

**Pengujian Kuat Lentur dan Kuat Tekan pada variasi komposisi Beton Bertulang
Dengan Penambahan Serat Daun Nanas**
*Testing of Flexural Strength and Compressive Strength in Variations of
Reinforced Concrete Composition with Pineapple Fiber Addition*

Cansa Dana Rosyadi¹⁾, Muhtar²⁾, Ilanka Cahya Dewi³⁾

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: cansadana20@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: muhtar@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: ilankadewi@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Beton serat merupakan material konstruksi yang menggabungkan semen, air, agregat halus, agregat kasar, dan serat (fiber) untuk memperbaiki kekuatan tarik beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan serat daun nanas sebagai penguat dalam beton bertulang untuk meningkatkan kapasitas lentur dan daktilitas. Serat daun nanas dipilih karena memiliki kuat tarik yang tinggi, yakni 35,4 MPa. Dalam penelitian ini, balok beton berukuran 1,1 m x 0,15 m x 0,075 m diuji dengan variasi campuran serat daun nanas sebanyak 0%, 1%, 1,5%, dan 2%. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Beton Universitas Muhammadiyah Jember dengan pengujian three-point bending dengan dua tumpuan dan satu penekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas lentur optimum ditemukan pada balok dengan campuran 1% serat daun nanas (BLK-1%), sementara performa paling rendah tercatat pada balok dengan 2% serat (BLK-2%). Daktilitas juga optimum pada BLK-1% dan menurun pada BLK-1,5%, namun meningkat lagi pada BLK-2%. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan serat daun nanas dapat meningkatkan kapasitas lentur dan daktilitas beton hingga batas tertentu, namun penambahan berlebih justru dapat menurunkan performa material.

Kata Kunci: Balok Bertulang Ganda, Daktilitas, Kapasitas Lentur, Serat Daun Nanas.

Abstract

Fiber reinforced concrete is a building material that combines cement, water, fine aggregates, coarse aggregates and fibers to improve the tensile strength of concrete. The objective of this research is to evaluate the use of pineapple leaf fibers as reinforcement in reinforced concrete to increase flexural strength and ductility. Pineapple leaf fibers were selected because of their high tensile strength of 35.4 MPa. In this research, concrete blocks measuring 1.1 m x 0.15 m x 0.075 m were tested with variations of pineapple leaf fiber blends of 0%, 1%, 1.5%, and 2%. The research method was carried out experimentally at the Concrete Laboratory of Muhammadiyah University Jember by testing three-point bending using two supports and one press. The research results showed that the optimum bending capacity was found in beams with 1% pineapple leaf fiber mixture (BLK-1%), while the lowest performance was found in beams with 2% fiber (BLK-2%). Also, the ductility is optimal at BLK-1% and decreases at BLK-1.5%, but increases again at BLK-2%. These results indicate that the addition of pineapple leaf fiber can increase the flexural capacity and ductility of concrete to a certain extent, but excessive addition can actually affect the material performance.

Keywords: Double Reinforce Beams, Ductility, Flexural Capacity, Pineapple Leaf Fiber.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang paling penting dan banyak digunakan dalam konstruksi modern. Karena kekuatan dan ketahanannya, beton sering dipilih untuk berbagai aplikasi seperti pondasi, gedung, jembatan, bendungan, jalan raya, dan infrastruktur lainnya (Li et al., 2019). Namun, meskipun beton terkenal karena ketahanannya, ia memiliki kelemahan inheren, terutama dalam hal kekuatan tarik yang rendah dan kecenderungan untuk retak. Untuk mengatasi kelemahan ini, penambahan bahan tambahan seperti serat ke dalam beton telah menjadi solusi yang menarik (Bui et al., 2020).

Serat yang digunakan dalam beton dapat terbuat dari bahan alami seperti wool, sutra, kelapa, daun nanas, dan lidah buaya, serta bahan sintesis seperti baja, polipropilena, kaca, dan serat karbon (Huang et al., 2021). Penambahan serat bertujuan untuk memperbaiki kekuatan tarik dan mengurangi potensi retak pada beton. Dalam konteks ini, serat daun nanas menjadi pilihan yang menarik karena kandungan selulosa yang tinggi (69,5% hingga 71,5%) dan kekuatan tarik yang cukup tinggi, mencapai 35,4 MPa (Yadav et al., 2022).

