

Pengaruh Serat Daun Nanas Sebagai Bahan Tambah Beton Terhadap Kekakuan Dan Pola Retak Balok
The Effect of Pineapple Leaf Fiber as Concrete Additive on Beam Stiffness and Crack Patterns

Anindya Dewanti Nilamsari¹, Muhtar², Hilfi Harisan Ahmad³

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

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email : muhtar@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email : hilfiharisana@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Beton serat merupakan beton yang cukup populer saat ini. Serat yang biasa digunakan seperti serat hewani, serat baja, dan serat tumbuhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh serat daun nanas pada kekakuan, pola retak, dan keruntuhan pada balok. Balok yang digunakan berukuran 1,1 m × 0,075 m × 0,15 m dengan variasi campuran serat daun nanas 0%, 1%, 1,5%, dan 2%. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pendekatan *three-point method* dengan cara pengujiannya menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekakuan menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan penambahan serat daun nanas. Namun, pada balok dengan penambahan serat daun nanas 1% menunjukkan nilai yang optimum. Pola retak awal yang terjadi pada balok BC dan BLK-1,5% merupakan pola retak lentur dan berlanjut dengan pola retak geser yang akhirnya menyebabkan kegagalan geser balok. Pola retak awal yang terjadi pada balok BLK1% dan BLK-2% merupakan pola retak lentur dan akhirnya menyebabkan kegagalan lentur balok. Untuk balok yang menggunakan beton serat daun nanas, kadar air serat daun nanas harus diperhatikan agar kinerja balok optimal.

Kata kunci: Beton Serat, Kekakuan, Pola Retak, Serat Daun Nanas.

Abstract

Fiber reinforced concrete is very popular nowadays. The commonly used fibers include animal fiber, steel fiber and plant fiber. The most commonly used plant fiber is pineapple leaf fiber. The aim of this study is to determine the effects of pineapple leaf fiber on the stiffness, crack pattern and collapse of the beams. The beams used were 1.1 m × 0.075 m × 0.15 m and consisted of 0%, 1%, 1.5% and 2% pineapple leaf fiber. The method used is three-point method which involves testing with 2 bases and 1 damper. The results show that the stiffness value has a decreasing trend with the addition of pineapple leaf fiber. However, the beam with 1% pineapple leaf fiber addition had the optimum value. The initial crack pattern in BC and BLK 1.5% beams was a flexural crack pattern and progressed into a shear crack pattern which eventually led to the shear failure of the beams. The initial crack patterns in BLK-1% and BLK-2% beams were flexural crack patterns and eventually led to flexural failure of the beams. For beams made of pineapple leaf fiber concrete, the moisture content of the pineapple leaf fibers must be considered to achieve optimal beam performance.

Keywords: Crack Pattern, Fiber Concrete, Pineapple Leaf Fiber, Stiffness

1. PENDAHULUAN

Beton adalah campuran semen, agregat halus dan kasar, dan air yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi dibandingkan bahan lainnya, yang menjadikannya bahan bangunan yang populer dan sering digunakan. Berbagai inovasi sudah dikembangkan untuk menciptakan material beton yang praktis, ramah lingkungan, dan ekonomis. Beton umum digunakan karena mudah diperoleh dan dapat dibuat dengan campuran bahan tambahan untuk mencapai kuat tekan yang dirancang. (Aprilia, 2020.)

Dibandingkan dengan bahan bangunan lainnya, beton memiliki kuat tekan yang tinggi. Akan tetapi, beton juga memiliki sifat getas. Kuat tekan beton dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan tambah yang dapat meningkatkan kuat tekan beton. Salah satu contoh bahan yang dapat meningkatkan kuat tekan beton adalah serat. Ada beberapa jenis serat, antara lain serat hewani seperti wool dan sutra. Serat yang diperoleh dari bahan baku pertambangan seperti serat asbes. Serat tumbuhan terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu serat dari biji seperti serat kapuk, serat dari batang seperti serat rami, dan terakhir serat dari daun seperti daun nanas dan lidah buaya. Serat daun nanas mengandung senyawa lignin yang dapat memberikan kekuatan pada beton. (Aprilia, 2020)

Balok merupakan struktur penting dalam konstruksi. Balok berfungsi untuk memikul beban seperti pelat lantai, dinding, rangka langit-langit, dan rangka atap. Balok tersusun dari 2 elemen yaitu beton dan tulangan. Beton berfungsi untuk menahan kuat tekan dan tulangan berfungsi untuk menahan kuat tarik. Balok berdasarkan tulangannya ada dua jenis yaitu balok bertulang tunggal dan balok bertulang rangkap. Balok bertulang tunggal merupakan balok yang tulangannya hanya diberi tulangan pada daerah tarik saja. Balok bertulang rangkap memiliki tulangan pada daerah tekan dan tarik sehingga beton dapat menahan tekan. (Ananda, dkk. 2023)

Beton serat daun nanas mengintegrasikan serat alami dari limbah daun nanas untuk meningkatkan kualitas beton. Penambahan serat ini terbukti meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan terhadap retak, dan elastisitas beton,

serta mengurangi permeabilitas. Penggunaan serat daun nanas tidak hanya memperbaiki performa mekanik beton tetapi juga mendukung praktik keberlanjutan dengan memanfaatkan limbah pertanian, sehingga mengurangi dampak lingkungan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa beton dengan serat daun nanas menawarkan solusi inovatif untuk konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Dengan demikian, peneliti melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kekakuan, pola retak dan keruntuhan pada balok beton bertulang dengan campuran serat daun nanas, dengan harapan dapat memberikan ide inovasi bagi pengembangan teknologi beton. (Mulyadi, 2023).

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Beton merupakan material komposit (campuran) dari beberapa material yang komponen utamanya adalah campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambahan lain dalam perbandingan tertentu. Karena beton merupakan material komposit, maka mutu beton sangat bergantung pada mutu masing-masing material. (Kardiyono, 2007).

