

**Pola Retak Dan Kekakuan Balok Beton Bertulang Bambu Dengan Bahan
Tambah Serat Pohon Waru**
*Crack Patterns and Stiffness of Bamboo Reinforced Concrete Beams with Waru Tree Fiber
Added Material*

Danial Ariefki¹⁾, Muhtar²⁾, Ilanka Cahya Dewi³⁾

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: danialariefki247@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: muhtar.barra@gmail.com

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ilankadewiunmuh@gmail.com

Abstrak

Beton bertulang merupakan salah satu jenis beton dari segi struktural yang merupakan gabungan material beton (kuat tekan tinggi) dan tulangan baja (kuat tarik tinggi). Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh kekakuan balok beton bertulang bambu dengan persentase tambahan serat pohon waru dan mengetahui pola retak dan keruntuhan balok beton bertulang bambu dengan penambahan serat pohon waru. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental berupa pengujian ASTM dengan perencanaan komposisi campuran air, pasir, dan agregat dengan perbandingan 1:2:3. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serat pohon waru dapat mempengaruhi kekakuan balok beton bertulang bambu tunggal yang secara umum menunjukkan penurunan. Penurunan kekakuan balok beton bertulang paling rendah terjadi pada BRC 0,4% dibandingkan dengan BC Normal. Nilai kekakuan balok beton bertulang dengan penambahan serat pohon waru dapat didekati dengan persamaan $Y = 0,335x + 5,4171$ dengan nilai $R^2 = 0,501$. Dari persamaan tersebut menunjukkan sebesar 50% penurunan kekakuan dipengaruhi oleh kadar penambahan serat pohon waru, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Balok beton bertulang dengan penambahan serat pohon waru mempunyai pola retak dan keruntuhan yang sama dengan balok beton normal. Pola retak balok tersebut dimulai dari pola retak lentur, geser, dan keruntuhan tarik.

Kata Kunci: Kekakuan, Pola Retak Keruntuhan, Serat Pohon Waru dan Tulangan Bambu.

Abstract

Reinforced concrete is a type of concrete from a structural perspective which is a combination of concrete materials (high compressive strength) and steel reinforcement (high tensile strength). The aim of this research is to determine the effect of stiffness of bamboo reinforced concrete beams with the additional percentage of waru tree fiber and to determine the cracking and failure patterns of bamboo reinforced concrete beams with the addition of waru tree fiber. This research uses an experimental method in the form of ASTM testing by planning the composition of a mixture of water, sand and aggregate with a ratio of 1:2:3. The results of this study indicate that the addition of hibiscus tree fiber can influence the stiffness of single bamboo reinforced concrete beams which generally shows a decrease. The lowest reduction in stiffness of reinforced concrete beams occurred at BRC 0.4% compared to Normal BC. The stiffness value of reinforced concrete beams with the addition of waru tree fiber can be approximated by the equation $Y = 0.335x + 5.4171$ with a value of $R^2 = 0.501$. This equation shows that 50% of the reduction in stiffness is influenced by the level of added waru tree fiber, while the remainder is influenced by other factors. Reinforced concrete beams with the addition of waru tree fiber have the same crack and failure patterns as normal concrete beams. The beam crack pattern starts from flexural, shear and tensile failure crack patterns.
Keywords: Stiffness, Crack Collapse Patterns, Waru Tree Fiber, and Bamboo Reinforcement.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara tropis yang subur, serat alam (*natural fiber*) yang berasal dari tumbuhan sangat banyak ditemukan di sana. Tumbuhan waru (*Hibiscus tiliaceus*), yang banyak tumbuh di lingkungan pesisir adalah salah satu tumbuhan yang mengandung serat. Tumbuhan waru sangat mudah ditemukan dan biasanya tumbuh liar dengan akar panjang yang mengganggu. Karena itu, mereka ditebang untuk tampilan yang lebih baik. Kulit tumbuhan waru memiliki serat yang sangat ulet, yang membuatnya ideal untuk menguatkan komposit. Lapisan lilin yang berasal dari cambium banyak ditemukan pada serat kulit pohon waru (Prihajatno et al., 2018).

Beton adalah material konstruksi yang terdiri dari partikel agregat yang diikat oleh pasta yang dibuat dari campuran semen portland dan air. Pasta ini mengisi celah-celah di antara agregat, dan setelah beton yang masih dalam kondisi segar dicor, ia akan mengeras melalui reaksi kimia eksotermis antara semen dan air, membentuk material struktur yang solid dan tahan lama (Wijaya et al., 2023). Kekuatan struktur tergantung pada mutu beton dan penulangan baja di dalam balok beton bertulang. Penulangan balok beton biasanya terdiri dari dua tulangan yaitu tulangan lentur yang dipasang secara horizontal dari sumbu balok dan berfungsi untuk menahan beban momen lentur. Sebaliknya, tulangan geser, juga dikenal sebagai begel, dipasang secara melintang dari sumbu balok dan berfungsi untuk menahan beban gaya geser (Yuliawan, 2015).

Bambu adalah bahan bangunan yang potensial dan murah. Bambu dapat digunakan sebagai pengganti tulangan baja, karena mudah diperoleh, kuat menahan tarik, dan ramah lingkungan. Penggunaan bambu sebagai pengganti baja dapat mengurangi biaya konstruksi dan ramah lingkungan (Wonele et al., 2021).

Beberapa penelitian telah menggunakan bambu sebagai pengganti tulangan baja dan serat waru sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Menurut Dairi and Ardianto, (2022), penggunaan serat waru sebagai bahan tambah campuran beton dengan dimensi silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada

umur 28 hari mendapatkan nilai kuat tekan beton mengalami penurunan dari beton normal yaitu 189,67 Kg/cm² menjadi 111,35 Kg/cm² (Variasi 1,5%) atau 41,33%. Sedangkan serat waru mengalami peningkatan pada kuat tarik yang mana beton normal sebesar 14,38 Kg/cm² meningkat menjadi 16,97 Kg/cm² (Variasi 1,5%) atau 18,10%. Menurut Cahyanto et al., (2016), penggunaan tulangan bambu pada balok bertulang dengan dimensi panjang 170 cm, lebar 11 cm, dan tinggi 15 cm mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 5,455 N/mm² atau 44,20% dari balok dengan tulangan baja yang mana nilai kuat lenturnya adalah 12,369 N/mm².

