

**KAJIAN BAMBU PETUNG (*Dendrocalamus asper*) SEBAGAI MATERIAL
PENGGANTI TULANGAN PADA BALOK BETON**

LABORATORIUM BAHAN STRUKTUR DAN KONSTRUKSI BANGUNAN



**ANDI MUHAMMAD AFIF RAIHAN DJALAWALI
D051211040**



**PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

**KAJIAN BAMBU PETUNG (*Dendrocalamus asper*) SEBAGAI MATERIAL
PENGANTI TULANGAN PADA BALOK BETON**

LABORATORIUM BAHAN STRUKTUR DAN KONSTRUKSI BANGUNAN



**ANDI MUHAMMAD AFIF RAIHAN DJALAWALI
D051211040**



**PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Kajian Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) Sebagai Material Pengganti Tulang Pada Balok Beton

Disusun dan diajukan oleh

Andi Muhammad Afif Raihan Djalawali

D051211040

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas
Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 07 Januari 2026

Menyetujui
Ketua Departemen Arsitektur Fakultas
Teknik



Mengetahui
Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. Ar. H. Edward Syarif, ST., MT., IAI Dr. Eng Ir. Ar. Nasruddin, ST., MT., IPU, IAI, ASEAN Eng.
NIP. 19690612 199802 1 001 NIP. 19710316 199702 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andi Muhammad Afif Raihan Djalawali

NIM : D051211040

Program Studi : Teknik Arsitektur

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*{Kajian Bambu Petung (*Dendrocalamus Asper*) Sebagai Material Pengganti Tulangan
Pada Balok Beton}*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitnya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 Januari 2026

Yang menyatakan,



Andi Muhammad Afif Raihan Djalawali
D051211040

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“KAJIAN BAMBU PETUNG (*Dendrocalamus asper*) SEBAGAI MATERIAL PENGGANTI TULANGAN PADA BALOK BETON”**. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan pengikutnya hingga akhir zaman. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Arsitektur pada Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa proses penyusunan skripsi ini mulai dari persiapan material, perawatan benda uji, hingga pengujian di laboratorium tidak lepas dari tantangan dan hambatan. Namun, berkat bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. **Bapak Dr. Eng. Ir. Ar.Nasruddin, S.T., M.T., IPU., IAI., ASEAN Eng.** Selaku pembimbing saya yang telah sabar dan meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan bimbingan dalam proses penulisan skripsi ini.
2. **Ibu Pratiwi Mushar, S.T., M.T. dan Bapak Andi Lolo Sinrang, S.T., M.Eng., Ph.D.** Selaku dosen penguji 1 dan penguji 2 saya yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini. Terima kasih atas perhatian dan waktu yang telah diberikan.
3. Seluruh Dosen, Staf, dan Karyawan Fakultas Teknik Jurusan Arsitektur Universitas Hasanuddin.
4. **Orang Tua** saya **Ibu Yulia Rachman** dan **Bapak Andi Muh.Miftah Emil**, serta adik saya **Andi Naila Luthfia Djalawali**, dan seluruh keluarga besar saya yang selalu memberikan saya doa dan dukungan yang tak henti henti nya.
5. Keempat kakek nenek saya **Bapak Abdul Rachman Nur, Alm Bapak Agussalim Djalawali, Ibu Sri Rahayu, Ibu Nurul Nadjmi**. Yang telah memberikan dukungan dan doa disetiap ujian saya.
6. **Andi Nur Wahidah** yang selalu memberi dukungan dan masukan kepada saya selama proses penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih sebesar besar nya diberikan atas kehadirannya yang sangat memberi semangat dan bantuan di mana pun.
7. **Teman angkatan saya, Perspektif 2021**, terkhusus **Tim ZKB (Hilmiy, Arthur, Rama, Deysta)** yang telah banyak membantu dan menemani semasa perkuliahan ini. Terima kasih saya ucapkan sebanyak banyaknya dan harapan saya kedepannya tetap saling mensupport satu sama lain selama nya.
8. Kepada teman-teman **KKNT 112 POSKO BELO (Annu, Rabel, Arthur, Jeje, Ica, Fita, Ikra, Nila)** yang telah menjadi bagian dari cerita perkuliahan ini. Terima kasih pengalamannya selama bersama, semoga kedepannya dapat berkumpul dengan lengkap lagi.
9. **Seluruh Tim Lab Struktur**. Terutama Kak Halim. Terima Kasih juga terkhusus nya **Tim Bawah Lab Struktur. Hilmiy** yang membantu saya mempersiapkan

semua alat dan bahan penelitian saya. **Marchel, Eddy, Kak Oji** yang membantu saya melaksanakan proses penelitian. **Kak Alia, Kak Amel, Kak Ira** yang telah membantu saya dalam proses perhitungan dan pengolahan data. Terima kasih atas seluruh bantuan nya **Tim Bawah Lab Struktur**.

- 10. Diri Saya Sendiri, Andi Muhammad Afif Raihan Djalawali.** Terima kasih telah berjuang dan bertanggung jawab menyelesaikan apa yang telah dimulai hingga akhir proses perkuliahan ini.

Adapun kepada pihak-pihak yang tidak dapat Saya cantumkan satu-persatu namanya, terima kasih atas bantuan dan dukungannya kepada Saya selama menjalankan proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, Saya berharap skripsi ini dapat bermanfaat serta menjadi bahan untuk menambah wawasan dan informasi kepada pembaca. Saya memohon maaf apabila terdapat kesalahan maupun kekurangan dalam skripsi ini. Terimakasih.

Penulis



Andi Muhammad Afif Raihan Djalawali

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja bambu petung (*Dendrocalamus asper*) sebagai material alternatif pengganti tulangan baja pada balok beton melalui pengujian kuat lentur. Pengujian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan metode four-point bending test untuk memperoleh respons lentur balok secara menyeluruh dan terkontrol.

Variabel penelitian meliputi jumlah batang tulangan bambu (3 dan 4 batang), bentuk penampang tulangan (silinder dan kotak), jumlah ulir (10 dan 20 ulir), serta bagian bambu yang digunakan (kulit dan daging). Seluruh benda uji dibuat dengan mutu beton yang sama ($f_c' = 20$ MPa), melalui tahapan persiapan material, pengawetan bambu, pencetakan, perawatan (curing), hingga pengujian sesuai prosedur laboratorium. Analisis dilakukan terhadap nilai kuat lentur maksimum serta pola keretakan yang terjadi pada masing-masing spesimen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi tulangan bambu berpengaruh signifikan terhadap kapasitas lentur balok beton. Kombinasi 4 batang tulangan, penampang silinder, 10 ulir, dan penggunaan bagian daging bambu (BT-C4-10I) menghasilkan kuat lentur tertinggi sebesar 23,4 MPa, serta pada kondisi tertentu mampu menyamai bahkan melampaui performa balok kontrol. Pola keretakan yang dominan berupa retak geser dan kombinasi geser–lentur, yang mengindikasikan kegagalan getas akibat keterbatasan daya rekat antara bambu dan beton.

Secara keseluruhan, bambu petung memiliki potensi sebagai tulangan beton yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Namun, diperlukan pengembangan lebih lanjut terkait desain ikatan, perlakuan permukaan, dan ketahanan jangka panjang agar aplikasinya dalam struktur beton dapat lebih optimal dan aman.

Kata Kunci: Bambu Petung, Kuat Lentur, Tulangan Beton

Abstract

This research aims to analyze the performance of *Dendrocalamus asper* bamboo as an alternative material to steel reinforcement in concrete beams through flexural strength testing. The experimental study was conducted in a laboratory using a Universal Testing Machine (UTM) with the four-point bending test method to obtain a comprehensive and controlled flexural response of the beams.

The research variables included the number of bamboo reinforcement bars (3 and 4 bars), cross-sectional shape of the reinforcement (cylindrical and rectangular), number of notches (10 and 20), and the bamboo layer used (outer skin and inner core). All test specimens were prepared using the same concrete quality ($f_c' = 20$ MPa), following material preparation, bamboo preservation, casting, curing, and testing procedures in accordance with laboratory standards. The analysis focused on the maximum flexural strength values and the crack patterns observed in each specimen.

The results indicate that the configuration of bamboo reinforcement significantly affects the flexural capacity of concrete beams. The combination of 4 reinforcement bars, cylindrical cross-section, 10 notches, and inner bamboo layer (BT-C4-10I) produced the highest flexural strength of 23.4 MPa and, under certain conditions, was able to match or even exceed the performance of the control beam. The dominant crack patterns were shear cracks and combined flexural–shear cracks, indicating brittle failure due to limitations in the bond between bamboo and concrete.

Overall, *Dendrocalamus asper* bamboo demonstrates strong potential as an environmentally friendly and sustainable concrete reinforcement. However, further development in bond design, surface treatment, and long-term durability is required to ensure safer and more optimal application in concrete structural systems.

Keywords: *Dendrocalamus asper*, Flexural Strength, Concrete Reinforcement

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
Ucapan Terima Kasih.....	v
Abstrak	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Kajian Teori.....	3
I.2.1 Bambu Petung	4
I.2.2 Karakteristik Bambu Petung	4
I.2.3 Anatomi dan Struktur Bambu Petung	7
I.2.4 Sifat Fisika Bambu Petung	8
I.2.5 Sifat Mekanika Bambu Petung	11
I.2.6 Balok	13
I.2.7 Fungsi dan Peranan Balok dalam Struktur Bangunan	13
I.2.8 Jenis Jenis Balok pada Bangunan	13
I.2.9 Karakteristik Mekanik Balok dalam Struktur Bangunan	14
I.2.10 Beton	14
I.3 Rumusan Masalah.....	17
I.4 Batasan Masalah	17
I.5 Tujuan	18
I.6 Manfaat Penelitian.....	18
I.7 Penelitian Terkait	19
BAB II METODE PENELITIAN	22
II.1 Kajian Teori	22
II.2 Objek dan Lokasi Penelitian	22
II.3 Variabel Penelitian	22

II.4	Bahan dan Alat Penelitian.....	29
II.4.2	Bahan Penelitian	29
II.4.3	Peralatan Penelitian	29
II.5	Tahap Pelaksanaan	31
II.5.1	Tahap Penentuan Metode dan Studi Literatur.....	31
II.5.2	Tahap Persiapan Material dan Spesimen Balok.....	31
II.5.3	Proses Pelaksanaan Pengetesan	35
II.5.4	Analisis Data dan Pembahasan	37
II.5.5	Kerangka alur	39

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar .1. Bambu Petung</i>	<i>4</i>
<i>Gambar .2. Struktur Bambu Petung.....</i>	<i>5</i>
<i>Gambar 3. Bentuk Fisik Bambu Petung.....</i>	<i>6</i>
<i>Gamba.4. Siklus Hidup dan Pematangan Mekanis Bambu Petung</i>	<i>6</i>
<i>Gambar.5. Anatomi dan Kelebihan Bambu Petung</i>	<i>7</i>
<i>Gambar .6. Kebun Bambu</i>	<i>10</i>
<i>Gambar .7. Lendutan balok</i>	<i>14</i>
<i>Gambar .8. Gambar Perumusan Variabel 3 Batang</i>	<i>24</i>
<i>Gambar .9. Gambar Perumusan Variabel 4 Batang</i>	<i>24</i>
<i>Gambar .10. Penamaan dan Sketsa Variabel 3 Batang.....</i>	<i>25</i>
<i>Gambar .11. Penamaan dan Sketsa Variabel 3 Batang.....</i>	<i>26</i>
<i>Gambar .12. Alat-alat ; concrete mixer, timbangan, tumpuan baja, kerucut abrams, oven</i>	<i>30</i>
<i>Gambar .13. Bahan-bahan ; semen, pasir, kerikil</i>	<i>30</i>
<i>Gambar .14. Rencana model pembesian</i>	<i>32</i>
<i>Gambar .15. Tahu beton</i>	<i>33</i>
<i>Gambar .16. Rencana balok 3 tulangan dengan tahu beton</i>	<i>33</i>
<i>Gambar .17. Rencana balok 4 tulangan dengan tahu beton</i>	<i>34</i>
<i>Gambar .18. Cetakan balok</i>	<i>34</i>
<i>Gambar .19. Simulasi proses pengetesan</i>	<i>35</i>
<i>Gambar .20. Benda Uji Di Tekan Dengan 2 Titik Pembebanan.</i>	<i>35</i>
<i>Gambar .21. Gambaran Benda Uji Ditekan dengan 2 Titik Pembebanan</i>	<i>36</i>
<i>Gambar .22. Alat UTM (Universal Testing Machine)</i>	<i>36</i>
<i>Gambar .23. Lendutan balok</i>	<i>37</i>
<i>Gambar .24. Lendutan balok</i>	<i>37</i>