Untuk mencapai kuat tekan beton yang diinginkan, perlu dilakukan *mix design* untuk menentukan jumlah masing-masing material. Selain rasio pencampuran, kuat tekan beton juga ditentukan oleh kepadatan campuran beton. Semakin kecil rongga dalam campuran beton, semakin tinggi kuat tekan beton. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi tetapi kekuatan tariknya rendah. Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang diinginkan, semakin tinggi pula kualitas beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

B. Kekakuan

Kekakuan struktur itu penting. Kekakuan berguna untuk mencegah struktur melendut lebih dari yang seharusnya. Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk mencapai satuan deformasi. Nilai kekakuan adalah sudut kemiringan hubungan

antara beban dan deformasi. Semakin kaku struktur, semakin besar nilai kekakuannya.

Sifat kekakuan lateral benda uji di bawah pembebanan siklik dapat diperkirakan menggunakan titik puncak ke puncak, di mana kekakuan ditentukan oleh kemiringan garis yang menghubungkan puncak beban maksimum positif dan negatif. Nilai kekakuan dapat diketahui melalui rumus :

$$K = \frac{P_1 + P_2}{\Delta_1 + \Delta_2}$$

Jika $P_1 = P_2 = P$, maka

$$K = \frac{P}{\frac{1}{2}(\Delta_1 + \Delta_2)}$$

Kekakuan (K) sama dengan beban lateral maksimum dibagi dengan lendutan rata-rata, seperti yang ditunjukkan pada persamaan. Jika $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$, maka

$$K = \frac{\frac{1}{2}(P_1 + P_1)}{\Delta}$$

atau kekakuan (K) sama dengan rata-rata beban lateral maksimum dibagi dengan defleksi. Di mana P_1 dan P_2 adalah rata-rata dari beban lateral positif dan negatif maksimum absolut, Δ_1 dan Δ_2 adalah defleksi rata-rata. (Muhtar. dkk, 2023)

C. Pola Retak Dan Keruntuhan

Retakan dapat menyebabkan kerusakan dan keruntuhan pada konstruksi. Retakan pada beton dapat disebabkan oleh berbagai tekanan, regangan, dan suhu, yang menyebabkan berbagai jenis kegagalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi retakan dapat terjadi selama pembuatan beton bertulang atau setelah beton diproduksi. Ketika retakan terjadi, baja tulangan menanggung beban tarik yang terjadi. Ada banyak penyebab retakan pada beton bertulang, termasuk faktor lingkungan yang memengaruhi permukaan beton dan juga retakan yang disebabkan oleh sifat beton. (Wahyu, dkk. 2023)

Material beton siap pakai akan siap untuk memikul berbagai beban. Beton akan berfungsi optimal jika mampu memikul beban sesuai rancangannya. Namun, jika beban yang bekerja pada beton melebihi kemampuan beton untuk memikul beban tersebut, beton akan retak dan

mengurangi kekuatan beton untuk menahan beban tersebut.

Adapun jenis-jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. Keruntuhan tarik (*Tensile Failure*), jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan kecil (jumlah tulangan sedikit) sehingga pada saat beban kerja maksimum, baja tulangan telah mencapai titik lelehnya sedangkan beton belum hancur (beton belum mencapai regangan maksimum = 0,003). Balok dengan kondisi kegagalan ini bersifat *ductile*.
2. Keruntuhan seimbang (*Balance Failure*), Keruntuhan jenis ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan seimbang sehingga pada beban kerja maksimum, baja tulangan dan beton hancur secara bersamaan (tulangan telah mencapai kekuatan lelehnya dan beton telah mencapai regangan maksimum = 0,003). Balok dengan kondisi keruntuhan ini pada dasarnya bersifat getas.
3. Keruntuhan tekan (*Compression Failure*), Keruntuhan jenis ini biasa terjadi pada balok dengan rasio tulangan besar (jumlah tulangan banyak), sehingga pada saat pembebanan maksimum baja tulangan belum mencapai titik lelehnya, sedangkan beton sudah hancur (beton sudah mencapai regangan maksimum = 0,003). Balok dengan kondisi kegagalan seperti itu bersifat getas. (Yohanes, 2015)

D. Beton Serat

Beton serat adalah beton yang terbuat dari semen, air, agregat halus dan kasar serta serat. Penambahan serat pada beton dimaksudkan untuk memperbaiki sifat lemah beton yaitu kuat tariknya yang rendah. Beton serat adalah beton yang cara pembuatannya ditambah serat. Tujuan penambahan serat tersebut adalah untuk meningkatkan kekuatan tarik beton. (Kardiyono, 1996)

Menurut As'ad (2008), beton serat memberi banyak keuntungan antara lain:

1. Serat-serat tersebut tersebar secara acak dalam volume beton pada jarak yang relatif dekat satu sama lain. Hal ini memastikan ketahanan yang seimbang di semua arah dan memberikan bahan bangunan tersebut

keunggulan karena mampu menahan beban gempa dan angin.

2. Peningkatan perilaku deformasi seperti kekuatan benturan, keuletan lebih tinggi, kekuatan lentur dan kemampuan torsi lebih baik.
3. Meningkatkan ketahanan beton terhadap retak dan pembentukan retak.
4. Peningkatan ketahanan perkerasan beton terhadap keretakan dan pengelupasan membantu mencegah korosi pada batang tulangan.

Jenis serat yang dapat digunakan dalam beton serat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Serat alami

Serat alami umumnya terbuat dari berbagai tanaman. Serat alami umumnya mudah menyerap dan melepaskan air. Serat alami mudah lapuk dan karenanya tidak direkomendasikan untuk beton berkualitas tinggi atau aplikasi khusus.

2. Serat buatan

Serat buatan umumnya terbuat dari senyawa polimer. Serat ini memiliki ketahanan cuaca yang tinggi. Serat ini memiliki titik leleh, kekuatan tarik, dan kekuatan lentur yang tinggi. Serat ini digunakan untuk beton berkualitas tinggi dan digunakan secara khusus.

3. METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan cara membuat benda uji di Laboratorium. Benda uji dalam penelitian ini adalah beton normal dengan bahan campuran menggunakan serat daun nanas dengan variasi campuran 0%, 1%, 1,5%, dan 2% dari berat semen. Waktu pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari.

Pembuatan 4 buah sampel balok dengan ukuran 1,1 m × 0,075 m × 0,15 m dengan tulangan rangkap berbahan besi dan dengan persentase serat daun nanas, dengan rincian sebagai berikut :

1. 1 buah sampel balok beton normal pada umur 28 hari
2. 1 buah sampel balok serat daun nanas dengan variasi serat daun nanas 1% dari berat semen

3. 1 buah sampel balok serat daun nanas dengan variasi serat daun nanas 1,5% dari berat semen
4. 1 buah sampel balok serat daun nanas dengan variasi serat daun nanas 2% dari berat semen.

Material yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen gresik

2. Agregat halus

Agregat halus adalah pasir, pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari Kabupaten Lumajang

3. Agregat kasar

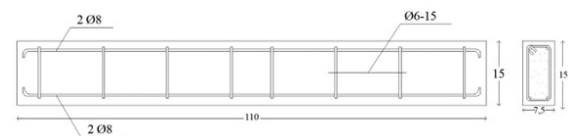
Agregat kasar disini adalah koral, koral yang dipakai dalam penelitian ini didapatkan dari Desa Subo

4. Air

5. Serat daun nanas

6. Tulangan baja Ø6 dan Ø8

Mempersiapkan seluruh material campuran pembentuk beton dan menimbang material sesuai dengan yang dibutuhkan untuk uji agregat kasar dan halus untuk mempermudah proses uji selanjutnya. Setelah dilakukan pengujian agregat, dilakukan pembuatan benda uji. Detail benda uji bisa dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Detail Benda Uji

Sumber : Data Penelitian, 2024.

B. Pengambilan Data Penelitian

Data-data pendukung diperlukan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Data-data pendukung tersebut diperoleh dari:

1. Data Primer

Data ini adalah data yang diperoleh dari perhitungan di laboratorium, antara lain:

- a. Analisa saringan agregat
- b. Berat jenis dan penyerapan
- c. Uji kadar air agregat
- d. Uji kadar lumpur agregat

- e. Uji berat isi agregat
- f. Mix design
- g. Uji slump
- h. Uji kuat tekan beton
- i. Uji kelenturan balok
2. Data Sekunder

Data ini adalah data yang diperoleh dari buku yang berhubungan dengan teknik beton, seperti SNI 2847-2019 serta buku-buku yang berhubungan dengan teknik beton lainnya. Serta berkonsultasi dengan dosen pembimbing sebagai penunjang untuk memperkuat penelitian yang dilakukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Agregat

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah koral (agregat kasar) berukuran 10 mm. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir

yang diperoleh dari Lumajang. Hasil pengujian menunjukkan nilai analisis saringan, kadar air, berat jenis, berat volumetrik, penyerapan air, kadar lumpur dan keausan agregat kasar.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Jember dengan berbagai pengujian salah satunya adalah uji agregat. Hasil pengujian agregat halus dan kasar ditunjukkan pada **Tabel 1**.

B. Proporsi Campuran

Mutu rancangan beton yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah f'c 20 MPa. Agregat halus yang akan digunakan adalah pasir dari Lumajang. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah koral dengan diameter maksimum 10 mm. Proporsi campuran untuk beton silinder dapat dilihat pada **Tabel 2**. dan untuk proporsi balok beton dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 1. Hasil Uji Agregat

Jenis Pengujian	Satuan	Agregat Halus	Agregat Kasar
Kadar air	%	1,215	0,807
Penyerapan air	%	1,215	0,807
Kadar lumpur	%	0,402	0,100
Berat jenis	gram/cm ³	2,721	2,584
Berat volume	gram/cm ³	1,352	1,197
Analisa ayakan	%	3,909	7,278
Keausan agregat	%	-	32,14

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Tabel 2. Proporsi Campuran Beton Silinder

Kode Campuran	PPC Kg/m ³	Campuran Tambahan Serat Daun Nanas gr/m ³	Agregat Halus Kg/m ³	Agregat Kasar Kg/m ³
BC	4,59	0	6,59	11,22
BLK-1%	4,54	50	6,59	11,22
BLK-1,5%	4,52	70	6,59	11,22
BLK-2%	4,49	90	6,59	11,22

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Tabel 3. Proporsi Campuran Balok Beton

Kode Campuran	PPC Kg/m ³	Campuran Tambahan Serat Daun Nanas gr/m ³	Agregat Halus Kg/m ³	Agregat Kasar Kg/m ³
BC	6,69	0	9,62	16,38
BLK-1%	6,63	70	9,62	16,38
BLK-1,5%	6,59	100	9,62	16,38
BLK-2%	6,56	130	9,62	16,38

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

C. Pengujian Slump

Sebelum beton segar dituang ke dalam cetakan silinder dan balok, terlebih dahulu dilakukan uji slump. Slump beton adalah ukuran konsistensi atau kekentalan beton segar yang menunjukkan seberapa mudah beton tersebut mengalir. Slump diukur dengan menggunakan alat uji slump cone, dan nilai ini mempengaruhi kualitas dan kekuatan beton yang dihasilkan. (Arifin, 2023). Hasil perhitungan dari nilai slump berdasarkan variasi campuran dan persentase serat daun nanas yang digunakan, di tunjukkan pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Nilai Pengujian Slump

Variasi Campuran	Presentase Serat Daun Nanas (%)	Nilai Slump (mm)
BC	0	180
BLK-1%	1	178
BLK-1,5%	1,5	170
BLK-2%	2	160

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan hasil uji slump pada **Tabel 4**, diperoleh nilai slump terendah 160 mm dan nilai tertinggi slump mencapai 180 mm.

