Macrophylla*) sebagai Bahan Konstruksi. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 9(1), 45–53. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Awaludin, A., & Wusqo, U. (2020). Prediksi Nilai Kuat Lentur Kayu Tropis Berdasarkan Nilai Modulus Elastis (Prediction of Timber Bending Strength of Tropical Timbers Based on Its Modulus of Elasticity). *J. Ilmu Teknol. Kayu Tropis*, 18(1).
- Bowyer, J.L., Shmulsky, R., Haygreen, J.G., 2003, *Forest products and wood science: An introduction* (4th ed.). Iowa State Press, Ames, Iowa.
- Cahono, T.D., Nugroho, N., Surjokusumo, S., Amin, Y., 2015, Karakteristik Kayu Mahoni (*Swietenia Macrophylla* King) dari Berbagai Provenans. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 9(1), 49–59. Yogyakarta
- Forest Products Laboratory, 2010, *Wood handbook: Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Glass, S.V., Zelinka, S.L., 2010, Moisture relations and physical properties of wood. In *Wood handbook: Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- El-Galil, D. M. A., El-matarawey, A., & Abel-Aal, M. M. (2023). Improvement of Moisture Measurements for Egyptian Wood Samples at NIS-EGYPT. *Journal of Measurement Science & Applications, JMSA*, 2(1).
- Hartanto , A., 2017, Perbandingan kuat lentur balok kayu utuh dengan balok kayu laminasi profil I dari jenis kayu jati dan mahoni dengan penambahan penyokong sayap profil. Universitas Tidar, Magelang.

- Hunggurami, E., Simatupang, P. H., Messah, Y. A., & Bella, R. A. (2023). Kekuatan Lentur Balok Kayu dengan Variasi Ukuran Takikan. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1).
- Matama, M. N., Kumaat, E. J., & Pandaleke, R. (2017). Pengujian Kuat Lentur Kayu Profil Tersusun Bentuk I. *Jurnal Sipil Statik*, 5(2), 103–112.
- Mawardi, I., Nurdin, N., Fakhriza, F., Jannifar, A., Razak, H., & Jaya, R. P. (2024). Performance of Blockboard using Particle Composite Bagasse Waste as Core Layer Materials. *Composites and Advanced Materials*, 33.
- Slamet, S.-, Santoso, B.-, & Qomaruddin, Q.-. (2023). KARAKTERISASI SIFAT FISIS, MEKANIS DAN REDAMAN AKUSTIK KAYU LOKAL SEBAGAI BAHAN ALAT MUSIK. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 5(2).
- Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu, 2013, SNI 7973:2013. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Spulle, U., Lipinskis, I., & Tuherm, H. (2017). Some Bending Properties of I-Joist s Made with Birch Laminated Plywood Panels. *Drewno* , 60(200).
- Sutrisna, I. G. U. H., Anshari, B., & fajrin, jauhara. (2016). Studi Eksperimen Perilaku Mekanis Papan Kayu Laminasi Silang. *Spektrum Sipil*, 2.
- Theviani, A. (2024). Pengaruh Diameter WEB dan Tebal Flange terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Balok Penampang I (I-Joist).
- Wijanarka. (2022). Perkembangan Penggunaan Material Maju Balok Kayu Profil sebagai Elemen Konstruksi Rumah Prefabrikasi Modular2 Bongkar Pasang.
- Yoresta F.S., Modulus elastisitas dan kekuatan lentur balok kayu laminasi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 11(1), 41–44. Politeknik Negeri Samarinda