DAFTAR TABEL

<i>Tabel -1. Kadar air, berat jenis bambu dalam kondisi basah.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabel -2. Kembang Susut</i>	<i>10</i>
<i>Tabel -3. Peneliti, tahun, judul penelitian, dan hasil penelitian</i>	<i>21</i>
<i>Tabel -4. Variabel Terikat, variabel bebas, variabel kontrol.....</i>	<i>22</i>

DAFTAR RUMUS

<i>Rumus -1. Perhitungan Kekuatan Lentur.....</i>	<i>38</i>
---	-----------

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Konstruksi bangunan yang berkelanjutan menjadi tantangan di era modern, terutama dalam pemilihan material yang ramah lingkungan. Salah satu material utama dalam sistem struktur bangunan adalah beton bertulang, yang umumnya menggunakan baja sebagai tulangan. Namun, produksi baja membutuhkan energi tinggi dan berkontribusi terhadap emisi karbon yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif material yang lebih ramah lingkungan dan memiliki karakteristik mekanik yang mendukung aplikasi struktural.

Bambu petung (*Dendrocalamus asper*) merupakan salah satu jenis bambu yang memiliki potensi besar sebagai material pengganti tulangan dalam balok beton bertulang. Bambu ini memiliki diameter yang besar, dinding tebal, dan kekuatan tarik yang cukup tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai elemen struktural dalam bangunan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nugroho dan Ando (2001), bambu memiliki kekuatan tarik hingga 200-300 MPa, yang mendekati nilai kekuatan tarik baja ringan. Selain itu, bambu merupakan material yang mudah diperoleh, tumbuh cepat, dan memiliki dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan dengan baja (Sulastiningsih, 2009).

Selain itu, bambu telah lama digunakan dalam konstruksi tradisional di berbagai negara, terutama di wilayah Asia dan Amerika Selatan. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa bambu memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja, yang membuatnya menjadi pilihan menarik untuk bahan bangunan alternatif. Di beberapa negara, bambu telah dimanfaatkan sebagai elemen struktural dalam jembatan, rumah tahan gempa, serta berbagai aplikasi konstruksi lainnya.

Kelebihan lain dari bambu petung adalah ketersediaannya yang melimpah di Indonesia, sehingga dapat menjadi solusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap material impor seperti baja. Dengan pemanfaatan yang tepat, bambu dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam serta memberikan dampak ekonomi positif bagi masyarakat lokal yang terlibat dalam budidaya dan pengolahan bambu.

Sifat mekanik bambu juga dapat ditingkatkan melalui berbagai metode perlakuan, seperti perendaman dalam larutan pengawet, karbonisasi, atau pengeringan dengan teknik tertentu. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan daya tahan bambu terhadap faktor lingkungan, seperti serangan hama, kelembaban, dan perubahan suhu yang dapat mempengaruhi umur layanan material dalam konstruksi.

Selain sifat mekaniknya yang unggul, bambu juga memiliki fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan baja, sehingga lebih tahan terhadap gaya kejut seperti gempa. Dalam beberapa penelitian, struktur berbasis bambu menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan material konvensional, karena

sifatnya yang ringan namun kuat. Dengan demikian, pemanfaatan bambu dalam konstruksi dapat menjadi solusi yang lebih aman dan efisien di daerah rawan gempa.

Berbagai penelitian eksperimental telah dilakukan untuk menguji kelayakan bambu sebagai pengganti tulangan baja dalam beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok beton bertulangan bambu dapat menahan beban dengan cukup baik, meskipun masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti kemampuan adhesi yang lebih rendah dibandingkan baja. Oleh karena itu, pengembangan metode penyambungan dan perlakuan permukaan bambu masih menjadi fokus dalam penelitian lanjutan.

Selain manfaat teknis dan lingkungan, penggunaan bambu sebagai tulangan beton juga memiliki potensi dalam aspek ekonomi. Harga bambu yang lebih murah dibandingkan baja dapat mengurangi biaya konstruksi secara signifikan, terutama untuk proyek-proyek pembangunan rumah rakyat atau infrastruktur di daerah pedesaan. Dengan demikian, inovasi ini dapat mendukung program perumahan berbiaya rendah yang dicanangkan oleh pemerintah.

Salah satu tantangan utama dalam penggunaan bambu sebagai tulangan beton adalah ketahanan terhadap kelembaban dan serangan hama. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menemukan solusi terbaik dalam pengawetan dan perlindungan bambu agar dapat bertahan lebih lama dalam kondisi lingkungan yang bervariasi.

Pemerintah dan akademisi perlu bekerja sama dalam mengembangkan standar dan regulasi untuk penggunaan bambu dalam konstruksi modern. Saat ini, masih terdapat keterbatasan dalam standar desain yang mengakomodasi bambu sebagai material struktural, sehingga perlu dilakukan lebih banyak uji coba dan penyempurnaan metode konstruksi.

Pemanfaatan bambu petung sebagai material pengganti tulangan baja dalam balok beton bertulang juga dapat membuka peluang baru bagi industri material berbasis sumber daya alam. Dengan berkembangnya teknologi pengolahan bambu, diharapkan material ini dapat lebih diterima dalam skala yang lebih luas dan menjadi alternatif yang layak dalam konstruksi berkelanjutan.

Dengan mempertimbangkan karakteristik mekanik dan ketersediaannya, pemanfaatan bambu petung sebagai material pengganti tulangan baja pada balok dalam sistem struktur bangunan menjadi topik yang menarik untuk diteliti. Hal ini sejalan dengan upaya mencari solusi konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pemilihan bambu petung (*Dendrocalamus asper*) sebagai material alternatif pengganti tulangan baja didasarkan pada superioritas sifat fisik dan mekanisnya dibandingkan varietas lain, seperti bambu apus atau wulung. Widjaja (2001) mengklasifikasikan bambu petung sebagai jenis bambu dengan dimensi terbesar dan terkuat yang tumbuh di Asia Tenggara. Keunggulan struktural utamanya terletak pada diameter batang yang besar (15–20 cm) dan ketebalan dinding yang mencapai 10–20 mm, sehingga memungkinkan pembuatan bilah tulangan dengan dimensi yang masif dan kokoh (Frick & Hesti, 2006; Kushartomo et al., 2018). Selain itu, bambu petung memiliki morfologi batang yang tumbuh tegak dengan serat yang

lurus dan minim cacat mata kayu, yang krusial untuk optimalisasi distribusi tegangan tarik (Morisco, 1999). Hal ini didukung oleh struktur ruas yang panjang (30–50 cm), yang secara efektif mengurangi jumlah buku (*nodes*) sebagai titik lemah potensial dalam menahan gaya geser (Liese, 1985). Secara mekanis, karakteristik ini menghasilkan kuat tarik yang tinggi, berkisar antara 100 MPa hingga 250 MPa, menjadikannya kandidat paling ideal untuk aplikasi elemen struktur beton (Wahyudi, 2019; Hossain & Islam, 2020).

I.2 Kajian Teori

1. Bahan alami yang dapat diperbaharui dan bersifat berkelanjutan
2. Bersifat ekologis (ramah lingkungan)
3. Sangat cepat pertumbuhannya (hanya memerlukan 3 s/d 6 tahun untuk siap tebang guna memenuhi persyaratan sebagai material konstruksi)
4. ada berat jenis yang sama, kuat tarik bambu lebih tinggi dibandingkan kuat tarik baja mutu sedang
5. Ringan
6. Bahan konstruksi yang relatif murah
7. Memiliki efisiensi teknis (cepat dan mudah dalam pengerjaannya)
8. Merupakan material tahan gempa yang baik

Bambu memiliki sifat mekanis yang cukup baik untuk digunakan sebagai bahan struktural seperti kekuatan Tarik yang tinggi, dikarenakan serat alami dalam bambu memberikan kekuatan Tarik yang cukup tinggi, yang dalam beberapa kasus dapat sebanding atau bahkan lebih tinggi dari baja ringan (Londono & Trujillo, 2020).

Sifat bambu berikutnya yaitu rendahnya berat jenis dikarenakan bambu memiliki berat yang jauh lebih ringan dibandingkan baja, sehingga memudahkan proses konstruksi dan mengurangi beban mati struktur (Ghavami, 2005). Dan karakteristik yang terakhir yaitu daya tahan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan karena bambu rentan terhadap serangan hama dan degradasi akibat kelembapan jika tidak diberikan perlakuan khusus, seperti

Bambu juga memiliki beberapa keunggulan, yaitu material ramah lingkungan karena bambu merupakan sumber daya alam yang dapat diperbarui dengan cepat, memiliki jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan baja tulangan (Sharma et al., 2015). Keunggulan lainnya yaitu ekonomis dan mudah didapatkan dikarenakan harga bambu relatif lebih murah dibandingkan baja. Dan keunggulan yang terakhir yaitu proses produksi yang sederhana karena pemanfaatan bambu sebagai tulangan tidak memerlukan proses industri yang kompleks seperti pembuatan baja tulangan, sehingga lebih hemat energi (Ghavami, 2005).

Namun bambu juga memiliki kelemahan, yaitu ketahanan terhadap air dan serangga karena bambu perlu diberi perlakuan khusus agar tidak mudah mengalami pembusukan atau dimakan rayap (Sulistiono et al., 2021). Dan daya rekat dengan beton yang rendah dikarenakan permukaan bambu yang halus dapat menyebabkan kurangnya ikatan antara tulangan bambu dan beton. Untuk meningkatkan daya rekat, bambu biasanya direndam dalam larutan natrium

hidroksida (NaOH) atau diberi tekstur dengan cara dikikis atau dilapisi resin epoksi (Ghavami, 2005).

I.2.1 Bambu Petung

Bambu petung (*Dendrocalamus asper*) adalah salah satu jenis bambu berukuran besar yang banyak ditemukan di wilayah tropis, terutama di Indonesia. Bambu ini memiliki diameter yang lebih besar dibandingkan jenis bambu lainnya, dengan dinding batang yang tebal dan serat yang kuat. Karena karakteristiknya tersebut, bambu petung sering digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, termasuk sebagai material pengganti baja untuk tulangan balok beton (Sulistiono et al., 2022).

Keunggulan utama bambu petung sebagai material struktural terletak pada kekuatan tariknya yang tinggi serta kemampuannya untuk tumbuh dengan cepat, menjadikannya bahan bangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Janssen, 2000). Warna kulit batang umumnya warna hijau kekuning-kuningan. Panjang batang dapat mencapai antara 10 sampai 14 meter, panjang ruas berkisar antara 40 sampai 60 centimeter dengan diameter antara 6 sampai 15 centimeter dan tebal dindingnya antara 10 sampai 15 milimeter (Morisco, 1999).