Nilai slump tertinggi adalah pada balok dengan campuran normal (BC) dengan nilai slump 180 mm. Nilai slump terendah adalah pada balok dengan campuran serat daun nanas 2% (BLK-2%) dengan nilai slump 160 mm. Nilai slump tertinggi kedua adalah pada BLK-178 mm. Nilai slump menurun dikarenakan adanya pengaruh serat daun nanas yang menyebabkan ketinggian nilai slump menurun.

D. Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda uji yang digunakan untuk menguji kuat tekan beton adalah silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap 4 buah silinder menghasilkan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari berdasarkan campuran serat daun nanas dengan proporsi 1%, 1,5% dan 2% dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No	Sampel	Berat Beton Kg	Beban _{maks} kN	Luas Silinder mm ²	Kuat Tekan Mpa
1	BC	12,56	289	17678,6	16,347
2	BLK-1%	11,20	316		17,875
3	BLK-1,5%	11,00	267		15,103
4	BLK-2%	11,60	243		13,745

Sumber : Hasil Penelitian, 2024 .

E. Pengujian Kuat Lentur Balok

Jumlah benda uji yang diuji adalah 4 buah dengan dimensi balok 7,5 cm × 15 cm × 110 cm. Balok diuji pada umur 28 hari. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku lentur

balok. Pengujian ini dapat digunakan untuk menganalisis nilai beban maksimum, lendutan maksimum, pola retak dan kekakuan. Hasil analisis data pengujian kuat lentur ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok

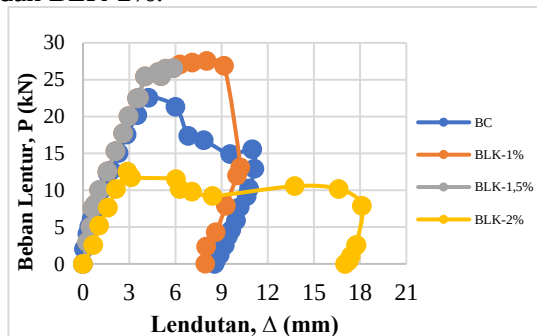
Variasi	Bentang Balok (L) mm	Lebar Balok (b) mm	Tebal Balok (h) mm	P Retak Awal (P _{cr}) kN	Beban Lentur (P _{maks}) kN	Lendutan mm
BC	1100	150	75	8,169	22,562	4,27
BLK-1%	1100	150	75	10,011	27,528	8,04
BLK-1,5%	1100	150	75	7,588	26,578	5,87
BLK-2%	1100	150	75	7,615	12,523	2,89

Sumber : Hasil Penelitian, 2024 .

F. Analisa Beban Dan Lendutan

Grafik beban dan lendutan balok adalah untuk memahami perilaku balok di bawah beban. Grafik ini menggambarkan hubungan antara beban yang diterapkan pada balok dan lendutan (defleksi) yang terjadi pada balok (Prabowo, 2023)

Gambar 3. menunjukkan hubungan kapasitas beban lentur dengan lendutan. Ada perbedaan nilai P (beban) dan Δ (lendutan) pada grafik balok variasi BC, BLK-1%, BLK-1,5%, dan BLK-2%.



Gambar 3. Grafik Gabungan Beban dan Lendutan

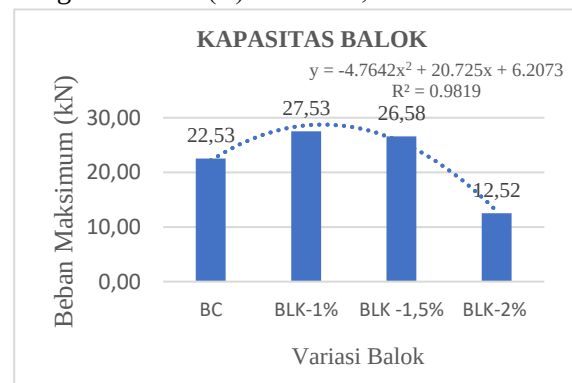
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Grafik hasil analisa Balok Normal (BC) menunjukkan balok mengalami retak awal pada beban (P_{crack}) sebesar 8,169 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 0,97 mm. Seiring dengan bertambahnya beban terjadi perpanjangan dan pelebaran retak. Balok tidak menunjukkan kekuatan namun lendutan terus mengalami peningkatan yang akhirnya balok mengalami keruntuhan pada beban (P_{maks}) sebesar 22,526 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 4,27 mm.

Grafik hasil analisa variasi balok dengan campuran serat daun nanas 1% (BLK-1%) menunjukkan hasil yang berbeda. Beban yang diterima oleh BLK-1% lebih besar dibanding BC. Balok mengalami retak awal pada beban (P_{crack}) sebesar 10,011 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 1,06 mm. Grafik mengalami kelandaian pada beban (P) sebesar 25,426 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 4,04 mm. Seiring dengan penambahan beban, balok tidak menunjukkan kekuatan. Namun, lendutan terus mengalami peningkatan hingga akhirnya mengalami keruntuhan pada beban maksimum (P_{maks}) sebesar 27,528 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 8,04 mm.

Grafik analisa variasi balok dengan campuran serat daun nanas 1,5% (BLK-1,5%) menunjukkan hasil yang berbeda dari benda uji lainnya. Balok mengalami retak awal pada beban (P_{crack}) sebesar 7,588 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 0,63 mm. Seiring dengan bertambahnya beban terjadi perpanjangan dan pelebaran retak. Seiring dengan pertambahan beban, balok tidak menunjukkan kekuatan namun lendutan terus mengalami peningkatan yang akhirnya balok mengalami keruntuhan pada beban maksimum (P_{maks}) sebesar 26,578 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 5,87 mm.