Dengan memanfaatkan serat daun waru sebagai bahan tambah campuran beton dapat dilakukan pengujian seperti halnya yang telah dilakukan oleh Dairi and Ardianto, (2022) pada silinder. Dan bambu sebagai pengganti tulangan baja dapat dilakukan pengujian seperti halnya yang telah dilakukan oleh Cahyanto et al., (2016) pada balok beton tulangan bambu petung. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan suatu penelitian terkait pengaruh serat pohon waru terhadap kekakuan dan pola retak balok beton bertulang bambu tunggal. Penelitian pengaruh serat pohon waru terhadap kekakuan dan pola retak balok beton bertulang bambu tunggal perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi kekuatan struktur menggunakan bambu sebagai tulangan dan variasi yang tepat dalam penggunaan serat daun waru sebagai campuran beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Serat Pohon Waru

Pohon waru (*Hibiscus tiliaceus*) dikenal memiliki kandungan serat yang tinggi, terutama pada kulit batangnya (Prihajatno, 2018). Di Indonesia, pohon ini banyak ditemukan karena kemampuannya untuk tumbuh dengan mudah dan penyebarannya yang luas. Pohon waru dapat tumbuh hingga mencapai ketinggian 5 hingga 15 meter, memiliki batang berkayu yang bulat dan bercabang dengan warna cokelat. Kayu terasnya tergolong ringan, cukup padat, dan memiliki tekstur yang halus, serta tidak terlalu keras. Kayu ini juga bersifat fleksibel dan tahan lama bila diletakkan dalam tanah. Serat

yang dihasilkan oleh pohon waru dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti bahan penguat pada komposit perlu ditingkatkan kekuatan tarik dan keawetannya.

B. Bambu Petung

Bambu adalah tanaman jenis rumput yang tumbuh dengan cepat dan dapat dipanen dalam waktu 3-4 tahun tanpa perlu ditanam ulang. (Wonele, 2021) Meskipun bambu memiliki sifat fisik dan mekanik yang unggul, penggunaannya sebagai bahan konstruksi masih belum luas. Oleh karena itu, pengembangan bambu sebagai material konstruksi diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada kayu, yang selama ini telah mengalami eksploitasi berlebihan.

C. Sifat dan Kuat Tarik Bambu Petung

Bambu dikenal memiliki berbagai sifat unggul yang membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi, seperti kekuatan batangnya, kelenturan, lurus, kekerasan, kemudahan dalam pemotongan, pembentukan, pengerjaan, serta ringan untuk transportasi. Selain itu, bambu juga memiliki ketahanan yang sangat baik. Dalam studi Morisco (1996), kekuatan tarik bambu ori dan bambu petung dibandingkan dengan baja struktural bertegangan leleh 235 MPa, dan ditemukan bahwa kekuatan tarik kulit bambu ori hampir mencapai 490 MPa, yang sekitar dua kali lipat dari tegangan leleh baja. Sementara itu, rata-rata kekuatan tarik bambu petung juga melebihi tegangan leleh baja, meskipun ada satu spesimen yang memiliki kekuatan tarik di bawah tegangan leleh baja.

D. Beton

Beton adalah bahan komposit yang terdiri dari berbagai material, dengan semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan tambahan lainnya sebagai komponen utamanya, semuanya dicampur dalam proporsi tertentu. Kualitas beton sangat bergantung pada mutu setiap bahan yang menyusunnya (Tjokrodinuljo, 2007). Sebagai bahan konstruksi, beton banyak digunakan dalam berbagai jenis struktur bangunan.

Sebagian besar struktur bangunan menggunakan beton sebagai bahan konstruksi utama, termasuk gedung, fasilitas penyimpanan air, infrastruktur transportasi, dan berbagai jenis

bangunan struktural lainnya. Beton memiliki sejumlah keunggulan, seperti kemampuannya untuk menahan beban tekan, tahan terhadap perubahan cuaca dan suhu tinggi, serta kemudahan dalam pembentukan dan perawatannya. Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002, beton adalah campuran dari agregat kasar, agregat halus, semen hidraulik atau semen portland, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan, yang mengeras menjadi benda padat.

E. Balok Beton

Balok merupakan elemen kunci dalam struktur yang menopang beban eksternal serta berat dirinya sendiri melalui momen dan gaya geser. Menurut (Wijaya, 2023), balok mengalami dua jenis kondisi utama, yakni tekan dan tarik, yang disebabkan oleh lentur atau gaya lateral. Sebagai bagian penting dari struktur, balok memiliki peran utama dalam menahan berbagai beban yang diterima, termasuk beban dari plat lantai, beban hidup, beban mati, serta berat balok itu sendiri.

Balok adalah elemen struktural yang berperan dalam mendistribusikan beban ke kolom dan merupakan bagian penting dari struktur bangunan selain kolom dan pondasi. Oleh karena itu, proses pengecoran balok harus dilakukan dengan hati-hati. Tahap pengecoran mencakup persiapan tulangan hingga perawatan beton (curing). Kualitas pengecoran yang buruk dapat menyebabkan keropos pada balok dan menghasilkan hasil yang tidak sesuai dengan rencana. Untuk menghindari keropos tersebut, perlu dilakukan pengujian kualitas beton seperti slump test dan uji kekuatan beton oleh tim pengendalian mutu (Quality Control).

F. Kekakuan dan Lentutan

Kekakuan merupakan gaya yang dibutuhkan untuk memperoleh suatu lentutan. Dalam mendesain bangunan, kekakuan struktur merupakan salah satu unsur penting untuk melindungi konstruksi agar tidak mengalami kelebihan lentutan dari yang telah disyaratkan.