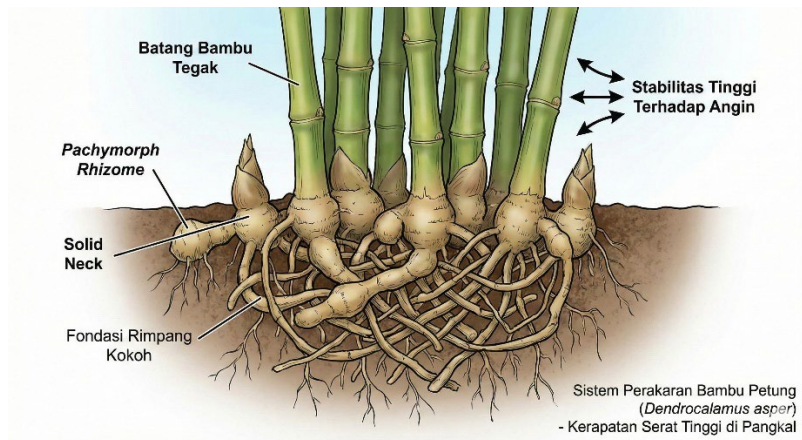
Gambar .1. Bambu Petung

Penggunaan bambu sebagai pengganti tulangan dipengaruhi oleh sifat fisika dan sifat mekanika yang dimiliki oleh bambu tersebut. Sifat fisika bambu terdiri dari berat jenis dan kepadatan, koefisien muai termal, porositas dan kelembaban, kadar air, kembang susut. Sedangkan sifat mekanika bambu meliputi kekuatan tarik kekuatan lentur, adhesi dengan beton, ketahanan terhadap beban tekan dan geser.

I.2.2 Karakteristik Bambu Petung

Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) merupakan jenis bambu simpodial (berumpun) yang tumbuh subur di daerah tropis, termasuk Indonesia. Dalam taksonomi tumbuhan, bambu ini termasuk dalam famili *Poaceae* dan sub-famili *Bambusoideae*. Di Indonesia, jenis ini dikenal

dengan nama lokal "bambu betung" atau "petung" dan dikenal sebagai salah satu jenis bambu dengan dimensi terbesar dan terkuat di antara jenis bambu lainnya yang tumbuh di Asia Tenggara (Widjaja, 2001).



Gambar .2. Struktur Bambu Petung

Lebih jauh ke dalam struktur dasarnya, sistem perakaran Bambu Petung memiliki tipe rimpang *pachymorph* (berbentuk pendek dan tebal) dengan leher rimpang yang solid. Rimpang ini tumbuh saling terkait di bawah tanah membentuk fondasi rumpun yang sangat kokoh, yang memungkinkan batang bambu tumbuh tegak lurus ke atas dengan stabilitas tinggi terhadap gaya angin. Karakteristik perakaran ini tidak hanya penting secara biologis untuk penyerapan nutrisi, tetapi juga menjadi indikator bahwa batang bambu yang dihasilkan memiliki kerapatan serat yang tinggi pada bagian pangkalnya, menjadikannya bagian terkuat untuk diaplikasikan sebagai elemen struktur utama (Dransfield & Widjaja, 1995).

Secara morfologis, Bambu Petung memiliki karakteristik fisik yang sangat menonjol dibandingkan bambu jenis Apus (*Gigantochloa apus*) atau Wulung. Batang (*culm*) bambu petung tumbuh tegak dengan ujung yang sedikit melengkung. Tinggi buluh dapat mencapai 20 hingga 30 meter. Salah satu parameter terpenting dalam pemanfaatannya sebagai tulangan beton adalah diameternya yang besar, berkisar antara 8 cm hingga 20 cm pada bagian pangkal (Morisco, 1999).

Pola percabangan pada Bambu Petung juga memiliki karakteristik khusus yang menguntungkan untuk material konstruksi. Percabangan biasanya baru dimulai pada ketinggian yang cukup tinggi dari permukaan tanah, seringkali di atas pertengahan tinggi total batang. Hal ini menghasilkan bagian batang bawah (bongkot) hingga tengah yang relatif lurus, bersih, dan bebas dari cacat mata kayu akibat percabangan (*knot-free*). Kondisi fisik yang silindris dan minim cacat ini sangat ideal untuk dimanfaatkan sebagai tulangan balok karena serat-serat bambu pada

bagian ini cenderung lurus dan tidak terputus, sehingga distribusi tegangan tarik dapat berlangsung lebih optimal dibandingkan bagian ujung yang banyak bercabang.



Gambar 3. Bentuk Fisik Bambu Petung

Sumber : indonetwork.co.id

Ciri fisik yang paling krusial untuk aplikasi struktur adalah ketebalan dinding buluhnya. Bambu Petung memiliki dinding yang tebal, berkisar antara 10 mm hingga 20 mm, bahkan bisa lebih tebal pada bagian pangkal batang. Ketebalan ini memungkinkan bambu petung untuk dibelah menjadi bilah-bilah tulangan dengan dimensi yang memadai untuk menahan gaya tarik (Frick & Hesti, 2006).



Gamba.4. Siklus Hidup dan Pematangan Mekanis Bambu Petung

Sumber : Janssen, 2000

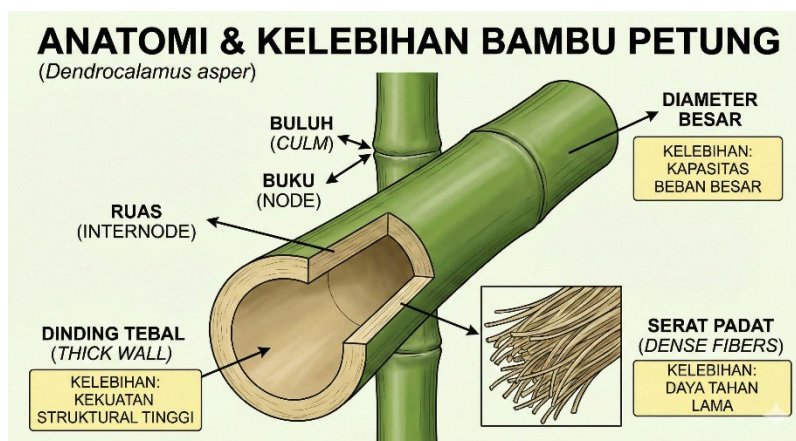
Dari segi siklus hidup, Bambu Petung mengalami proses pertumbuhan yang sangat cepat (*rapid growth*) namun memerlukan waktu spesifik untuk mencapai kematangan mekanis. Meskipun batang dapat mencapai tinggi maksimum dalam waktu 3-4 bulan (fase rebung ke muda), proses lignifikasi atau pengerasan dinding sel baru terjadi secara sempurna setelah bambu

berumur 3 hingga 5 tahun. Pada fase ini, kadar air dalam batang menurun dan dinding sel menebal secara maksimal, menghasilkan densitas dan kekuatan tarik tertinggi. Oleh karena itu, identifikasi morfologi bambu tua—yang ditandai dengan pudarnya bulu-bulu halus dan munculnya lumut kerak (*lichens*) berwarna keputihan pada kulit batang—menjadi parameter visual yang krusial dalam seleksi bahan tulangan (Janssen, 2000).

Batang bambu terdiri dari ruas (*internodes*) dan buku (*nodes*). Panjang ruas bambu petung bervariasi antara 30 cm hingga 50 cm, di mana pada bagian buku seringkali tumbuh akar udara terutama pada bagian pangkal batang. Warna kulit batang bervariasi dari hijau tua hingga kekuningan saat tua, dengan permukaan yang tertutup oleh bulu-bulu halus berwarna coklat hingga hitam (*velvet*) saat masih muda. Struktur ruas yang panjang pada bambu petung memberikan keuntungan dalam pemanfaatannya sebagai tulangan karena dapat meminimalkan jumlah buku yang seringkali menjadi titik lemah dalam kegagalan geser (Liese, 1985).

I.2.3 Anatomi dan Struktur Bambu Petung

Kekuatan mekanika bambu petung sebagai material struktur sangat dipengaruhi oleh struktur anatominya. Berbeda dengan kayu yang memiliki struktur seluler yang relatif homogen (xilem dan floem yang terpisah cincin tahunan), bambu adalah material komposit alami yang terdiri dari serat selulosa (*cellulose fibers*) yang tertanam dalam matriks lignin (*lignin matrix*).



Gambar.5. Anatomi dan Kelebihan Bambu Petung

Secara mikroskopis, penampang melintang bambu petung terdiri dari tiga elemen utama: berkas pengangkut (*vascular bundles*), sel-sel parenkim (*parenchyma cells*), dan lapisan epidermis.

1. **Berkas Pengangkut (*Vascular Bundles*):** Ini adalah komponen utama penentu kekuatan tarik bambu. Berkas ini terdiri dari pembuluh *xylem*

(pengangkut air) dan *phloem* (pengangkut makanan) yang dikelilingi oleh selubung serat sklerenkim (*sclerenchyma sheaths*) yang sangat keras dan kuat.

2. **Sel Parenkim:** Berfungsi sebagai matriks dasar atau pengisi, bersifat lebih lunak dibandingkan serat.

Distribusi serat pada bambu petung bersifat *Functionally Graded Material* (FGM), artinya kerapatan serat tidak seragam di seluruh ketebalan dinding. Konsentrasi berkas pengangkut (serat) paling padat terdapat pada bagian tepi luar (dekat kulit/epidermis) dan semakin jarang menuju ke bagian dalam (rongga). Menurut Liese (1998), sekitar 50% volume bambu terdiri dari parenkim, 40% serat, dan 10% pembuluh. Namun, pada bagian kulit luar, persentase serat bisa mencapai 60-70%, sedangkan di bagian dalam didominasi oleh parenkim.

Implikasi dari struktur mikro ini terhadap penggunaannya sebagai pengganti tulangan balok adalah:

1. **Kuat Tarik:** Bagian kulit luar bambu memiliki kuat tarik yang jauh lebih tinggi dibandingkan bagian dalamnya karena kepadatan serat yang tinggi. Oleh karena itu, dalam pembuatan bilah tulangan, disarankan untuk menyertakan bagian kulit atau mengambil bagian yang dekat dengan kulit.
2. **Variasi Kekerasan:** Karena bagian dalam didominasi oleh sel parenkim yang lunak, bagian ini lebih rentan terhadap serangan serangga dan lebih banyak menyerap air (higroskopis) dibandingkan bagian luar yang terlindungi lapisan silika dan lilin.
3. **Mekanisme Kegagalan:** Saat menerima beban tarik, kegagalan biasanya diawali dengan pecahnya ikatan antara serat dan matriks parenkim, yang kemudian diikuti oleh putusnya serat (Ghavami, 2005).

I.2.4 Sifat Fisika Bambu Petung

Sifat fisika bambu adalah perilaku fisik bambu sebagai tanggapan terhadap perubahan kondisi udara di sekitar tempat tumbuh bambu. Sifat fisika bambu petung sangat menentukan kualitas dan kestabilannya sebagai material konstruksi. Karakteristik fisik ini mempengaruhi daya tahan bambu terhadap faktor lingkungan, kestabilan bentuk, serta kemampuannya untuk berinteraksi dengan beton dalam suatu struktur. Beberapa sifat fisika utama yang berpengaruh antara lain:

1. Berat Jenis dan Kepadatan

Berat jenis bambu petung bervariasi antara 0,6-0,9 g/cm³ tergantung pada kadar air dan usia bambu (Santoso, 2021). Kepadatan bambu sangat menentukan kekuatannya, di mana semakin tinggi kepadatan suatu bambu, semakin baik pula ketahanannya terhadap beban. Menurut Nugroho dan Andi (2000), kepadatan bambu petung

yang lebih tinggi berkaitan dengan meningkatnya kekuatan mekaniknya, khususnya dalam menahan tekanan dan lentur. Kepadatan bambu juga berpengaruh terhadap daya rekatnya dengan beton, sehingga diperlukan perlakuan permukaan untuk meningkatkan adhesinya saat digunakan sebagai tulangan balok beton.