Balok beton bertulang adalah elemen struktural horizontal yang penting, berfungsi untuk menyalurkan momen ke kolom-kolom dan memikul beban dari pelat lantai dan kolom di atasnya. Beban lentur yang bekerja pada balok menyebabkan serat bagian bawah mengalami tegangan tarik dan serat bagian atas mengalami tegangan tekan (Zhang et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas lentur dan daktilitas beton bertulang yang menggunakan serat daun nanas sebagai bahan tambahan. Melalui studi ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai kinerja struktural beton serat daun nanas dalam aplikasi konstruksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Beton merupakan material bangunan komposit yang terbuat dari campuran agregat dan semen sebagai bahan pengikat. Agregat

yang digunakan biasanya berupa kerikil dan pasir. Beton terbentuk melalui proses pengerasan campuran air, semen, agregat kasar dan halus. Beton memiliki kekuatan yang kuat dengan tekstur yang halus dan permukaan yang datar (Tjokrodinuljo, 2020).

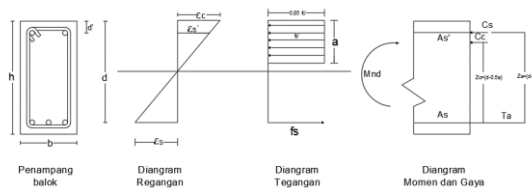
Beton dibuat dengan mencampur material batuan yang diikat dengan perekat semen. Material batuan yang digunakan untuk membuat beton secara umum terbagi menjadi agregat kasar (kerikil/pasir pecah) dan agregat halus (pasir) (Kementerian Pekerjaan Umum, 2021). Perlu diketahui bahwa beton memiliki banyak jenis. Secara umum, penggunaan agregat dalam campuran beton sekitar 70%-75% dari total beton. Kekuatan dan keawetan beton bergantung pada banyak faktor, antara lain nilai perbandingan campuran dan kualitas agregat, metode pembuatan campuran beton, suhu dan kondisi pengerasan, dan lain-lain (Sukirman, 2022). Kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan merupakan material getas. Nilai kuat tariknya antara 9% hingga 15% dari kuat tekannya. Bila digunakan sebagai komponen struktur bangunan, beton pada umumnya diperkuat dengan 10 batang tulangan baja sebagai material yang dapat bekerja sama dan mampu mengimbangi kelemahannya, terutama pada bagian yang dimaksudkan untuk menahan tarikan (Hadi, 2020).

B. Kapasitas Lentur Balok

Dalam kondisi gaya kompleks, lentur terjadi ketika anggota (balok) mengalami lentur akibat beban transversal. Akibat aksi lentur, serat pada permukaan anggota longitudinal mengalami tarikan dan kompresi. Tegangan ini bekerja tegak lurus pada luas penampang struktur. Kekuatan penampang (anggota) yang mengalami lentur dipengaruhi oleh distribusi material pada penampang dan jenis material. Sebagai respons (reaksi) terhadap lenturan yang bekerja pada penampang struktur, penampang memberikan gaya penahan (aksi) untuk mengimbangi gaya tarik dan gaya kompresi yang bekerja padanya (Wibowo, 2020).

Distribusi tegangan dan regangan beton pada penampang bentuknya setara dengan

kurva tegangan-regangan beton seperti pada **Gambar 1**



Gambar 1. Diagram Regangan, Tegangan dan Gaya dalam Penampang Tulangan Rangkap

Sumber: Butsaimah, 2021

Gambar 1 menunjukkan distribusi tegangan dalam bentuk garis lengkung dengan nilai nol pada garis netral. Dapat dilihat bahwa tegangan tekan C_c , yang merupakan tegangan maksimum, tidak berada pada serat tepi tekan terluar melainkan di bagian dalam. Untuk komposisi tertentu, balok menahan beban sedemikian rupa sehingga tegangan tekan beton maksimum (ϵ'_b maks) mencapai 0,003 sementara tegangan tarik baja tulangan mencapai titik leleh f_y . Ketika ini terjadi, penampang tersebut dikatakan telah mencapai keseimbangan regangan atau disebut penampang bertulang seimbang. Ini berarti bahwa komposisi beton dengan jumlah baja tertentu juga memberikan kondisi putus tertentu (Sutanto, B. 2018).