Rumus perhitungan kekakuan berdasarkan defleksi dinyatakan sebagai berikut:

$$K = P/\Delta \dots\dots\dots(2.1)$$

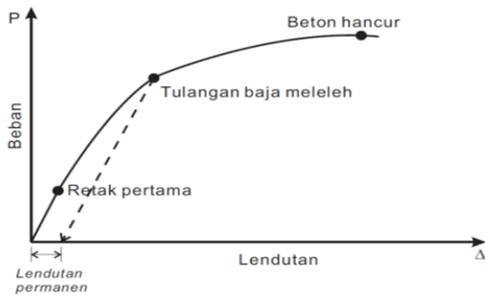
Keterangan :

K = kekakuan (kN/mm)

P = gaya (kN)

Δ = perpindahan (mm)

Kekakuan balok ditentukan oleh beban (P) dan lendutan (Δ) terjadi saat balok beton bertulang masih dalam kondisi elastis. Kondisi elastis merupakan ketika balok beton bertulang dapat kembali ke bentuk semula setelah dibebani.



Gambar 1. Hubungan Beban dan Lendutan.

Sumber : Astariani *et al.*, 2023

Kekakuan ditentukan oleh kemiringan garis yang menghubungkan puncak beban maksimum positif dan negative dari kurva hubungan beban dan lendutan dalam siklus yang sama, dapat ditulis sebagai berikut.

$$K = (P_1 + P_2) / (\Delta_1 + \Delta_2) \dots\dots\dots(2.2)$$

Jika $P_1 = P_2 = P$, maka :

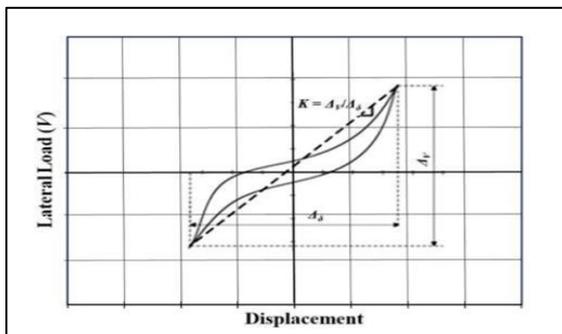
$$K = P / (1/2 (\Delta_1 + \Delta_2)) \dots\dots\dots(2.3)$$

Kekakuan (K) sama dengan beban lateral maksimum dibagi dengan lendutan rata-rata.

Jika $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$, maka :

$$K = (1/2 (P_1 + P_2)) / \Delta \dots\dots\dots(2.4)$$

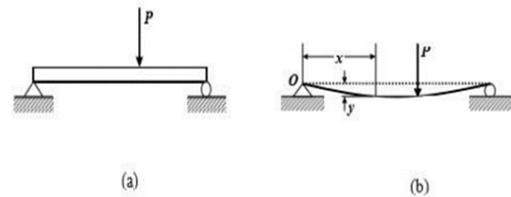
Atau kekakuan (K) sama dengan beban lateral maksimum rata-rata dibagi dengan lendutan. Dimana P_1 dan P_2 adalah rata-rata beban lateral positif dan negatif maksimum absolut Δ_1 dan Δ_2 adalah defleksi rata-rata.



Gambar 2. Kekakuan Lateral Menggunakan Titik Puncak ke Puncak.

Sumber : Muhtar, 2024

Lendutan adalah perubahan bentuk balok dalam arah y yang disebabkan oleh pembebanan vertikal pada balok atau batang. (Astiani, 2023) Deformasi pada balok dapat dijelaskan dengan melihat bagaimana balok bergerak dari posisinya sebelum dibebani. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral berikutnya. Kurva elastis balok adalah konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral. Gambar a menunjukkan balok pada posisi awal sebelum deformasi, dan Gambar b menunjukkan balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 3. Balok Sederhana Dengan Beban Terpusat.

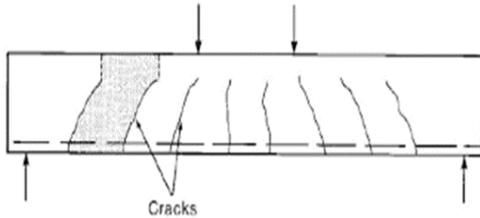
Sumber : Purwitasari *et al.*, 2023

G. Pola Retak dan Jenis Keruntuhan

Pola retak adalah kerusakan yang terjadi pada struktur beton yang diakibatkan dari muatan beban rencana yang berlebih. (Astuti, 2023) Pada struktur beton retak terjadi sebelum dan sesudah beton mengeras dan juga dapat terjadi ketika telah diberi beban. Ada beberapa jenis retak yang umum ditemukan, antara lain sebagai berikut. Retak lentur murni (*flexural crack*) muncul di area dengan momen lentur terbesar, dan pola retaknya hampir tegak lurus terhadap sumbu balok. Retak miring (*flexural shear crack*) terjadi di bagian balok yang sudah mengalami retak lentur sebelumnya, disebabkan oleh penyebaran retak miring dari retak yang ada. Sedangkan retak geser murni (*shear crack*) terjadi di daerah dengan gaya geser maksimum dan tegangan normal yang sangat kecil.

Sebuah bangunan dianggap runtuh ketika elemen strukturnya mengalami deformasi tanpa batas meskipun beban yang bekerja tetap. Pada saat keruntuhan, penting untuk memperhatikan terbentuknya jumlah sendi plastis yang cukup untuk memungkinkan struktur atau elemen struktur mengikuti pola mekanisme keruntuhan yang diharapkan. Pada balok beton, keruntuhan

umumnya disebabkan oleh gaya geser, gaya lentur, dan kegagalan geser. Jenis keruntuhan terbagi menjadi 3 jenis keruntuhan yaitu

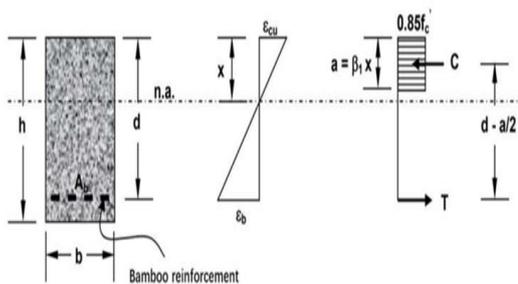


Gambar 4. Pola Retak Balok Beban Terpusat.
 Sumber : Astuti *et al.*, 2023

1. Keruntuhan tekan (*Compression Failure*), Jenis keruntuhan ini terjadi pada balok yang memiliki rasio tulangan tinggi (jumlah tulangan yang banyak). Pada kondisi beban maksimum, baja tulangan belum mencapai batas regangan lelehnya sementara beton sudah mengalami kehancuran (beton telah mencapai regangan maksimumnya, yaitu 0.003). Balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini cenderung bersifat getas.