2. Koefisien Muai Termal

Perbedaan koefisien muai termal antara bambu dan beton dapat menyebabkan ketidakcocokan dalam struktur. Menurut Harsono (2020), bambu memiliki koefisien muai termal sekitar $3,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, yang berbeda dengan beton. Oleh karena itu, teknik penyambungan dan perlakuan permukaan diperlukan untuk mengurangi risiko retak akibat perbedaan ekspansi termal.

3. Porositas dan Kelembaban

Bambu bersifat higroskopis, artinya ia dapat menyerap dan melepaskan kelembaban sesuai dengan kondisi lingkungan. Hal ini menyebabkan perubahan dimensi dan dapat mengurangi ketahanannya terhadap serangan jamur dan rayap (Rahmad, 2022). Oleh karena itu, diperlukan metode pengawetan seperti perendaman dalam larutan pengawet untuk meningkatkan daya tahannya.

4. Kadar Air

Bambu bersifat higroskopis, artinya ia dapat menyerap dan melepaskan kelembaban sesuai dengan kondisi lingkungan. Hal ini menyebabkan perubahan dimensi dan dapat mengurangi ketahanannya terhadap serangan jamur dan rayap (Rahmad, 2022). Oleh karena itu, diperlukan metode pengawetan seperti perendaman dalam larutan pengawet untuk meningkatkan daya tahannya.

Tabel -1. Kadar air, berat jenis bambu dalam kondisi basah

Sumber : Eratodi, 2017 (Struktur dan Rekayasa Bambu)

Posisi	Nomor	Kadar air (%) Bambu Basah	Berat Jenis Bambu Basah	Kadar air (%) Bambu Kering Udara	Berat Jenis Bambu Kering Udara
Pangkal	1	38,610	0,634	5,381	0,646
Pangkal	2	34,256	0,680	4,390	0,663
Pangkal	3	35,361	0,603	5,909	0,682
rata-rata		36,076	0,639	5,227	0,664
Tengah	1	41,129	0,695	6,250	0,711
Tengah	2	36,402	0,701	6,926	0,702
Tengah	3	35,965	0,712	6,859	0,769
rata-rata		37,832	0,703	6,678	0,727
Ujung	1	38,699	0,754	6,034	0,763

Ujung	2	36,078	0,712	8,756	0,697
Ujung	3	35,517	0,686	6,818	0,820
rata-rata		36,765	0,717	7,203	0,760

5. Kembang Susut

Menurut penelitian Triwiyono dan Morisco (2000), bambu mengalami penyusutan yang bervariasi tergantung pada arah seratnya. Penyusutan longitudinal bambu relatif kecil, sekitar 0,1–0,2%, sedangkan penyusutan radial dan tangensial lebih besar, masing-masing sekitar 3–10% dan 5–15%. Hasil uji kembang susut bambu petung ditunjukkan pada tabel berikut:

*Tabel -2. Kembang Susut
Sumber : Triwiyono dan Morisco, 2000*

Posisi	Muai rata-rata (%)	Susut rata-rata (%)	Kisaran (%)
Pangkal	1,852	9,261	9,261
Tengah	5,856	9,941	9,941
Ujung	2,935	9,699	9,699

Penyusutan yang tidak terkendali dapat menyebabkan retak atau deformasi yang merugikan dalam aplikasi struktural. Oleh karena itu, pengeringan yang tepat serta perlakuan permukaan seperti perendaman dalam larutan kimia atau pemanasan diperlukan untuk mengurangi dampak kembang susut.



Gambar .6. Kebun Bambu

I.2.5 Sifat Mekanika Bambu Petung

1. Kekuatan Tarik

Bambu petung memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi, mendekati baja dalam beberapa kondisi. Wahyudi (2019) melaporkan bahwa kekuatan tarik bambu petung berkisar antara 100 MPa hingga 250 MPa, tergantung pada usia dan perlakuan pengeringannya. Dengan kekuatan tarik yang tinggi, bambu dapat digunakan sebagai alternatif bahan tulangan dalam konstruksi.

2. Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur adalah kemampuan suatu material untuk menahan tegangan saat mengalami pembebanan yang menyebabkan terjadinya lenturan. Dalam konteks bambu, sifat ini sangat penting karena bambu sering digunakan sebagai elemen struktural yang menerima beban melintang, seperti balok dan rangka atap.

Menurut Frick (2004), bambu memiliki modulus elastisitas yang cukup tinggi, berkisar antara 10 GPa hingga 30 GPa, yang menunjukkan bahwa bambu memiliki fleksibilitas tinggi namun tetap kuat dalam menahan beban tanpa mengalami deformasi yang signifikan. Kekuatan lentur bambu bergantung pada beberapa faktor, termasuk kadar air, kepadatan, serta distribusi serat di dalam batang bambu.

3. Adhesi dengan Beton

Permukaan bambu yang halus dapat menyebabkan kurangnya daya rekat dengan beton, sehingga memerlukan metode peningkatan adhesi. Beberapa teknik seperti pembuatan takikan pada permukaan bambu, perendaman dalam larutan alkali, atau penggunaan bahan perekat tambahan dapat meningkatkan daya rekat dan kompatibilitas bambu dengan beton (Suryono, 2018).

4. Ketahanan Terhadap Beban Tekan dan Geser

Kekuatan tekan adalah kemampuan suatu material untuk menahan gaya tekan sebelum mengalami deformasi atau kegagalan struktural. Dalam konstruksi, bambu sering digunakan sebagai elemen tekan, seperti kolom atau rangka vertikal, sehingga sifat ini sangat penting dalam menentukan daya dukungnya terhadap beban tekan.

Menurut Frick (2004), bambu memiliki kekuatan tekan berkisar antara 40 MPa hingga 80 MPa, tergantung pada spesies, kadar air, dan perlakuan pengeringannya. Kekuatan tekan bambu dipengaruhi oleh susunan serat yang memanjang sejajar dengan sumbu batang, yang memberikan kekuatan lebih tinggi dibandingkan material kayu konvensional.

Beton bertulang adalah salah satu inovasi paling penting dalam konstruksi beton modern. Kombinasi antara beton dan baja bertujuan untuk mengatasi kelemahan beton dalam menahan gaya tarik. Baja

yang ditanamkan di dalam beton (reinforcement) bekerja dengan menahan gaya tarik yang terjadi pada struktur, sedangkan beton berperan dalam menahan gaya tekan. Beton telah menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi konstruksi, termasuk gedung, jembatan, dan infrastruktur lainnya. Penggunaan beton bertulang, yang menggabungkan beton dan baja, memberikan kekuatan tambahan dan memungkinkan desain struktur yang lebih kompleks. Cohen dan Kahn (2019) menunjukkan bahwa kombinasi ini memberikan daya tahan yang lebih baik terhadap beban dinamis, seperti gempa bumi.

Dalam tinjauan pustaka yang dilakukan oleh Neville (2011), disebutkan bahwa beton memiliki kemampuan tahan lama (durability) yang baik, terutama dalam menghadapi lingkungan yang keras seperti kelembaban tinggi, perubahan suhu ekstrem, dan serangan kimia. Namun, retakan mikro yang sering terbentuk pada beton akibat gaya tarik atau lentur yang berlebihan dapat menjadi jalur masuk bagi air dan bahan kimia yang dapat menyebabkan korosi pada tulangan baja di dalamnya, sehingga menurunkan umur struktur. Meskipun beton adalah material yang kuat dan tahan lama, kelemahan seperti kekuatan tarik rendah dan dampak lingkungan menjadi perhatian. Dengan mempertimbangkan potensi bambu sebagai pengganti besi beton dalam struktur kolom, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi solusi alternatif yang lebih berkelanjutan dan efisien dalam konstruksi.

Menurut Surjono dalam Putriarini (2009), sifat mekanik adalah sifat yang berhubungan dengan kekuatan bahan dan merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya luar yang bekerja padanya. Menurut Frick (2004). Sifat mekanika bambu mencakup beberapa aspek utama yang mempengaruhi

1. Kuat Tarik Tinggi – Bambu memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan baja dalam perbandingan berat.
2. Kuat Tekan Baik – Meskipun tidak sekuat tariknya, bambu tetap memiliki ketahanan tekan yang cukup baik, terutama di bagian ruas.
3. Elastisitas Tinggi – Sifat elastisitasnya memungkinkan bambu menyerap energi dengan baik, sehingga sering digunakan dalam konstruksi yang tahan gempa.
4. Ringan – Bobotnya yang ringan memudahkan transportasi dan pemasangan dalam berbagai struktur bangunan.
5. Kuat Lentur – Kombinasi kekuatan tarik dan elastisitas membuat bambu memiliki daya lentur yang sangat baik.
6. Daya Tahan Tergantung pada Perlakuan – Bambu rentan terhadap serangan hama dan pembusukan jika tidak diawetkan dengan baik.
7. Struktur Berongga – Memiliki rongga alami yang membantu mengurangi berat tanpa mengorbankan kekuatan.
8. Pertumbuhan Cepat – Bambu merupakan material berkelanjutan karena pertumbuhannya cepat dan mudah diperbarui.

I.2.6 Balok

Balok merupakan salah satu elemen struktural dalam bangunan yang berfungsi sebagai penopang beban dari lantai, atap, dan elemen lainnya, lalu meneruskannya ke kolom atau struktur penopang lainnya. Secara umum, balok terbuat dari berbagai material seperti beton bertulang, baja, kayu, atau bahan komposit lainnya (Neville & Brooks, 2010).

Menurut SNI 2847:2019 tentang perancangan struktur beton bertulang, balok dalam konstruksi harus dirancang agar mampu menahan beban lentur, geser, dan torsi yang bekerja pada elemen tersebut. Balok juga harus memiliki daya tahan yang cukup terhadap perubahan lingkungan dan gaya dinamis yang mungkin terjadi selama masa pakainya.

I.2.7 Fungsi dan Peranan Balok dalam Struktur Bangunan

Kolom Balok dalam bangunan memiliki beberapa fungsi utama, antara lain:

1. Mendistribusikan Beban – Balok berperan dalam menyalurkan beban dari lantai dan atap ke elemen pendukung lainnya, seperti kolom atau dinding struktural (MacGregor & Wight, 2012).
2. Menjaga Kestabilan Bangunan – Balok membantu menjaga keseimbangan dan kestabilan struktur, terutama dalam menghadapi gaya horizontal seperti angin dan gempa (Paulay & Priestley, 1992).
3. Mengurangi Deformasi Struktur – Dengan adanya balok yang cukup kuat, deformasi atau lendutan pada elemen bangunan dapat dikendalikan sehingga struktur tetap kokoh dalam jangka panjang (Neville & Brooks, 2010).

I.2.8 Jenis Jenis Balok pada Bangunan

Balok dalam bangunan dapat dikategorikan berdasarkan material pembuatannya, bentuknya, serta cara bekerjanya dalam struktur.

1. Berdasarkan Material
 - a. Balok Beton Bertulang – Terbuat dari beton bertulang dengan baja sebagai tulangan untuk meningkatkan kekuatan tarikannya. Jenis ini umum digunakan dalam konstruksi bangunan bertingkat dan infrastruktur seperti jembatan (SNI 2847:2019).
 - b. Balok Baja – Terbuat dari profil baja yang kuat dan tahan terhadap beban tinggi, sering digunakan dalam bangunan industri dan gedung pencakar langit (MacGregor & Wight, 2012).
 - c. Balok Kayu – Biasanya digunakan dalam konstruksi rumah tinggal atau bangunan ringan yang tidak menanggung beban terlalu besar (Janssen, 2000).
 - d. Balok Komposit – Menggunakan kombinasi dua atau lebih material, seperti beton dan baja, untuk meningkatkan efisiensi struktural

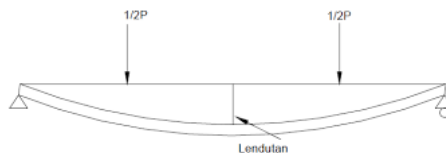
dan mengurangi bobot material (Paulay & Priestley, 1992).