Grafik analisa variasi balok dengan campuran serat daun nanas 2% (BLK-2%) menunjukkan balok mengalami retak awal retak awal pada saat beban (P_{crack}) sebesar 7,615 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 1,63 mm. Grafik sudah menunjukkan kelandaian pada beban (P) sebesar 11,740 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 3,14 mm. Seiring dengan pertambahan beban, balok tidak menunjukkan kekuatan namun lendutan terus mengalami peningkatan yang akhirnya balok mengalami keruntuhan pada beban maksimum (P_{maks}) sebesar 12,523 kN dengan defleksi (Δ) sebesar 2,89 mm.



Gambar 5. Grafik Kapasitas pada Balok

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 5. menunjukkan hubungan antara beban maksimum (P_{maks}) dan variasi balok beton bertulang rangkap. Secara umum, kinerja balok mengalami penurunan pada balok dengan campuran serat daun nanas lebih dari 1%. Tingkat kepercayaan bahwa kapasitas balok dipengaruhi oleh pemberian serat sebanyak 1% mempunyai tingkat kepercayaan koefisien determinasi sebesar 98,19% Artinya 98,19% menunjukkan pengaruh kinerja balok disebabkan oleh pemberian serat daun nanas

dapat dipercaya. Kinerja balok optimum terjadi pada beban maksimum (P_{maks}) sebesar 27,53 kN. Beban maksimum (P_{maks}) pada BLK-1% lebih tinggi 5 kN dibanding balok BC.

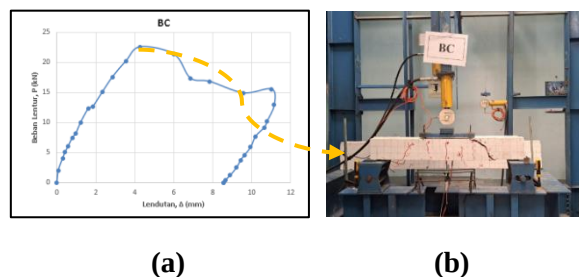
G. Analisa Pola Retak

Menurut Gunawan, (2023) Retakan ini dapat terjadi akibat berbagai faktor seperti beban berlebih, perubahan suhu, dan kelembapan. Retakan pada pengujian ini adalah akibat pemberian beban. Pengamatan ini juga bertujuan untuk mengetahui perilaku retak dan keruntuhan yang terjadi pada balok tersebut. Pengamatan dilakukan dengan cara mengamati dan memberi tanda pada retakan yang terjadi saat penambahan beban. Beban yang diberikan ditambah secara perlahan. Pola retak pada balok bisa dilihat pada **Tabel 7.** dan **Gambar 6.** hingga **Gambar 9.**

Tabel 7. Pola Retak pada Balok

Kode	P Maks (kN)	P Retak Awal (kN)	Jumlah Retak
BC	22,562	8,169	18
BLK-1%	27,528	10,011	20
BLK-1,5%	26,578	7,588	16
BLK-2%	12,523	7,615	6

Sumber : Data Penelitian, 2024.

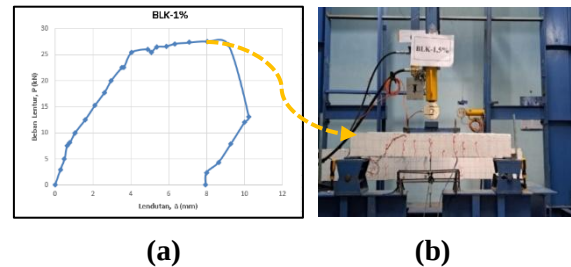


Gambar 6. Pola Retak Balok BC (a) Grafik Hasil Uji Balok BC, (b) Gambar Uji Balok BC
Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 6. menunjukkan benda uji BC mengalami retak awal pada beban 8,169 kN. Proses retak dimulai dengan retak lentur yang menandakan sebagai retak awal. Saat retak awal terdapat 4 retak lentur. Pada beban 20,202 kN balok mengalami perpanjangan retak dan penambahan retak seiring dengan bertambahnya beban. Seiring dengan pertambahan beban, balok tidak menunjukkan kekuatan namun lendutan dan lebar retak terus

Pengaruh terendah terhadap kinerja balok adalah pada BLK-2% dengan selisih dari beton normal (BC) sebesar 10,01 kN.

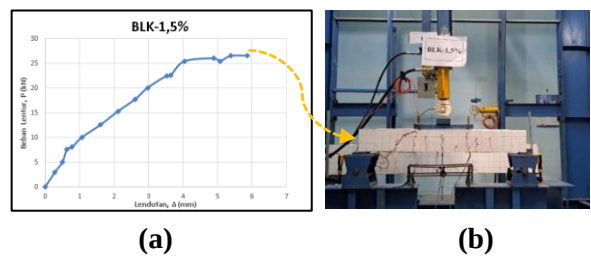
mengalami peningkatan yang akhirnya balok mengalami keruntuhan pada beban maksimum sebesar 22,562 kN.



Gambar 7. Pola Retak Balok BLK-1% (a) Grafik Hasil Uji Balok BLK-1%, (b) Gambar Uji Balok BLK-1%

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 7. menunjukkan benda uji BLK-1,5% mengalami retak awal pada beban 7,588 kN. Saat terjadi retak awal terdapat 3 retak lentur yang menandakan bahwa balok akan mencapai keruntuhan. Setelah itu pada beban 25,426 kN balok mengalami perpanjangan retak dan penambahan retak seiring dengan bertambahnya beban. Seiring dengan pertambahan beban, balok tidak menunjukkan kekuatan namun lendutan dan lebar retak terus mengalami peningkatan yang akhirnya balok mengalami keruntuhan pada beban maksimum sebesar 26,578 kN.