2. Keruntuhan tarik (*Tensile Failure*), Jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan rendah (jumlah tulangan sedikit), di mana saat beban mencapai maksimum, baja tulangan telah mengalami regangan leleh, sementara beton belum hancur (beton belum mencapai regangan maksimumnya, yaitu 0.003). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini menunjukkan sifat yang lebih ductile.

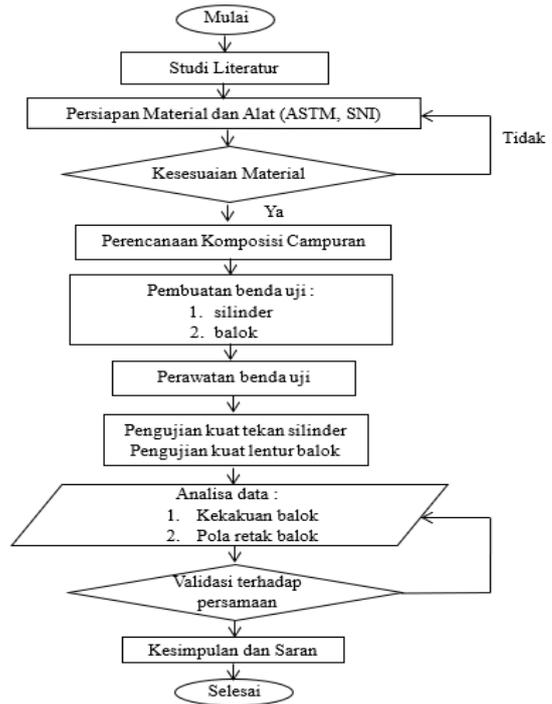
3. Keruntuhan seimbang (*Balance Reinforced*), jenis keruntuhan dapat terjadi pada balok bersifat getas dengan tulangan baja dan beton yang hancur secara bersamaan. Keruntuhan terjadi akibat tulangan baja mencapai regangan leleh dan beton mencapai regangan maksimumnya = 0,003.



Gambar 5. Balok Beton Tulangan Tunggal.
 Sumber : Purba *et al.*, 2024

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pengujian ASTM. Rencana penelitian dilakukan dengan menyusun diagram alur penelitian (Gambar 6) agar analisa pengaruh serat pohon waru terhadap kekakuan dan pola retak balok beton bertulang bambu berjalan sesuai dengan harapan.



Gambar 6. Bagan Alur Penelitian
 Sumber : Data Penelitian, 2024

A. Material Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian meliputi:

1. Semen Portland Komposit (*Portland Composite Cement, PPC*)
2. Agregat halus (pasir)
3. Agregat kasar (batu split 1x1 cm)
4. Serat pohon waru
5. Bambu petung (dimensi tulangan 12x12 mm)

B. Rancangan Penelitian

Benda uji terdiri dari 7 balok mempunyai dimensi 75 mm x 150 mm x 1000 mm, dan menggunakan tulangan bambu sebagai pengganti tulangan baja. Untuk tulangan pada benda uji menggunakan jarak tulangan sengkang 200 mm dan tulangan pokok 2x12

mm. Pada benda uji menggunakan variasi penambahan campuran serat pohon waru dengan persentase 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, 0,5%. Dengan komposisi campuran keseluruhan sampel perbandingannya 1:2:3

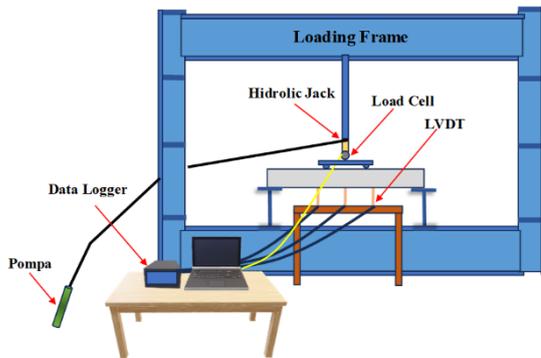
Tabel 1. Rancangan Penelitian Balok

| Jenis balok | Ukuran balok | Proporsi campuran | Ukuran tulangan | Jarak tulangan | |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|----------------|-------------|
| | mm | | mm | pokok mm | senggang mm |
| BC Normal | | | | | |
| BRC – 0% | | | | | |
| BRC – 0,1% | 1000 x | 1:2:3 | 12 x 12 | 55 | 200 |
| BRC – 0,2% | 150 x 75 | | | | |
| BRC – 0,3% | | | | | |
| BRC – 0,4% | | | | | |
| BRC – 0,5% | | | | | |

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

C. Set Up Pengujian

Berikut merupakan Set-Up pengujian benda uji balok yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Set-Up Pengujian Benda Uji Balok
 Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Pada pengujian beban lentur balok beton bertulang bambu ini menggunakan 2 titik tumpuan diatur sedemikian rupa, dan pengujian terdapat satu titik beban terpusat terletak dibagian tengah (mid) balok. pada pengujian ini terdapat alat pengukur regangan (strain gauge) yang terpasang di tulangan bambu yang berada di bagian tengah balok beton pracetak tepatnya berada di bagian bawah tulangan bambu. Pengukur regangan, dan loading frame dipakai sebagai sarana utama untuk melakukan pengujian. Pengujian beban lentur menggunakan dongkrak hidrolis dan loadcell yang dicatat menggunakan pengukur beban. Seluruh data uji dan direkam pada alat data logger. Beban diberikan secara bertahap. Beban ditambah sampai pada pultimate atau terjadi keruntuhan benda uji. Pembacaan regangan beton dan tulangan bambu dilakukan pada strain meter untuk mengetahui/mengontrol regangan

leleh. Alat pencatat defleksi benda uji menggunakan LVDT. Pola retak diamati untuk mengetahui jenis penyebab keruntuhan yang terjadi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Karakteristik Agregat dan Serat Pohon Waru

Dalam penelitian ini agregat kasar adalah koral dengan ukuran maksimum 10 mm. Sedangkan agregat halus atau pasir yang digunakan berasal dari Lumajang. Hasil pengujian didapatkan nilai, analisa ayakan, kadar air, berat jenis, berat volume, penyerapan air, kadar lumpur, keausan agregat dan kembang susut yang diuji di Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember.