2. Berdasarkan Bentuk dan Posisi

- a. Balok Induk (Main Beam) – Balok utama yang langsung menerima beban dari lantai atau atap dan meneruskannya ke kolom (Neville & Brooks, 2010).
- b. Balok Anak (Secondary Beam) – Balok yang berfungsi membantu balok induk dalam mendistribusikan beban ke kolom atau dinding penopang (SNI 2847:2019).
- c. Balok Kantilever – Balok yang menonjol keluar dari tumpuan tanpa memiliki penyangga di salah satu ujungnya, sering digunakan pada balkon atau atap bangunan (MacGregor & Wight, 2012).

I.2.9 Karakteristik Mekanik Balok dalam Struktur Bangunan

Adanya kekuatan lentur, balok dirancang untuk menahan beban lentur yang diakibatkan oleh beban mati dan beban hidup. Kapasitas lentur balok tergantung pada material pembuatnya, dimensi penampang, serta jenis tulangan yang digunakan (Neville & Brooks, 2010).



Gambar .7. Lendutan balok

Sumber : Perpustakaan UNS. (2020). *Studi Eksperimental Penggunaan Unsaturated Polyester Resin (UPR) pada Mortar untuk Perbaikan (Patch Repair) Kerusakan Beton.*

Adanya kekuatan geser, balok juga harus mampu menahan gaya geser yang bekerja pada strukturnya. Gaya geser ini dapat menyebabkan retakan diagonal yang jika tidak dikendalikan dapat menyebabkan kegagalan struktur (MacGregor & Wight, 2012).

Dan daya tahan terhadap torsi, dalam beberapa kasus, balok juga mengalami gaya torsi, terutama pada struktur dengan bentuk tidak simetris atau memiliki beban eksentris. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan tulangan geser dan torsi yang memadai untuk menjaga kekuatan struktur (Paulay & Priestley, 1992).

I.2.10 Beton

1. Karakteristik Beton

Beton memiliki karakteristik yang berbeda tergantung pada komposisi dan proporsi campurannya. Menurut Neville (2011), karakteristik utama beton meliputi:

- a. Kekuatan tekan tinggi (20-60 MPa untuk beton normal)
- b. Kekuatan tarik rendah (sekitar 10% dari kekuatan tekan)

- c. Bersifat getas (brittle) dan memiliki daktilitas rendah
- d. Memiliki durabilitas yang baik terhadap lingkungan
- e. Tahan terhadap api
- f. Dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan

Untuk aplikasi struktural, beton biasanya diperkuat dengan tulangan (reinforcement) untuk mengatasi kelemahan beton dalam menahan gaya tarik. Kombinasi antara beton dan tulangan menghasilkan material konstruksi yang disebut beton bertulang (reinforced concrete) yang memiliki kekuatan tekan dan tarik yang baik (Dipohusodo, 2012).

2. Bahan Penyusun Beton

Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya. Pemilihan bahan yang tepat akan menghasilkan beton dengan kualitas yang baik. Berikut ini adalah penjelasan mengenai bahan-bahan penyusun beton:

3. Semen

Semen merupakan bahan perekat hidrolis yang dapat mengeras ketika bereaksi dengan air dan membentuk massa yang kuat dan keras. Semen portland adalah jenis semen yang paling umum digunakan dalam konstruksi beton (Mehta & Monteiro, 2006).

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland, yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, dan bahan tambahan berupa gipsum (Badan Standardisasi Nasional, 2004). Semen portland terdiri dari beberapa jenis yang disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan, antara lain:

- a. Semen Portland Tipe I: Semen untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus
- b. Semen Portland Tipe II: Semen dengan ketahanan terhadap sulfat sedang
- c. Semen Portland Tipe III: Semen dengan kekuatan awal tinggi
- d. Semen Portland Tipe IV: Semen dengan panas hidrasi rendah
- e. Semen Portland Tipe V: Semen dengan ketahanan tinggi terhadap sulfat

Pemilihan jenis semen yang tepat akan mempengaruhi kekuatan, durabilitas, dan karakteristik beton lainnya (Neville, 2011).

4. Agregat

Agregat merupakan material granular, seperti pasir, kerikil, atau batu pecah yang digunakan dengan media pengikat (semen) untuk membentuk beton (Mehta & Monteiro, 2006). Agregat menempati

sekitar 60-75% dari volume total beton dan mempengaruhi sifat-sifat beton seperti kekuatan, durabilitas, workability, dan ekonomis (Neville, 2011).

Agregat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama berdasarkan ukurannya:

a. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butiran kurang dari 4,75 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus harus memenuhi persyaratan gradasi dan tidak mengandung bahan organik berlebihan yang dapat menurunkan kualitas beton.

Pasir yang digunakan sebagai agregat halus harus bersih, keras, dan bebas dari lumpur, tanah liat, dan bahan organik lainnya. Kualitas pasir mempengaruhi workability, kekuatan, dan durabilitas beton (Mehta & Monteiro, 2006).

b. Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butiran lebih dari 4,75 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Agregat kasar harus bersih, keras, dan tahan lama serta memenuhi persyaratan gradasi yang ditetapkan dalam SNI 03-2461-2002.

Agregat kasar berperan penting dalam menentukan kekuatan, stabilitas dimensi, dan ekonomis beton. Kualitas dan ukuran maksimum agregat kasar harus disesuaikan dengan tipe struktur dan jarak antar tulangan (Neville, 2011).

5. Air

Air merupakan komponen penting dalam campuran beton yang berperan dalam reaksi hidrasi semen dan mempengaruhi workability beton segar (Mehta & Monteiro, 2006). Air yang digunakan dalam campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang dapat merusak beton atau tulangan.

Menurut SNI 03-2847-2019, air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a. Tidak mengandung minyak, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan lain yang dapat merusak beton atau tulangan

b. Air yang diragukan kualitasnya harus diuji sesuai dengan standar yang berlaku

c. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan dalam beton kecuali telah diuji dan memenuhi persyaratan

Rasio air-semen (water-cement ratio) merupakan faktor penting yang mempengaruhi kekuatan dan durabilitas beton. Rasio air-semen yang rendah akan menghasilkan beton dengan kekuatan dan durabilitas yang tinggi, tetapi workability yang rendah (Neville, 2011).

6. Zat Aditif

- a. Tipe A: Water-reducing admixtures
Berfungsi mengurangi jumlah air yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.
- b. Tipe B: Retarding admixtures
Berfungsi memperlambat waktu pengikatan (setting time) beton.
- c. Tipe C: Accelerating admixtures
Berfungsi mempercepat waktu pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.
- d. Tipe D: Water-reducing and retarding admixtures
Berfungsi mengurangi jumlah air dan memperlambat waktu pengikatan beton.
- e. Tipe E: Water-reducing and accelerating admixtures
Berfungsi mengurangi jumlah air dan mempercepat waktu pengikatan beton.
- f. Tipe F: High-range water-reducing admixtures (superplasticizer)
Berfungsi mengurangi jumlah air secara signifikan (minimal 12%) untuk menghasilkan beton dengan workability tinggi.
- g. Tipe G: High-range water-reducing and retarding admixtures
Berfungsi mengurangi jumlah air secara signifikan dan memperlambat waktu pengikatan beton.
Selain itu, terdapat juga bahan tambah (additives) seperti pozolan (fly ash, silica fume), serat (fiber), dan bahan pengembang (expansive agent) yang dapat ditambahkan ke dalam campuran beton untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu (Neville, 2011).

I.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh bambu sebagai tulangan terhadap kuat lentur pada balok?
2. Bagaimana pola retak yang ditimbulkan oleh beban yang diberikan pada balok bertulang bambu?

I.4 Batasan Masalah

Agar memperoleh hasil penelitian yang diinginkan maka diperlukan batasan-batasan masalah. Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jenis Material pada penelitian ini terbatas pada penggunaan bambu jenis *Dendrocalamus asper* (bambu petung) sebagai material pengganti tulangan, tidak membahas jenis bambu lain maupun campuran alternatif lainnya.
2. Skala Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium menggunakan spesimen balok dengan dimensi panjang 40 cm, lebar dan tinggi 10 cm.
3. Jenis pengujian hanya difokuskan pada uji kuat lentur menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan analisis pola retak

4. Umur dan Kondisi Bambu petung yang digunakan terbatas pada bambu dengan umur 3-4 tahun dalam kondisi segar atau telah melalui proses pengawetan standar.
5. Jenis Beton pada penelitian menggunakan beton normal dengan kuat tekan rencana standar ($f_c' = 20 \text{ MPa}$).

I.5 Tujuan

1. Pengaruh penggunaan bambu sebagai tulangan terhadap kuat lentur suatu balok beton.
2. Menganalisis pola retak yang menggunakan tulangan bambu balok beton.

I.6 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis
 - a. Pengembangan Ilmu Pengetahuan: Memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang material struktur bangunan, khususnya bahan alternatif pengganti tulangan baja konvensional.
 - b. Referensi Keilmuan: Menyediakan data empiris mengenai karakteristik mekanis bambu petung sebagai tulangan pada balok beton yang dapat menjadi acuan untuk penelitian sejenis di masa mendatang.
 - c. Pengembangan Model Analitis: Menyempurnakan model analitis untuk memprediksi perilaku struktur beton bertulang bambu yang mempertimbangkan karakteristik unik bambu sebagai material alami.
2. Manfaat Praktis
 - a. Alternatif Material Lokal: Menghadirkan alternatif penggunaan material lokal yang tersedia melimpah di Indonesia sebagai pengganti baja tulangan yang umumnya masih diimpor.
 - b. Pengurangan Biaya Konstruksi: Berpotensi menurunkan biaya konstruksi melalui pemanfaatan bambu petung yang lebih ekonomis dibandingkan dengan tulangan baja, terutama untuk bangunan sederhana di daerah pedesaan.
 - c. Solusi Konstruksi Daerah Terpencil: Menyediakan solusi teknologi tepat guna bagi daerah terpencil yang memiliki keterbatasan akses terhadap material konstruksi konvensional seperti baja tulangan.
3. Manfaat Lingkungan
 - a. Reduksi Emisi Karbon: Menurunkan jejak karbon dalam industri konstruksi melalui penggunaan bambu yang memiliki kemampuan menyerap CO_2 selama pertumbuhannya dan memerlukan energi pemrosesan yang jauh lebih rendah dibandingkan produksi baja.
 - b. Pengelolaan Sumber Daya Berkelanjutan: Mendorong budidaya bambu sebagai sumber daya terbarukan yang dapat dipanen dalam waktu relatif singkat (3-5 tahun) dibandingkan kayu konvensional.

- c. Pengurangan Eksploitasi Sumber Daya Tidak Terbarukan: Mengurangi ketergantungan pada bijih besi sebagai bahan baku baja tulangan yang merupakan sumber daya tidak terbarukan.