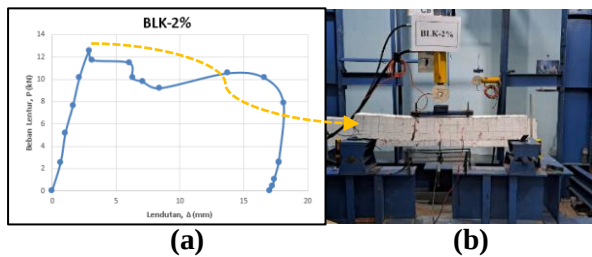


Gambar 8. Pola Retak Balok BLK-1,5% (a) Grafik Hasil Uji Balok BLK-1,5%, (b) Gambar Uji Balok BLK-1,5%

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 8. menunjukkan benda uji BLK-1,5% mengalami retak awal pada beban 7,588 kN. Saat terjadi retak awal terdapat 3 retak

lentur yang menandakan bahwa balok akan mencapai keruntuhan. Setelah itu pada beban 25,426 kN balok mengalami perpanjangan retak dan penambahan retak seiring dengan bertambahnya beban. Seiring dengan pertambahan beban, balok tidak menunjukkan kekuatan namun lendutan dan lebar retak terus mengalami peningkatan yang akhirnya balok mengalami keruntuhan pada beban maksimum sebesar 26,578 kN.



Gambar 9. Pola Retak Balok BLK-2% (a) Grafik Hasil Uji Balok BLK-2%, (b) Gambar Uji Balok BLK-2%

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 9. menunjukkan benda uji BLK-2% mengalami retak pada awal pada beban 7,615 kN. Pada awal keretakan benda uji terdapat 3 retak lentur yang menandakan bahwa balok akan mencapai keruntuhan. Balok mengalami perpanjangan retak dan penambahan retak seiring dengan bertambahnya beban. Seiring dengan pertambahan beban, balok tidak menunjukkan kekuatan namun lendutan dan lebar retak terus mengalami peningkatan yang akhirnya balok mengalami keruntuhan pada beban maksimum sebesar 12,523 kN.

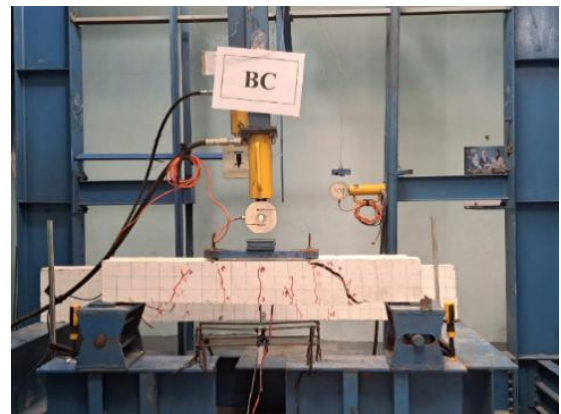
H. Analisa Keruntuhan Balok

Analisis keruntuhan balok adalah proses penting dalam teknik sipil untuk memastikan bahwa balok struktur dapat menahan beban yang diterima tanpa mengalami kerusakan atau keruntuhan. Keruntuhan balok dapat terjadi dalam berbagai bentuk, seperti keruntuhan lentur, geser, atau torsi. Oleh karena itu, analisis yang komprehensif diperlukan untuk memastikan keamanan dan keandalan struktur.

Keruntuhan adalah fenomena di mana suatu struktur atau elemen bangunan mengalami kegagalan secara tiba-tiba atau progresif yang mengakibatkan kehancuran fungsional atau

total. Keruntuhan ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor seperti beban berlebih, cacat konstruksi, atau kegagalan material.

Keruntuhan yang biasa terjadi pada struktur balok pada umumnya adalah keruntuhan lentur. Keruntuhan lentur terjadi apabila rasio bentang (L) dan tinggi balok (h) cukup besar. Untuk rasio balok yang kecil maka keruntuhan geser akan mendominasi balok tersebut. Keruntuhan geser diawali dengan timbulnya retak dengan arah diagonal. Sedangkan balok dengan perilaku lentur bersifat duktail. Sedangkan balok yang runtuh karena adanya pecah akibat tekan mengalami deformasi dengan muncul retakan terlebih dahulu sebelum terjadi keruntuhan. Keruntuhan pada balok dapat dilihat pada **Gambar 10.** hingga **Gambar 13.**



Gambar 10. Keruntuhan pada Balok BC

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 10. menunjukkan balok mengalami retak lentur yang berawal dari bagian bawah balok saat diberi beban sebesar 8,169 kN. Dengan meningkatnya beban yang diberikan pada balok, retak mengalami perpanjangan serta terdapat retak – retak baru pada balok. Keruntuhan terjadi pada beban sebesar 22,562 kN. Keruntuhan yang terjadi pada benda uji tersebut adalah keruntuhan geser karena adanya retak diagonal pada benda uji. Pada saat pengujian, benda uji tidak langsung mengalami keruntuhan melainkan benda uji mengalami keretakan terlebih dahulu yang biasa disebut keruntuhan duktail dikarenakan L/h yang cukup besar. Retak diagonal tersebut semakin memanjang dan melebar menuju titik pembebanan seiring dengan terjadinya

penambahan beban sampai akhirnya terjadi kegagalan geser.



Gambar 11. Keruntuhan pada Balok BLK-1%
Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 11. menunjukkan balok mengalami retak lentur yang berawal dari bagian bawah balok saat diberi beban sebesar 10,011 kN. Dengan meningkatnya beban yang diberikan pada balok, retak mengalami perpanjangan serta terdapat retak – retak baru pada balok. Keruntuhan terjadi pada saat beban sebesar 27,528 kN. Keruntuhan lentur terjadi setelah balok mengalami deformasi dengan lendutan sebesar 8,04 mm. Keruntuhan yang terjadi pada benda uji ini diakibatkan oleh beban lentur. Benda uji BLK-1% mengalami kegagalan lentur yang bersifat daktail. Pada saat pengujian, benda uji tidak langsung mengalami keruntuhan melainkan benda uji mengalami keretakan terlebih dahulu dikarenakan L/h yang cukup besar.