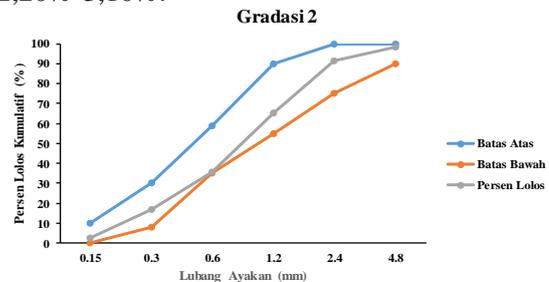
1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Tabel 2. Analisa pengujian agregat halus

| Jenis Pengujian | Satuan | Hasil |
|-----------------|----------------------|-------|
| Kadar air | % | 1,215 |
| Penyerapan air | % | 1,215 |
| Kadar lumpur | % | 0,402 |
| Berat jenis | gram/cm ³ | 2,721 |
| Berat volume | gram/cm ³ | 1,352 |
| Analisa ayakan | % | 3,909 |

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Tabel 2 menunjukkan hasil uji agregat halus yang terdiri dari nilai kadar air dan penyerapan air agregat halus sebesar 1,215 % dan untuk nilai kadar air tidak memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh ASTM C 33, 2013 yaitu untuk kadar air agregat halus 3%-5% sedangkan penyerapan air memenuhi 0,2%-2%. Nilai kadar lumpur yang didapat yaitu sebesar 0,402% dan memenuhi standar 0,2%-6%. Didapatkan juga hasil berat jenis sebesar 2,72 gram/cm³ dan memenuhi ketentuan ASTM C 33, 2013 yaitu 1,60-3,20 gram/cm³. Nilai modulus halus butir (MHB) analisa ayakan sebesar 3,909% dan memenuhi standar dari 2,20%-3,10%.



Gambar 8. Grafik Analisa Agregat Halus
 Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

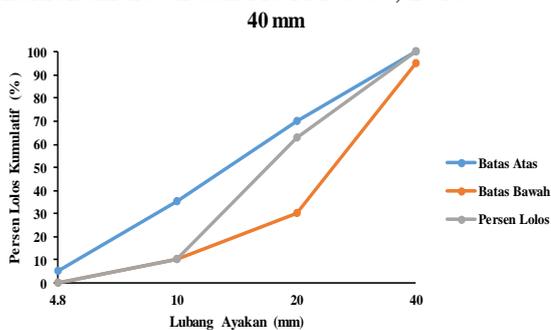
Hasil uji agregat kasar yang telah diuji ditunjukkan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Analisis pengujian agregat kasar

| Jenis Pengujian | Satuan | Hasil |
|-----------------|----------------------|-------|
| Kadar air | % | 0,807 |
| Penyerapan air | % | 0,807 |
| Kadar lumpur | % | 0,100 |
| Berat jenis | gram/cm ³ | 2,584 |
| Berat volume | gram/cm ³ | 1,197 |
| Analisa ayakan | % | 7,278 |
| Keausan agregat | % | 32,14 |

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Menunjukkan hasil uji agregat kasar yang terdiri dari nilai kadar air dan penyerapan air agregat kasar 0,807 % memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh ASTM C 33, 2013 yaitu untuk kadar air agregat kasar 0,5%-2% dan penyerapan air 0,2%-4%. Di dapatkan juga hasil berat jenis 2,58 gram/cm³ dan memenuhi ketentuan ASTM C 33, 2013 yaitu 1,60-3,20 gram/cm³. Nilai berat volume 1,20 gram/cm³ dan memenuhi dari 1,60-1,90 gram/cm³ serta didapatkan juga nilai modulus halus butir (MHB) analisa ayakan yaitu 7,278% dan memenuhi standar dari 5,5%-8,5%. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa gradasi maksimum korral adalah 40 mm dapat dilihat pada Gambar 9 Dapat disimpulkan bahwa agregat kasar untuk campuran beton telah memenuhi ketentuan ASTM C 33, 2013.



Gambar 9. Grafik Analisa Agregat Kasar

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

3. Hasil Pengujian Serat Pohon Waru

Untuk nilai hasil pengujian serat pohon waru dalam penelitian ini memiliki 3 jenis pengujian, diantaranya berupa pengujian kadar air, berat volume dan kembang susut. Kembang susut memiliki nilai yang tinggi yaitu sebesar 4% jika dibandingkan dengan yg lain, untuk

detail hasil ditunjukkan pada tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil pengujian serat pohon waru

| Jenis Pengujian | Satuan | Hasil |
|-----------------|----------------------|--------|
| Kadar air | % | 0,234 |
| Berat volume | gram/cm ³ | 0,2198 |
| Kembang susut | % | 4,05 |

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

B. Proporsi Campuran

Perhitungan Proporsi Campuran

Berikut merupakan detail perhitungan proporsi campuran beton :

$$1 \text{ balok} = 0,075 \times 0,15 \times 1 = 0,01125 \text{ m}^3$$

$$7 \text{ balok} = 0,075 \times 0,15 \times 1 \times 7 = 0,07875 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat balok} = 0,07875 \times 2400 = 189 \text{ kg}$$

$$\text{Silinder} = 0,25 \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3 \times 2 = 0,0106 \times 2400 = 25,44 \text{ kg}$$

$$\text{Berat total} = 189 + 25,44 = 214,44 \text{ kg}$$

$$\text{Berat tak terduga } 20\% = 42,888 \text{ kg}$$

$$\text{Berat total keseluruhan} = 214,44 + 42,888 = 257,328 \text{ kg}$$

$$\text{Komposisi campuran seluruh balok } 1 : 2 : 3$$

$$\text{Semen} = 1/6 \times 257,328 = 42,88 \text{ kg} = 43 : 7 = 7 \text{ kg/sampel}$$

$$\text{Pasir} = 2/6 \times 257,328 = 85,776 \text{ kg} = 86 : 7 = 13 \text{ kg/sampel}$$

$$\text{Koral} = 3/6 \times 257,328 = 178,664 \text{ kg} = 179 : 7 = 26 \text{ kg/sampel}$$