I.7 Penelitian Terkait

Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
REZA FAHLEVI	2018	PENGARUH VARIASI RASIO TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BERTULANGAN BAMBU PILIN	Penelitian ini membahas pengaruh variasi rasio tulangan terhadap kuat lentur balok beton bertulangan bambu pilin. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, ditemukan bahwa peningkatan rasio tulangan bambu pilin pada balok beton memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat lentur balok. Balok dengan rasio tulangan bambu yang lebih tinggi menunjukkan nilai kuat lentur yang lebih besar dibandingkan balok dengan rasio tulangan lebih rendah. Selain itu, pola retak yang terjadi pada balok bertulangan bambu pilin umumnya menunjukkan karakteristik retak lentur yang mirip dengan balok beton bertulangan baja, meskipun kapasitas maksimumnya masih lebih rendah. Penelitian ini menyimpulkan bahwa bambu pilin dapat menjadi alternatif material tulangan ramah lingkungan untuk balok beton, khususnya pada struktur bangunan sederhana, dengan kinerja yang cukup baik dalam menahan beban lentur jika rasio tulangannya dioptimalkan
Suci Indah Suryani, Agus Setiya Budi, Sunarmasto	2016	KUAT LENTUR BALOK BETON TULANGAN BAMBU PETUNG	Penelitian ini membandingkan kuat lentur balok beton bertulangan bambu petung vertikal ukuran 10x5 mm dengan balok beton bertulangan

		VERTIKAL.	baja D 7,45 mm. Hasil utama yang diperoleh adalah: • Nilai kuat lentur rata-rata balok beton bertulangan bambu petung vertikal ukuran 10x5 mm adalah 3,98 N/mm². • Nilai kuat lentur rata-rata balok beton bertulangan baja D 7,45 mm adalah 12,3693 N/mm². • Kuat lentur balok bertulangan bambu setara dengan 32,18% dari balok bertulangan baja. • Nilai beban maksimum yang mampu ditahan balok bambu adalah 6,58 kN, sedangkan balok baja adalah 22,83 kN.
HUDZAIFATUR ROHMATUN NISAK	2020	PENGARUH ULIR PADA BALOK BETON BERTULANG DENGAN TULANGAN BAMBU PETUNG	Dapat disimpulkan bahwa pemberian ulir pada tulangan bambu petung, khususnya dengan jarak ulir 5 mm, meningkatkan kuat lentur balok beton secara signifikan dibandingkan bambu polos. Namun, peningkatan jarak ulir menjadi 10 mm menurunkan kembali kuat lentur, meskipun masih lebih baik dari bambu polos[xvi].
WIYANDA ADI NUGRAHA	2024	ANALISIS KUAT TARIK LENTUR AKIBAT PENAMBAHAN BAMBU SEBAGAI TULANGAN PADA BETON LENTUR BALOK BERTULANGAN BAMBU PILIN	Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa beton dengan tulangan besi memiliki kuat tarik lentur yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan beton bertulangan bambu petung. Dengan demikian, secara efektivitas, tulangan besi masih menjadi pilihan yang lebih baik untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan lentur tinggi. Namun, bambu tetap memiliki potensi sebagai alternatif tulangan, terutama karena keunggulannya yang mudah didapat, terjangkau, dan ramah lingkungan
SHEKA	2024	ANALISIS	Dapat disimpulkan bahwa beton

WIJAYA		PERBANDINGAN TULANGAN BESI DENGAN TULANGAN BAMBU DI DALAM BALOK SLOOF SEBAGAI PENAHAN KUAT TARIK LENTUR PADA BALOK SLOOF LENTUR BALOK BERTULANGAN BAMBU PILIN	bertulangan besi memiliki kuat tarik lentur paling tinggi dan paling efektif sebagai penahan beban lentur pada balok sloof, diikuti oleh kombinasi besi-bambu, sementara bambu murni masih jauh di bawah besi dalam hal performa kuat tarik lentur.
--------	--	--	---

Tabel -3. Peneliti, tahun, judul penelitian, dan hasil penelitian

BAB II

METODE PENELITIAN

II.1 Kajian Teori

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif untuk menguji kemampuan bambu petung sebagai material tambah pada balok. Metode eksperimental dipilih karena memungkinkan pengujian secara langsung terhadap spesimen balok dengan tulangan bambu yang kemudian dapat dibandingkan dengan balok konvensional. Data yang diperoleh dari hasil pengujian akan dianalisis secara statistik untuk mengetahui kelayakan bambu petung sebagai bahan tambah penguat pada balok konvensional.

Penelitian eksperimental ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang sistematis :

1. Persiapan bambu petung
2. Perancangan dan pembuatan spesimen balok beton bertulang pada bambu petung
3. Pengujian kuat lentur spesimen balok
4. Analisis data hasil pengujian
5. Penarikan kesimpulan

II.2 Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini adalah balok beton yang menggunakan bambu petung (*Dendrocalamus asper*) sebagai material pengganti tulangan baja. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan, Konstruksi dan Struktur Bangunan Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Jalan Poros Malino KM. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 60 harian atau 2 bulanan

II.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini meneliti kuat lentur balok konvensional yang telah ditambahkan bambu sebagai tulangan.

Tabel -4. Variabel Terikat, variabel bebas, variabel kontrol

Variabel Terikat	• Pengaruh lentur (hasil uji lentur beton bertulang bambu) • Jenis pola retak yang dihasilkan
Variabel Bebas	• Jumlah batang tulangan bambu • Perbandingan bagian bambu (kulit, daging) • Pemberian alur/guratan pada bambu • Bentuk penampang bambu (silinder/kotak), jika diuji sebagai faktor eksperimen
Variabel Kontrol	• Mutu beton yang digunakan ($f_c' = 20$ Mpa atau K250) • Dimensi balok (10cm x 10cm x 40cm) • Umur beton saat pengujian 28 hari • Balok beton bertulang memakai besi 10 full

Bambu petung (*dendrocalamus asper*), merupakan salah satu jenis bambu

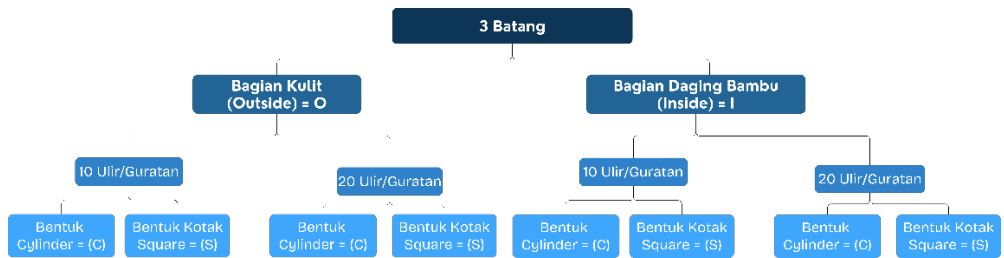
terbesar yang banyak ditemui di Indonesia memiliki potensi besar. Bambu petung banyak ditemukan di daerah Jenepono, termasuk di Kecamatan Rumbia tepatnya di Desa Tompobulu. Karakteristik fisik dari bambu petung yaitu batang yang diameter besar mencapai 15 hingga 20 cm serta memiliki ketebalan dinding bambu yang lumayan tebal, sehingga bambu petung memiliki kekuatan struktural yang lebih baik dibandingkan jenis bambu lainnya (Kushartomo et al., 2018).

Keunggulan lain dari bambu petung adalah bobotnya yang ringan dan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hossain & Islam pada 2020 mengatakan kekuatan tarik bambu petung berkisar antara 160 hingga 230 MPa. Adapun kelemahan dari penggunaan bambu seperti rentan terhadap serangga dan jamur, rentan terhadap kelembapan dan pembusukan. Sehingga diperlukan perlakuan khusus sebelum digunakan.

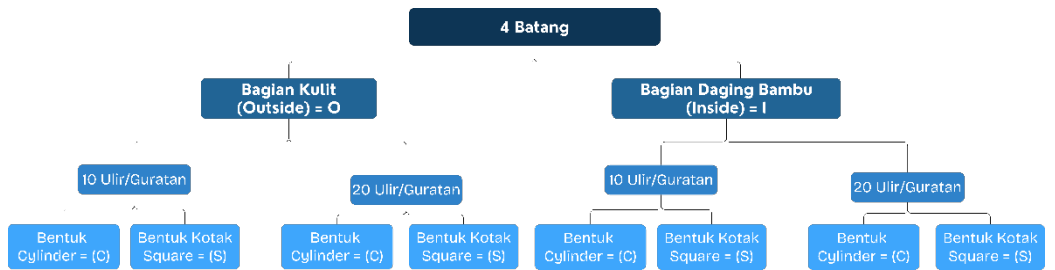
Bambu yang digunakan adalah batang dengan usia tebang kurang lebih 3 tahun. Pemilihan usia ini didasarkan pada fakta bahwa sifat mekanik bambu, seperti kuat tarik dan kekerasan, mencapai kondisi optimal pada usia kematangan 3 hingga 5 tahun seiring dengan selesainya proses lignifikasi serat (Liese, 1985; Widjaja et al., 2009). Jika bambu yang digunakan berusia di bawah tiga tahun, seratnya cenderung masih lunak dengan kadar air tinggi, sedangkan bambu yang terlalu tua seringkali mengalami penurunan kualitas serat menjadi lebih getas.

Selain keunggulan mekanik, aspek stabilitas dimensi dan durabilitas juga menjadi alasan utama mengapa usia tiga tahun dianggap sebagai titik paling optimal. Bambu pada usia ini memiliki dinding sel yang tebal dan kadar air yang jauh lebih stabil (sekitar 15-20% setelah kering udara) dibandingkan bambu muda. Kestabilan ini sangat vital untuk meminimalkan sifat higroskopis bambu, yaitu kembang-susut akibat perubahan kadar air, yang sering menjadi penyebab utama lepasnya ikatan (debonding) antara permukaan bambu dan beton. Dari sisi durabilitas, kandungan pati atau zat gula di dalam batang bambu menurun signifikan seiring bertambahnya usia. Pada bambu usia tiga tahun, kadar pati ini sudah jauh lebih rendah dibandingkan bambu muda, sehingga secara alami meningkatkan resistensi material terhadap serangan hama biologis seperti kumbang bubuk saat tertanam di dalam beton.

Validitas penggunaan bambu petung usia tiga tahun ini didukung oleh berbagai literatur terkemuka di bidang rekayasa material alam. Morisco (1999) dalam bukunya *Rekayasa Bambu*, menegaskan bahwa bambu untuk kebutuhan struktural bangunan haruslah yang telah tua dengan ciri fisik tertentu dan usia minimal tiga tahun demi mencapai modulus elastisitas dan kuat tarik maksimal. Pernyataan ini diperkuat oleh Ghavami (2005) dalam jurnal *Cement and Concrete Composites*, yang menyimpulkan bahwa pemanenan pada usia minimal tiga tahun adalah syarat mutlak untuk meminimalkan penyusutan volume dan memaksimalkan rasio kekuatan terhadap berat. Lebih spesifik lagi, Haryanto, dkk. (2022) dalam buku *Struktur Beton Bertulang Bambu* serta penelitian Irawati & Saputra (2012) memvalidasi bahwa bambu petung pada rentang usia 3-5 tahun memiliki densitas terbaik untuk dijadikan komponen struktural balok, asalkan proses pengeringan dan pemilihan bahannya dilakukan dengan prosedur yang benar.