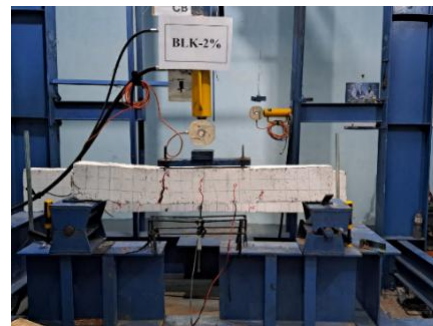


Gambar 12. Keruntuhan Balok BLK-1,5%
Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 12. menunjukkan balok mengalami retak lentur yang berawal dari bagian bawah balok saat diberikan beban sebesar 7,588 kN. Dengan meningkatnya beban yang diberikan pada balok, retak mengalami

perpanjangan serta terdapat retak – retak baru pada balok. Keruntuhan yang didapat dari benda uji tersebut adalah keruntuhan geser karena adanya retak diagonal pada benda uji. Keruntuhan pada balok terjadi pada beban sebesar 26,578 kN. Pada saat pengujian, benda uji tidak langsung mengalami keruntuhan melainkan benda uji mengalami keretakan terlebih dahulu yang biasa disebut keruntuhan

daktail dikarenakan L/h yang cukup besar. Retak diagonal tersebut semakin memanjang dan melebar menuju titik pembebanan seiring dengan terjadinya penambahan beban sampai akhirnya terjadi kegagalan geser.



Gambar 13. Keruntuhan pada Balok BLK-2%
Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 13. menunjukkan balok mengalami retak lentur yang berawal dari bagian bawah balok saat diberi beban sebesar 7,615 kN. Dengan meningkatnya beban yang diberikan pada balok, retak mengalami perpanjangan serta terdapat retak – retak baru pada balok. Keruntuhan pada balok terjadi pada beban sebesar 12,523 kN. Keruntuhan lentur terjadi setelah balok mengalami deformasi dengan lendutan sebesar 8,04 mm. Keruntuhan yang terjadi pada balok BLK-2% diakibatkan oleh beban lentur. Benda uji BLK-2% mengalami kegagalan lentur yang bersifat daktail. Pada saat pengujian, benda uji tidak langsung mengalami keruntuhan melainkan benda uji mengalami keretakan terlebih dahulu dikarenakan L/h yang cukup besar.

I. Analisa Kekakuan Pada Balok

Dalam hasil penelitian ini akan menghasilkan nilai kekakuan yang didapatkan dari hasil gaya tekan dan deformasi. Kekakuan dibutuhkan untuk menjaga konstruksi agar tidak melendut melebihi lendutan yang disyaratkan. Kekakuan adalah gaya yang dibutuhkan untuk

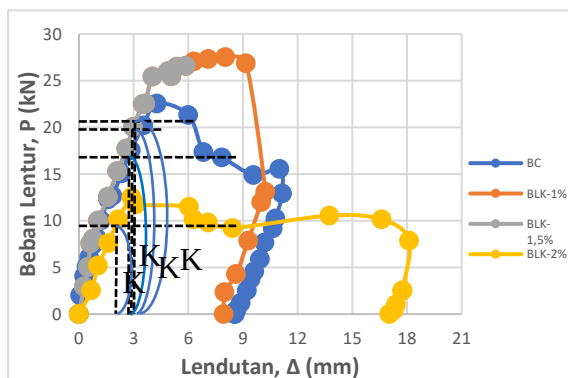
memperoleh sebuah unit displacement. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan antar beban dan deformasi.

Untuk mencari nilai modulus elastisitas benda uji adalah untuk nilai tekannya diambil dari 75% nilai beban maksimum dan untuk nilai deformasinya didapatkan dari nilai deformasi pada saat nilai gaya tekan yang didapat 75% dari beban maksimum.

Tabel 8. Kekakuan pada Balok

Kode	Pmaks	75% Pmaks	ΔL	Kekakuan
BC	22,526	16,895	2,6	6,498
BLK-1%	27,528	20,646	2,8	7,374
BLK-1,5%	26,578	19,934	2,9	6,874
BLK-2%	12,523	9,392	2,0	4,696

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

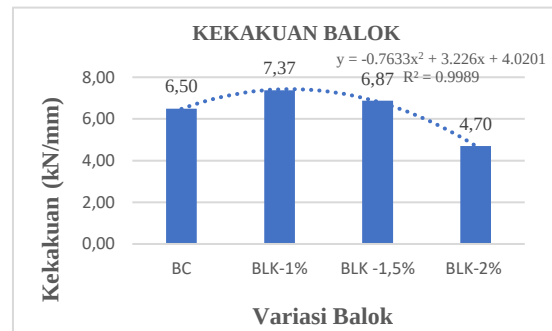


Gambar 14. Grafik Kekakuan pada Balok

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Tabel 8. dan **Gambar 14.** menunjukkan nilai kekakuan balok normal dan variasi balok dengan campuran serat daun nanas. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kekakuan balok normal (BC) sebesar 6,498 kN/mm, nilai kekakuan balok dengan campuran serat daun nanas 1% (BLK-1%) sebesar 7,374 kN/mm, nilai kekakuan balok dengan campuran serat daun nanas 1,5% (BLK-1,5%) sebesar 6,874 kN/mm, nilai kekakuan balok dengan campuran serat daun nanas 2% (BLK-2%) sebesar 4,696 kN/mm. Nilai kekakuan balok BLK-1% merupakan nilai kekakuan terbesar dengan nilai kekakuan sebesar 7,374 kN/mm. Sedangkan, nilai kekakuan terkecil adalah balok BLK-2% sebesar 4,696 kN/mm. Hasil perhitungan

menunjukkan penambahan campuran serat daun nanas dapat meningkatkan kekakuan pada balok. Namun, campuran serat daun nanas menjadi tidak efektif saat dicampurkan lebih dari campuran 1% dari berat semen.