Perancangan komposisi campuran beton menggunakan bahan tambahan serat pohon waru. Dari hasil perencanaan campuran beton, maka komposisi perancangan campuran dari beton normal hingga variasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Proporsi Campuran Beton

| Kode Campuran | PPC Kg/m ³ | Campuran Tambahan Serat Pohon Waru gr/m ³ | Agregat Halus Kg/m ³ | Agregat Kasar Kg/m ³ |
|---------------|-----------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| BC - Normal | 7 | 0 | 13 | 26 |
| BRC - 0% | 7 | 0 | 13 | 26 |
| BRC - 0,1% | 7 | 25 | 13 | 26 |
| BRC - 0,2% | 7 | 51 | 13 | 26 |
| BRC - 0,3% | 7 | 77 | 13 | 26 |
| BRC - 0,4% | 7 | 102 | 13 | 26 |
| BRC - 0,5% | 7 | 128 | 13 | 26 |

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

C. Slump Test

Hasil uji *slump test* beton dilakukan dengan variasi campuran bahan baku dan persentase serat pohon waru.

Tabel 6. Nilai *Slump* Beton

| Variasi Campuran | Persentase Serat Pohon Waru (%) | Nilai <i>Slump</i> (mm) |
|------------------|---------------------------------|-------------------------|
| BC - Normal | 0 | 110 |
| BRC - 0% | 0 | 112 |
| BRC - 0,1% | 0,1 | 115 |
| BRC - 0,2% | 0,2 | 120 |
| BRC - 0,3% | 0,3 | 118 |
| BRC - 0,4% | 0,4 | 120 |
| BRC - 0,5% | 0,5 | 118 |

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Dari hasil pengujian *slump* pada Tabel 6 menunjukkan pada keseluruhan variasi beton dengan tulangan bambu dan serat waru mengalami peningkatan dari beton normal dengan tulangan besi. Besar peningkatannya masing-masing yaitu untuk variasi beton dengan tulangan bambu meningkat sebesar 1,82%, variasi 0,1% meningkat sebesar 2,68% dari beton normal, variasi 0,2% meningkat sebesar 4,35%.

D. Uji Kuat Tekan Beton

Benda uji yang digunakan untuk uji kuat tekan beton adalah bentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap 6 buah silinder diperoleh kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari berdasarkan campuran tambahan serat pohon waru dengan presentase 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4% dan 0,5% dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Silinder

| No | Sampel | Berat Beton Kg | Beban maksimum kN | Luas Silinder mm ² | Kuat Tekan MPa |
|----|-------------|----------------|-------------------|-------------------------------|----------------|
| 1 | BC - Normal | 12,40 | 234 | 17678,6 | 13,24 |
| 2 | BRC - 0% | 12,50 | 234 | | 13,24 |
| 3 | BRC - 0,1% | 12,65 | 305 | | 17,26 |
| 4 | BRC - 0,2% | 12,60 | 235 | | 13,30 |
| 5 | BRC - 0,3% | 12,55 | 250 | | 14,15 |
| 6 | BRC - 0,4% | 12,60 | 185 | | 10,47 |
| 7 | BRC - 0,5% | 12,60 | 186 | | 10,53 |

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

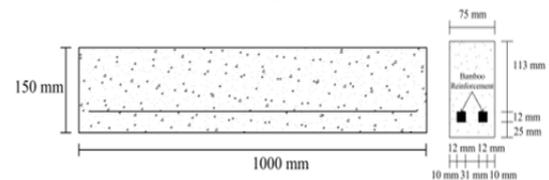
Dari hasil pengujian silinder pada Tabel 7 didapatkan nilai kuat tekan optimum yaitu 17,26 MPa pada penambahan serat pohon waru sebesar 0,1%. Kuat tekan beton dengan penambahan serat pohon waru mengalami peningkatan dari beton normal dengan variasi 0,1%, 0,2% dan 0,3% namun mengalami penurunan untuk variasi 0,4% dan 0,5%. Persentase masing-masing yaitu variasi 0,1% meningkat sebesar 30,36% dari beton normal,

variasi 0,2% mengalami penurunan sebesar 22,94% dari variasi 0,1%, variasi 0,3% mengalami peningkatan sebesar 6,39% dari variasi 0,2%, variasi 0,4% mengalami penurunan sebesar 26,01% dari variasi 0,3%, dan variasi 0,5% mengalami kenaikan sebesar 0,57% dari variasi 0,4%.

Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yaitu menurut Dairi and Ardianto (2022), bahwa adanya penambahan serat pohon waru pada adukan beton dapat meningkatkan kuat tekan beton karena serat pohon waru memiliki sifat penguat bahan komposit seperti semen dimana terjadi peningkatan kerapatan pada beton sehingga nilai kuat tekan pada beton meningkat.

E. Uji Kuat Lentur Balok

Benda uji yang digunakan untuk uji kuat tekan lentur adalah balok dengan ukuran 7,5 cm x 15 cm x 100 cm dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap 7 buah balok diperoleh nilai hubungan beban-lendutan, kekakuan, pola retak hingga keruntuhan yang terjadi pada balok berdasarkan campuran tambahan serat pohon waru dengan presentase 0,1%, 0,2%, 0,3% , 0,4%, 0,5% yang akan dipaparkan sebagai berikut.