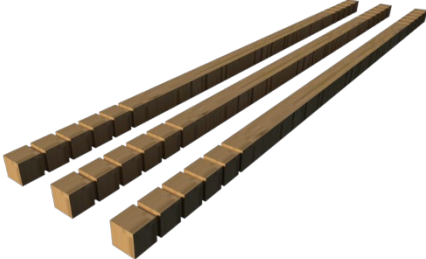
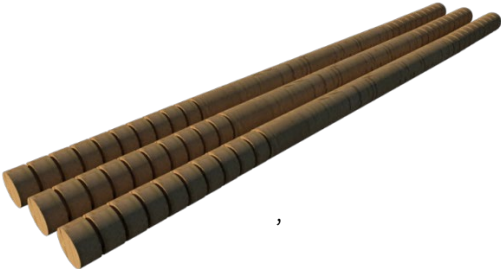


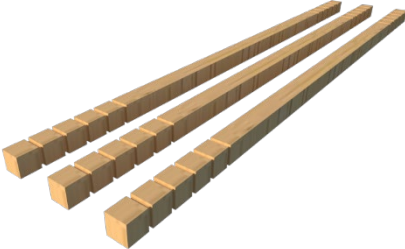
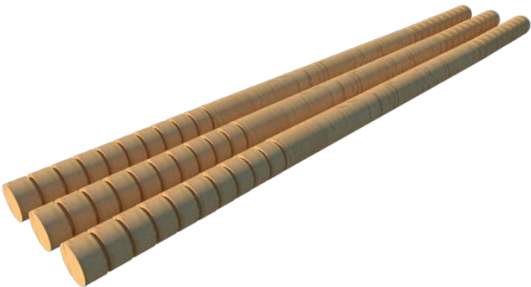
Gambar .8. Gambar Perumusan Variabel 3 Batang



Gambar .9. Gambar Perumusan Variabel 4 Batang

Gambar .10. Penamaan dan Sketsa Variabel 3 Batang

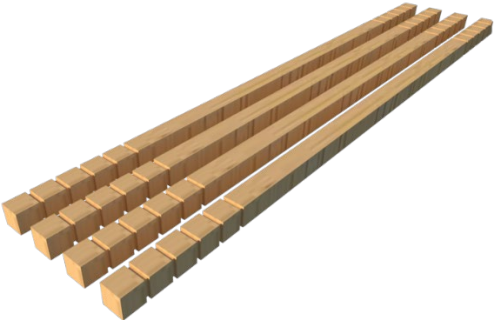
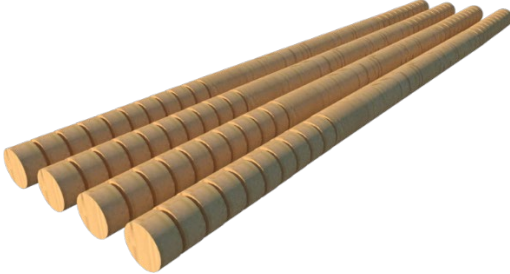
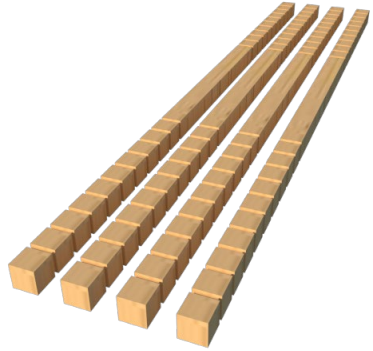
BT-S3-100-01 BT-S3-100-02 BT-S3-100-03 (Kotak, 10 ulir, bagian kulit)	
BT-S3-100-01 BT-S3-100-02 BT-S3-100-03 (Silinder, 10 ulir, bagian kulit)	
BT-S3-200-01 BT-S3-200-02 BT-S3-200-03 (Kotak, 20 ulir, bagian kulit)	
BT-C3-10I-01 BT-C3-10I-02 BT-C3-10I-03 (Silinder, 10 ulir, bagian dalam)	

BT-S3-10I-01 BT-S3-10I-02 BT-S3-10I-03 (Kotak, 10 ulir, bagian dalam)	
BT-C3-20I-01 BT-C3-20I-02 BT-C3-20I-03 (Silinder, 20 ulir, bagian dalam)	
BT-S3-20I-01 BT-S3-20I-02 BT-S3-20I-03 (Kotak, 20 ulir, bagian dalam)	

Gambar .11. Penamaan dan Sketsa Variabel 3 Batang

BT-S4-100-01 BT-S4-100-02 BT-S4-100-03 (Silinder, 10 ulir, bagian kulit)	
--	--

BT-S4-10O-01 BT-S4-10O-02 BT-S4-10O-03 (Silinder, 10 ulir, bagian kulit)	
BT-S4-20O-01 BT-S4-20O-02 BT-S4-20O-03 (Kotak, 20 ulir, bagian kulit)	
BT-C4-10I-01 BT-C4-10I-02 BT-C4-10I-03 (Silinder, 10 ulir, bagian dalam)	

BT-S4-10I-01 BT-S4-10I-02 BT-S4-10I-03 (Kotak, 10 ulir, bagian dalam)	
BT-C4-20I-01 BT-C4-20I-02 BT-C4-20I-03 (Silinder, 20 ulir, bagian dalam)	
BT-S4-20I-01 BT-S4-20I-02 BT-S4-20I-03 (Kotak, 20 ulir, bagian dalam)	

II.4 Bahan dan Alat Penelitian

Ada beberapa bahan dan alat yang akan digunakan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut.

II.4.2 Bahan Penelitian

Bahan bahan yang akan digunakan pada proses penelitian ini yang terdiri dari:

- a. Semen Portland
- b. Agregat halus (pasir)
- c. Agregat Kasar (kerikil)
- d. Air
- e. Bambu petung
- f. Bahan pengawet bambu
- g. Kawat besi untuk begel pengikat tulangan
- h. Cat vernis untuk digunakan dalam melapisi bambu agar kedap terhadap air

II.4.3 Peralatan Penelitian

Pada proses penelitian ini menggunakan beberapa alat alat yang sudah tersedia di Laboratorium Bahan, Struktur, dan Konstruksi Bangun Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

- a. Timbangan
Timbangan difungsikan untuk menentukan berat benda uji yang akan digunakan selama proses penelitian.
- b. Saringan atau ayakan
Penggunaan saringan atau ayakan berfungsi sebagai mengukur gradasi agregat sehingga dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat yang bertujuan untuk memastikan kepadatan maksimal dan penggunaan bahan perekat yang optimal.
- c. Concrete mixer
Concrete Mixer atau yang biasa disebut molen pengaduk semen ini difungsikan untuk mengaduk bahan campuran beton.
- d. Oven
Oven berfungsi untuk mengeringkan bahan bahan penelitian seperti agregat kasar, agregat halus, dan tulangan bambu.
- e. Mesin penggetar ayakan (shieve shaker)
Mesin penggetar Ayakan difungsikan sebagai dudukan sekaligus penggetar ayakan untuk memudahkan proses pengerjaan dibandingkan penggetaran secara manual. Penggunaan mesin penggetar ayakan ini digunakan untuk pengujian agregat kasar dan agregat halus.
- f. Kerucut abrams

Fungsi Kerucut Abrams ialah untuk mengukur workability adukan dengan percobaan Slump Tes.

g. Tumpuan baja

Penggunaan tumpuan baja digunakan sebagai tumpuan pada saat pengujian kuat lentur beton bertulang tulangan bambu.

h. Alat uji kuat tekan beton (Universal Testing Machine)

Alat ini digunakan sebagai menguji kuat lentur beton yang digunakan untuk menguji kekuatan sesuatu material pada saat mengalami tekanan kuat.

i. Cetakan benda uji

j. Alat bantu

Pada proses pengerjaan penelitian ini menggunakan beberapa alat bantu seperti ; Sekop, dan sendok semen; Ember sebagai wadah untuk material; Gayung untuk menimba air; Pisau/parang untuk memotong bambu; Bak perendaman; Tang untuk memotong kawat; Penggaris dan meteran; Perojok besi yang berguna untuk memadatkan agregat pada pengujian slump



Gambar .12. Alat-alat ; concrete mixer, timbangan, tumpuan baja, kerucut abrams, oven



Gambar .13. Bahan-bahan ; semen, pasir, kerikil

II.5 Tahap Pelaksanaan

II.5.1 Tahap Penentuan Metode dan Studi Literatur

Penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian mendalam terhadap literatur yang berkaitan dengan pemanfaatan bambu sebagai material konstruksi. Pada tahap ini, peneliti akan mengumpulkan dan menganalisis berbagai sumber referensi ilmiah yang membahas tentang sifat-sifat mekanik bambu petung, termasuk kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan modulus elastisitasnya. Selain itu, akan dipelajari pula standar-standar konstruksi yang berlaku untuk balok beton bertulang baik yang bersifat nasional maupun internasional.

Studi literatur juga akan mencakup penelitian-penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya untuk memahami berbagai pendekatan metodologi yang telah digunakan serta hasil-hasil yang telah dicapai. Melalui analisis ini, peneliti akan dapat mengidentifikasi celah atau gap penelitian yang belum terisi, sehingga dapat menentukan kontribusi unik yang akan diberikan oleh penelitian ini terhadap perkembangan ilmu pengetahuan di bidang material konstruksi berkelanjutan.

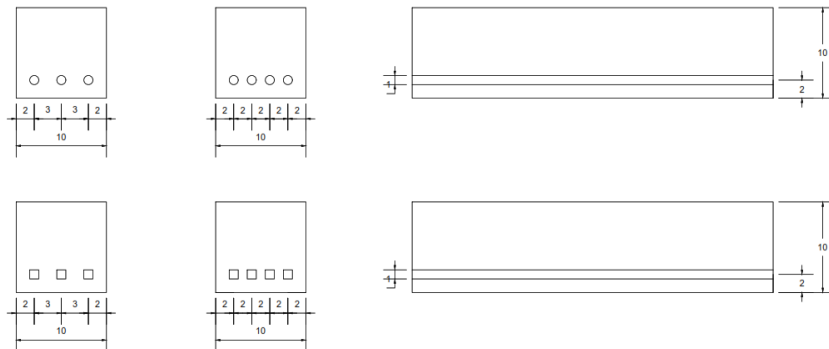
Pembuatan beton ini menggunakan metode dry curing pada tahap perawatannya dikarenakan kondisi fisik bambu memiliki kadar air yang tinggi, terutama ketika bambu ketika baru ditebang. Melalui proses dry curing kadar air pada bambu dapat berkurang, sehingga bambu menjadi lebih keras dan kaku agar lebih mampu menahan beban. Metode dry curing juga dapat mencegah serangan hama dan rayap, dikarenakan terjadi nya pengurangan kelembapan dan kadar air pada bambu yang dapat juga mencegah terjadinya pembusukan pada bambu. Diharapkan dengan menggunakan metode perawatan dry curing ini diharapkan agar penggunaan bambu pada tulangan beton lebih kuat, stabil, dan lebih tahan lama.

II.5.2 Tahap Persiapan Material dan Spesimen Balok

- 1) Tahap persiapan material merupakan fase kritis yang menentukan kualitas dan validitas hasil penelitian. Proses ini dimulai dengan pemilihan bambu petung yang memenuhi kriteria spesifik penelitian. Bambu yang dipilih harus memiliki umur yang optimal, biasanya antara 3-4 tahun, dengan diameter yang seragam dan kondisi fisik yang baik tanpa cacat atau kerusakan. Kriteria pemilihan ini penting untuk memastikan konsistensi kualitas material yang akan diuji.
- 2) Setelah pemilihan, bambu petung akan melalui proses pengawetan untuk meningkatkan durabilitas dan ketahanannya terhadap serangan biologis seperti rayap atau jamur. Proses pengawetan dapat dilakukan dengan metode perendaman dalam larutan pengawet atau dengan teknik injeksi tekanan. Bersamaan dengan persiapan bambu, akan dilakukan pula persiapan material beton yang terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan proporsi yang telah ditentukan berdasarkan mix design yang sesuai dengan standar. Pembuatan spesimen balok akan dilakukan dengan berbagai variasi untuk memungkinkan perbandingan yang komprehensif. Spesimen kontrol akan dibuat berdasarkan mutu beton, dimensi balok, umur beton dan umur balok, spesimen

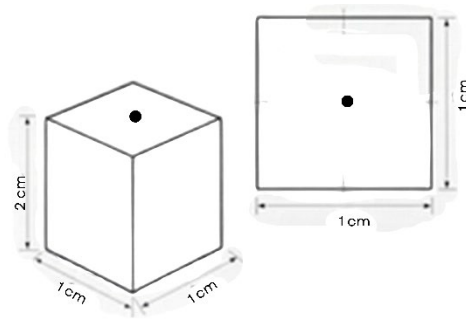
eksperimental akan dibuat dengan menggunakan tulangan bambu petung dengan berbagai konfigurasi, seperti variasi jumlah tulangan, bagian bambu, uliran bambu, dan bentuk penampang atau tulangan bambu. Mix design dirancang proporsi campuran beton dengan metode SNI untuk mencapai kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Untuk memverifikasi mutu beton yang dihasilkan, dibuat benda uji balok beton berukuran lebar, tinggi 10x10 cm dan panjang 40 cm yang akan diuji kuat tekannya pada umur 28 hari.