Gambar 15. Grafik Kekakuan pada Balok

Sumber : Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 15. menunjukkan hubungan antara kekakuan dan variasi balok beton bertulang rangkap. Secara umum, penambahan serat daun nanas menyebabkan kekakuan cenderung menurun pada balok dengan campuran serat daun nanas lebih dari 1%. Tingkat kepercayaan bahwa kekakuan balok dipengaruhi oleh pemberian serat sebanyak 1% mempunyai tingkat kepercayaan koefisien determinasi sebesar 99,89% Artinya 99,89% menunjukkan pengaruh kekakuan balok disebabkan oleh pemberian serat daun nanas dapat dipercaya. Kekakuan balok optimum terjadi pada kekakuan 7,37 kN/mm. Kekakuan pada BLK-1% lebih tinggi 0,87 kN/mm dibanding balok BC. Pengaruh terendah terhadap kekakuan adalah pada BLK-2% dengan selisih dari beton normal (BC) sebesar 1,80 kN/mm.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil dari penelitian kali ini yaitu :

1. Secara umum, penambahan serat daun nanas menyebabkan kekakuan cenderung menurun pada balok dengan campuran serat daun nanas lebih dari 1%. Tingkat kepercayaan bahwa kekakuan balok dipengaruhi oleh pemberian serat sebanyak 1% mempunyai tingkat kepercayaan koefisien determinasi sebesar 99,89%. Artinya 99,89%

menunjukkan pengaruh kekakuan balok disebabkan oleh pemberian serat daun nanas dapat dipercaya. Kekakuan balok optimum terjadi pada kekakuan 7,37 kN/mm. Kekakuan pada BLK-1% lebih tinggi 0,87 kN/mm dibanding balok BC. Pengaruh terendah terhadap kekakuan adalah pada BLK-2% dengan selisih dari beton normal (BC) sebesar 1,80 kN/mm.

2. Pola retak dan keruntuhan balok diawali dengan retak lentur. Pola retak yang terjadi pada balok BC dan balok BLK-1,5% adalah retak geser. Pola retak yang terjadi pada balok BLK-1% dan BLK-2% adalah retak lentur. Balok paling optimum adalah balok BLK-1% dengan jumlah retakan sebanyak 20 retakan. Balok mengalami retak lentur bersifat daktail. Secara umum kekakuan linear dengan kinerja balok yaitu menunjukkan kenaikan pada balok BLK-1%. Secara umum, penambahan serat daun nanas pada balok menunjukkan kinerja balok cenderung menurun pada balok dengan campuran serat daun nanas lebih dari 1%. Pengaruh penambahan serat daun nanas terhadap kinerja balok menunjukkan optimum pada BLK-1%. Secara umum, tingkat kepercayaan bahwa kapasitas balok dipengaruhi oleh pemberian serat sebanyak 1% mempunyai tingkat kepercayaan koefisien determinasi sebesar 98,19%. Artinya 98,19% menunjukkan pengaruh kinerja balok disebabkan oleh pemberian serat daun nanas dapat dipercaya. Kinerja balok optimum terjadi pada beban maksimum (P_{maks}) 27,53 kN. Beban maksimum (P_{maks}) pada BLK-1% lebih tinggi 5 kN dibanding balok BC. Pengaruh terendah terhadap kinerja balok adalah pada BLK-2% dengan selisih dari beton normal (BC) sebesar 10,01 kN.

B. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan kepada peneliti untuk menambah variasi dimensi tulangan yang digunakan dalam pengujian.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk penambahan campuran serat daun nanas dapat lebih bervariasi dengan variasi kurang dari 1%.

3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk para peneliti melakukan uji daya tahan (*Durability*) pada beton normal dan beton dengan campuran serat daun nanas.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia I.K. 2020. *Analisis Pengaruh Kuat Tarik Beton Dengan Accelerator Terhadap Penambahan Serat Daun Nanas*. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Bojonegoro.
- Aprillia, W. N., Muhtar, Gunasti A.. 2023. Komparasi Momen Retak Teoritis dan Eksperimental Balok Beton Bertulang Rangkap dengan Agregat Normal. *Jurnal Smart Teknologi*. Vol. 4. No.4. Halaman 100-102
- ASTM-C33. 2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Annual Books of ASTM Standards: USA.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Dady, Y.T.. 2015. Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 3. No. 5 (341-350). ISSN 2337-6732.
- Daud, Z., . Hatta, M. Z. M., Kassim, A. S. M., and Arip, A. M. 2014. Analysis of the Chemical Compositions and Fiber Morphology of Pineapple (Ananas comosus) Leaves in Malaysia. *Journal*
- Madani, A.P.N.M., Abdi, F.N., dan Haryanto, B. 2023. Penerapan Balok Bertulangan Tunggal Pada Ring Balk Untuk Menekan Biaya Konstruksi. *Jurnal Teknologi Sipil*. Vol. 7. No.1. of *Applied Science*. 14(12). 1355-1358.
- Muhtar., Gunasti, A., and Manggala, A.S. 2024. Utilization of Bamboo for Concrete Columns in Earthquake-Resistant

Simple Houses in Indonesia. *Elsevier*.
Vol.20. e02941.

- Muhtar., S. M, Dewi, Wisnumurti., and A. Munawir. 2018. The Stiffness and Cracked Pattern of Bamboo Reinforced Concrete Beams Using a Hose Clamp. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 9(8).273-284
- Muhtar. 2024. The Use of a Bamboo Reinforced Concrete Foundation for a Simple Enviromentally Friendly House in Indonesia. *Elsevier* .Vol.6. 100056
- Muhtar, A.Gunasti. 2023. Experimental Evaluation of Axial Compression Performance of Precast Panels from Bamboo-Reinforced Concrete. *Elsevier*. Vol.16. 100155
- Muhtar. 2023. Performance –Based Experimental Study Into Quality Zones of Lightweight Concrete Using Pumice Aggregates. *Elsevier*. Vol.18. Part 2. Pages 1606-1613.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi : Jakarta.
- Mulyono, Tri .2005. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi : Jakarta.
- Priyono, P .2019. *Buku Ajar Struktur Beton Bertulang I Berdasarkan SNI 2847-2013*, Pustaka Abadi, Jember
- Tjokrodimuljo, Kardiyono 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas UGM, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Tekonologi Beton*. Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta
- .