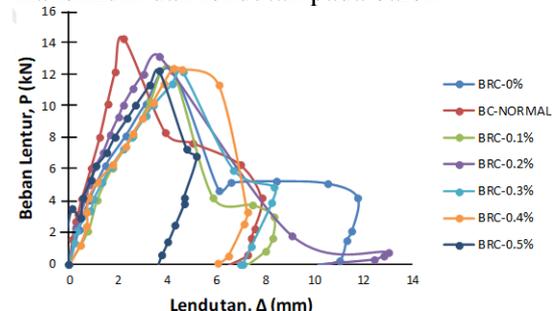


Gambar 10. Ukuran Balok Yang Diuji

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

F. Analisis Hubungan Beban Lendutan

Hubungan beban dan lendutan (Gambar 11) menunjukkan nilai keseluruhan beban maksimum dan lendutan pada balok



Gambar 11. Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lendutan

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Hasil yang didapat yaitu untuk BC-Normal memiliki beban maksimum sebesar 14,21 kN dan lendutan 2,24 mm. Untuk BRC-Normal mengalami penurunan kapasitas yaitu memiliki nilai beban maksimum sebesar 12,19 kN dan lendutan 4,21 mm. Untuk BRC-0,1% mengalami penurunan kapasitas yaitu memiliki beban maksimum sebesar 12,08 dan lendutan 4,2 mm. Untuk BRC-0,2% mengalami kenaikan nilai beban maksimum sebesar 13,12 kN dan lendutan 3,68 mm. Untuk BRC-0,3% mengalami penurunan kapasitas yaitu memiliki nilai beban maksimum sebesar 12,15 kN dan lendutan 4,63 mm. Untuk BRC-0,4% mengalami kenaikan nilai beban maksimum dari sebelumnya yaitu sebesar 12,36 kN dan lendutan 4,27 mm. Untuk BRC-0,5% memiliki nilai beban maksimum sebesar 12,19 kN dan lendutan 3,67 mm.

G. Kekakuan Melalui Hubungan Beban dan Lendutan

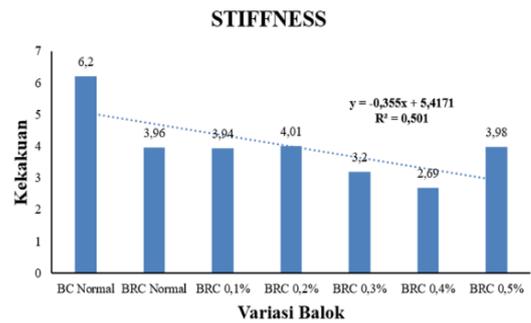
Kekakuan dapat dianalisis dengan melihat hubungan antara beban dan lendutan. Kekakuan adalah rasio yang digunakan untuk membandingkan beban yang ditinjau dengan lendutan. Selain itu, kekakuan juga dapat diukur dengan menghitung sudut kemiringan garis linier yang diambil dari koordinat (0,0) melalui titik 0,75 Pmax. Sampel beban lentur yang diambil yaitu 8 kN digunakan untuk menentukan Δ. Berikut merupakan hasil analisis dari nilai kekuatan balok yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 8. Analisis Nilai Kekakuan Balok

| No | Kode Balok | P _{ultimate} kN | Δ | Stiffness |
|----|-------------|-----------------------------|------|-----------|
| 1 | BC - Normal | 12,19 | 1,29 | 6,2 |
| 2 | BRC - 0% | 14,21 | 2,02 | 3,96 |
| 3 | BRC - 0,1% | 12,08 | 2,03 | 3,94 |
| 4 | BRC - 0,2% | 13,12 | 2,0 | 4,01 |
| 5 | BRC - 0,3% | 12,14 | 2,5 | 3,2 |
| 6 | BRC - 0,4% | 12,36 | 2,9 | 2,69 |
| 7 | BRC - 0,5% | 12,19 | 2,01 | 3,98 |

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Dari data tabel diatas dilakukan analisa kembali dengan membuat grafik, untuk mengetahui nilai persamaan dari keduanya sebagai acuan dalam menyimpulkan adanya hubungan antar kedua nya. Berikut merupakan grafik batang kekakuan yang ditunjukkan pada gambar 12 dibawah ini.



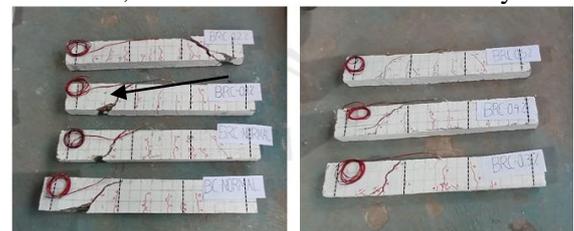
Gambar 12. Grafik Batang Kekakuan

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Pada Tabel 8 menunjukkan hasil analisis kekakuan balok berdasarkan hubungan beban dan lendutan. Dari hasil perhitungan kekakuan didapatkan bahwa nilai kekakuan pada BC Normal didapat nilai sebesar 6,2 , BRC Normal didapatkan nilai sebesar 3,96 , BRC 0,1% didapatkan nilai sebesar 3,94 , BRC 0,2% didapatkan nilai sebesar 4,01 , BRC 0,3% didapatkan nilai sebesar 3,2 , BRC 0,4% didapatkan nilai sebesar 2,69 , dan BRC 0,5% didapatkan nilai sebesar 3,98. Berdasarkan pada Gambar 12 menunjukkan hubungan kadar penambahan serat pohon waru terhadap nilai kekakuan balok beton bertulang tunggal didapatkan persamaan $Y = 0,355x + 5,4171$ dengan nilai $R^2 = 0,501$. Dari persamaan tersebut menunjukkan sebesar 50% perubahan kekakuan dipengaruhi oleh kadar penambahan serat pohon waru, sedangkan 50% sisanya dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diuji.

H. Analisis Pola Retak dan Keruntuhan

Pola retak pada balok disebabkan oleh beban awal hingga tegangan mencapai maksimum. Semakin besar beban yang diberikan, retakan akan melebar atau menyebar.