- 3) Perancangan balok uji dilakukan berdasarkan teori balok beton bertulang dengan memperhitungkan kebutuhan tulangan bambu sebagai pengganti tulangan baja. Perhitungan meliputi penentuan jumlah dan jarak tulangan yang dibutuhkan untuk mencapai kapasitas lentur yang diinginkan. Detail penulangan pada balok digambarkan secara lengkap sebagai acuan dalam perakitan rangkaian tulangan. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi diameter tulangan bambu (10 mm)



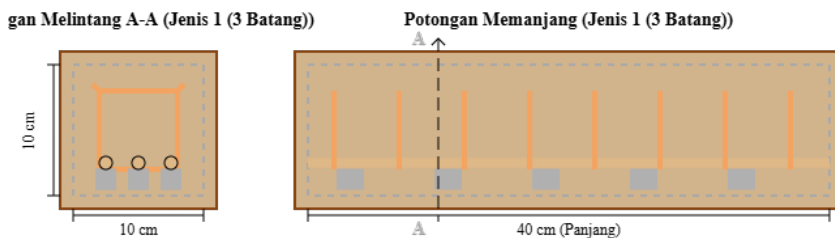
Gambar .14. Rencana model pembesian

- 4) Pembuatan spesimen balok diawali dengan persiapan bekisting berukuran 10 cm × 10 cm × 40 cm yang terbuat dari besi. Rangkaian tulangan bambu dirakit sesuai dengan desain yang telah ditentukan dan ditempatkan ke dalam bekisting dengan menggunakan beton decking untuk menjaga selimut beton. Campuran beton dibuat menggunakan concrete mixer dengan komposisi sesuai hasil perancangan mix design. Pengecoran beton dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari pergeseran tulangan dan dilanjutkan dengan pemadatan menggunakan vibrator beton untuk menghilangkan gelembung udara. Setelah pengecoran, balok dirawat (curing) dengan cara disiram air atau ditutup dengan karung basah selama 28 hari untuk mencapai kekuatan optimal.

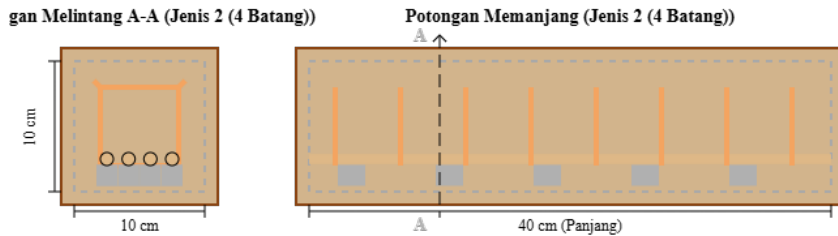


Gambar .15. Tahu beton

- 5) Setelah semua persiapan selesai, campurkan semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air dengan perbandingan 1:2:3. Dengan mixer hingga merata, tuangkan campuran beton tersebut ke dalam cetakan yang telah di buat sebelumnya. Karena terbuat dari campuran semen, air dan agregat, adonan beton harus segera dipindahkan ke dalam cetakan sebelum mengeras dan tidak bisa dicetak sesuai dengan kebutuhan. Cara menuangkan juga bermacam-macam tergantung alat cetak yang digunakan. Ada yang dituang biasa ada juga yang menggunakan pompa.
- 6) Proses pemadatan adonan beton di dalam cetakan ini juga bermacam-macam, tergantung pada cetakan yang digunakan. Mengapa adonan beton yang sudah dituang ke dalam cetakan perlu dipadatkan? Tujuannya adalah untuk membuat adonan beton benar-benar padat dan menghindari terbentuknya rongga udara yang bisa membuat kualitas beton menurun nantinya.



Gambar .16. Rencana balok 3 tulangan dengan tahu beton



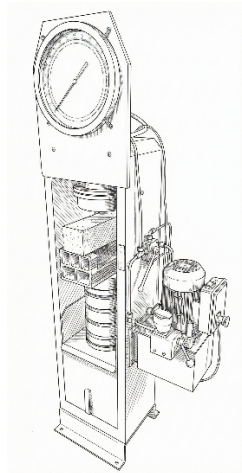
Gambar .17. Rencana balok 4 tulangan dengan tahu beton

- 7) Adonan beton yang sudah masuk cetakan perlu diratakan permukaannya. Alasannya, dengan permukaan yang rata, proses pengeringan jadi lebih merata dan tidak membutuhkan waktu yang lama. Bahkan ada yang bilang bahwa proses pengeringan ini akan berjalan 75% lebih cepat jika permukaannya sudah rata sepenuhnya. Mengenai alat yang digunakan untuk meratakan jelas berbeda tergantung pada cetakan beton masing-masing.



Gambar .18. Cetakan balok

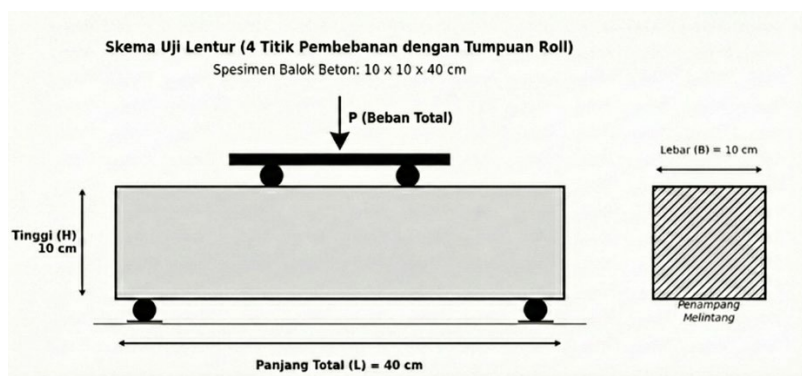
- 8) Terdapat 16 jenis spesimen yang masing-masing terdiri dari 5 unit, sehingga total keseluruhan berjumlah 64 spesimen. Setiap spesimen memiliki dimensi $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ dengan volume sebesar 400 cm^3 atau setara dengan 0,4 liter. Jika dikalkulasi secara keseluruhan, maka volume total dari 64 spesimen tersebut mencapai 256.000 cm^3 , yang setara dengan 256 liter atau 0,256 meter kubik.



Gambar .19. Simulasi proses pengetesan

II.5.3 Proses Pelaksanaan Pengetesan

Pengujian struktural balok merupakan inti dari penelitian ini yang akan memberikan data empiris tentang kinerja balok bertulang bambu petung. Pengujian utama yang akan dilakukan adalah uji lentur (flexural test) menggunakan sistem pembebanan titik (point loading) yang mengikuti standar pengujian yang berlaku. Dalam pengujian ini, balok akan diletakkan pada dua titik tumpuan sederhana dan diberi beban terpusat di tengah bentang atau pada dua titik sesuai dengan konfigurasi pengujian yang dipilih



Gambar .20. Benda Uji Di Tekan Dengan 2 Titik Pembebanan.

Selain itu, akan diamati dan didokumentasikan pola retak yang terjadi pada balok, mulai dari retak awal hingga kegagalan akhir, untuk memahami mekanisme keruntuhan yang terjadi.

Setelah masa perawatan selesai, balok diuji menggunakan UTM dengan konfigurasi pembebanan empat titik (four-point loading). Jarak antar tumpuan ditetapkan sepanjang 30 cm, sementara dua beban diterapkan secara simetris masing-masing 10 cm dari tengah bentang. Hal ini bertujuan menciptakan momen lentur maksimum pada bagian tengah balok, yang merupakan titik kritis dalam pengujian lentur. Spesimen diletakkan secara horizontal di atas mesin uji dan posisi pembebanan diatur agar simetris. Permukaan tumpuan dan beban dilapisi bahan lunak seperti karet atau neoprene untuk meminimalkan tegangan konsentrasi yang dapat menyebabkan kegagalan lokal. Beban kemudian diberikan secara bertahap dan terus-menerus melalui sistem hidrolik pada UTM hingga balok mengalami keruntuhan. Selama proses pengujian, UTM secara otomatis mencatat data berupa beban maksimum, lendutan, serta waktu kegagalan.



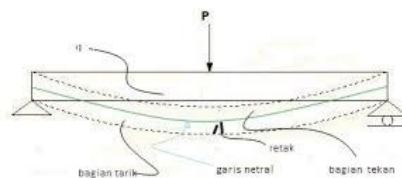
Gambar .21. Gambaran Benda Uji Ditekan dengan 2 Titik Pembebanan

Selain itu, pengamatan visual dilakukan untuk mencatat munculnya retakan pertama, arah perkembangan retakan, dan pola keruntuhan. Umumnya, retakan awal muncul di bagian bawah tengah balok dan berkembang ke arah atas seiring meningkatnya beban. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan yang terjadi bersifat lentur, di mana gaya tarik melampaui kapasitas tarik beton atau tulangan.



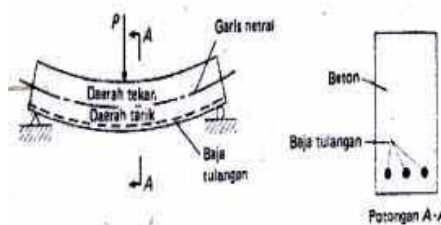
Gambar .22. Alat UTM (Universal Testing Machine)

Prosedur pelaksanaan pengujian bending dimulai dengan penempatan benda uji secara hati-hati dan simetris pada tumpuan mesin uji sesuai konfigurasi pembebanan. Beban awal kecil (pre-load) dapat diberikan untuk memastikan kontak yang baik. Kecepatan pembebanan diatur konstan sesuai standar yang dirujuk untuk menjaga konsistensi hasil. Proses pembebanan dilakukan secara bertahap dan kontinu hingga balok mengalami keruntuhan atau mencapai batas lendutan yang ditentukan. Selama pengujian, dilakukan pengamatan visual terhadap munculnya retak pertama, perkembangan pola retak, dan mekanisme keruntuhan balok. Data beban dan lendutan (atau regangan) dicatat secara simultan, baik secara manual maupun otomatis menggunakan sistem akuisisi data.



Gambar .23. Lendutan balok

Sumber : Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan penjelasan.*



Gambar .24. Lendutan balok

Sumber : Irawan. (2012). *Kegagalan Struktur dan Penanganannya.*

II.5.4 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis dimulai dengan melakukan perbandingan kinerja antara variabel. Perbandingan ini akan mencakup berbagai parameter seperti kekuatan lentur, defleksi maksimum, pola retak, dan mode kegagalan.

Pembahasan akan mencakup identifikasi kelebihan dan keterbatasan penggunaan bambu petung sebagai pengganti besi beton. Kelebihan yang mungkin teridentifikasi antara lain aspek keberlanjutan lingkungan, ketersediaan material lokal, dan karakteristik mekanik yang memadai. Sementara itu, keterbatasan yang perlu dibahas mencakup aspek durabilitas jangka panjang, standardisasi material, dan penerimaan industri konstruksi.

Hasil analisis ini akan memberikan rekomendasi yang realistis tentang potensi penerapan bambu petung dalam industri konstruksi.

Tahap analisis data difokuskan pada pengolahan nilai beban maksimum yang tercatat pada Universal Testing Machine (UTM) saat benda uji mencapai batas keruntuhan. Mengingat konfigurasi pengujian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah sistem pembebanan dua titik (four-point bending test) dengan tumpuan sendi-rol, maka digunakan persamaan matematis sebagai berikut

Rumus -1. Perhitungan Kekuatan Lentur

$$R = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2}$$

R = Modulus Runtuh (MPa)

P = Beban Total (N)

L = Panjang Bentang Balok

b = Lebar Balok

d = Tinggi Balok

Sumber : SNI 4154 ; 2014 UJI KUAT LENTUR

II.5.5 Kerangka alur