Gambar 13. Pola Retak dan Keruntuhan

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Pada Gambar 13 menunjukkan retak awal pada balok terjadi di tengah bentang membentuk garis halus vertikal (retak lentur). Seiring bertambahnya beban, balok terus

mengalami retak lentur dan kemudian muncul retak geser. Saat balok mencapai beban puncak muncul retak utama berupa retak diagonal yang menunjukkan bahwa balok mengalami kegagalan geser (shear failure) atau mengalami keruntuhan tarik di arah retak miring.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Penambahan serat pohon waru dapat mempengaruhi kekakuan balok beton bertulang bambu tunggal yang secara umum menunjukkan penurunan. Penurunan kekakuan balok beton bertulang paling rendah terjadi pada BRC 0,4% dibandingkan dengan BC Normal. Nilai kekakuan balok beton bertulang dengan penambahan serat pohon waru dapat didekati dengan persamaan $Y = 0,355x + 5,4171$ dengan nilai $R^2 = 0,501$. Dari persamaan tersebut menunjukkan sebesar 50% penurunan kekakuan dipengaruhi oleh kadar penambahan serat pohon waru, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.
2. Balok beton bertulang dengan penambahan serat pohon waru mempunyai pola retak dan keruntuhan yang sama dengan balok beton normal. Pola retak balok tersebut dimulai dari pola retak lentur, geser, dan keruntuhan tarik.

B. Saran

Beberapa saran berdasarkan hasil kajian tugas akhir ini adalah:

1. Perlu diadakan penelitian tambahan tentang pengaruh serat pohon waru terhadap kekakuan dan pola retak keruntuhan balok beton bertulang bambu tunggal, dikarenakan kurangnya penelitian yang berhubungan dengan serat pohon waru yang mengakibatkan kurangnya referensi untuk mencari informasi baru.
2. Perlu diperhatikan lagi saat pembuatan beton normal, pastikan campuran beton sesuai dengan perencanaan mutu beton,

dalam percampuran pastikan kebutuhan air sesuai dengan kebutuhan rencana.

3. Untuk penelitian lanjut mengenai balok beton bertulang yang dicampur serat pohon waru, beberapa rekomendasi yang dipertimbangkan meliputi berbagai aspek mulai dari material, metode, hingga pengujian yaitu seperti
 - a. Gunakan teknik pencampuran yang memastikan distribusi serat yang merata dalam matriks beton.
 - b. Pilih serat pohon waru dengan panjang dan diameter yang tepat untuk memaksimalkan interaksi antara serat dan matriks beton

6. DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, P., & Pratama, W. S. 2023. Pengaruh Tulangan Terkorosi Pada Defleksi, Kelengkungan, Lebar Retak Dan Pola Retak Balok Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(3). 147-214.
- ASTM. 2002. Standart Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loading). ASTM Internasional: USA.
- ASTM. 2013. Standart spesification for concrete agregata United States. ASTM Internasional: USA.
- Cahyanto, H., Agus, S. B., dan Bambang, S. 2016. Kuat Lentur Balok Beton Tulangan Bambu Petung Vertikal Takikan Tidak Sejajar Tipe U Lebar 2 cm Tiap Jarak 15 cm. *Matriks Teknik Sipil*. 4(4). 1231-1237.
- Dairi, R. H., dan Ardianto. 2022. Pengaruh Penambahan Serat Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil Unidayan*. 11(2). 68-71.

- Dady, Y. T., Sumajouw, M. D., & Windah, R. S. 2015. Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*. 3(5). 81-85
- Kasiati, E., & Wibowo, B. 2010. Pilinan Bambu Sebagai Alternatif Pengganti Tulangan Tarik Pada Balok Beton. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*. 8(1). 9-17.
- Muhtar. 2020. The Prediction of Stiffness Reduction Non-Linear Phase in Bamboo Reinforced Concrete Beam Using the Finite Element Method (FEM) and Artificial Neural Networks (ANNs). *Forests*. 11(12). 1313.
- Muhtar, M. 2019. Experimental Data From Strengthening Bamboo Reinforcement Using Adhesives and Hose-Clamp. Elsevier. 27. 104827.
- Muhtar, Gunasti, A., dan Manggala, A. S. 2024. Utilization of Bamboo For Concrete Columns in Earthquake-Resistant Simple Houses in Indonesia. Elsevier. e02941.
- Muhtar. 2023. Performance - Based Experimental Study Into Quality Zones Of Lightweight Concrete Using Pumice Aggregates. *Case Studies In Construction Materials*. Elsevier Radarweg. 29. 1043.
- Pala'biran, O. A., Windah, R. S., & Pandaleke, R. E. 2019. Perhitungan Lenturan Balok Taper Kantilever Dengan Menggunakan Sap2000. *Jurnal Sipil Statik*. 7(8). 67-71
- Porajow, R. D. G., Sumajouw, M. D., & Pandaleke, R. 2017. Perbandingan Kuat Tarik Lentur Beton Bertulang Balok Utuh Dengan Balok Yang Diperkuat Menggunakan Chemical Anchor. *Jurnal Sipil Statik*. 5(7). 102-112
- Prasetyo, A., Purwanto, H., & Respati, S. M. B. 2016. Pengaruh Waktu Perendaman Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) Pada Air Laut Terhadap Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik. *Jurnal Ilmiah Momentum*. 12(2). 55-76
- Prihajatno, M., Arafat, Y., Nurfauzi, A., Pengajar, S., Kelautan, P., & Selatan, S. 2018. Karakterisasi Kekuatan Mekanis Hybrid Komposit Berpenguat Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus Tiliaceus*). *J. Ilm. Tek. Mesin*. 9(2). 17-29.
- Purwitasari, K., & Sunarminingtyas, N. K. 2023. Pengaruh Pengekangan Tulangan Lateral Pada Jalur Tekan Terhadap Kapasitas Beban dan Lenturan Balok Beton Bertulangan Bambu. *Jurnal Serambi Engineering*. 8(2). 5693-5703.
- Suhendra, S. 2017. Kajian Hubungan Kuat Lentur Dengan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Civronlit Unbari*. 2(1). 38-44.
- Sutarja, I. N., & Sudarsana, I. K. 2005. Interaksi Antara Gaya Aksial Dan Momen Pada Kolom Beton Dengan Tulangan Bambu. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. 9(1). 87-93.
- Ticoalu, P. E. E., Pangouw, J. D., & Dapas, S. O. 2015. Studi Komparasi Perhitungan Struktur Bangunan Dengan Menggunakan SNI 03-2847-2013 Dan British Standard 8110-1-1997. *Jurnal Sipil Statik*, 3(10). 34-48.