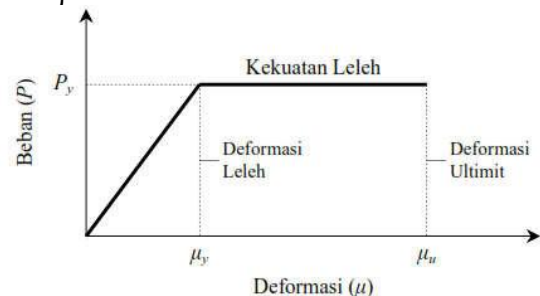
Berdasarkan asumsi-asumsi di atas, maka dapat dilakukan pengujian terhadap regangan, tegangan, dan gaya yang terjadi pada penampang balok yang menahan momen batas, yaitu momen akibat beban luar yang timbul pada saat balok tersebut terjepit pada kondisi tersebut. Momen tersebut tercermin dalam kuat lentur ultimit balok. Kuat lentur balok beton disebabkan oleh mekanisme tegangan dalam yang terus menerus yang timbul di dalam balok dan pada keadaan tertentu dapat direpresentasikan oleh gaya-gaya dalam. Sebutan T_s merupakan resultan gaya tarik dalam, yaitu jumlah semua gaya tarik yang dihitung untuk luas di bawah garis netral. Kedua gaya ini sejajar arahnya, besarnya

sama, tetapi arahnya berlawanan dan dipisahkan oleh jarak (c), sehingga membentuk sepasang modulus penampang dalam yang nilai maksimumnya merupakan kuat lentur atau modulus penampang dari bagian anggota struktur fleksibel tersebut (Hidayat, 2021).

C. Daktilitas

Menurut SNI 1726-2019, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk mengalami simpangan pasca elastis yang besar dan berulang-ulang akibat beban seismik, sehingga terjadi luluh pertama, serta tetap memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup sehingga struktur tersebut tetap dalam keadaan runtuh. Faktor daktilitas adalah perbandingan antara simpangan maksimum struktur pada saat mencapai keadaan di ambang keruntuhan dengan simpangan struktur pada saat pelelehan pertama struktur tersebut terjadi.

Menurut Paulay dan Priestly (1975), daktilitas merupakan kemampuan struktur atau sub-struktur untuk menahan respon inelastik yang dominan dalam memikul beban agar tidak runtuh. Secara matematis, nilai daktilitas (μ) struktur didefinisikan sebagai perbandingan antara suatu parameter deformasi rencana maksimum struktur (u) dengan deformasi pada saat terjadinya leleh pertama pada struktur yang ditinjau (y). **Gambar 3** menunjukkan parameter deformasi yang umum dikenal adalah kurvatur (curvature), putaran sudut (rotational), regangan (strain) dan perpindahan (displacement). Besarnya daktilitas diidentifikasi sebagai displacement ductility faktor μ , dan perhitungannya menggunakan persamaan berikut: $\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$. Menurut Priyono, P (2019), nilai $\mu > 1$.



Gambar 3 Daktilitas pada Balok

Sumber : Zardan, 2021

D. Beton Serat

Beton serat (*Fiber reinforced concrete*) menurut ACI Commite adalah konstruksi beton dengan bahan susun semen, agregat halus, agregat kasar, dan sebagian kecil serat (*fiber*). Beton pada dasarnya adalah suatu bahan yang dibuat dengan menambah potongan-potongan serat kedalam campuran adukan beton dengan jumlah tertentu.

Selanjutnya menurut Kardiyono, jika serat yang dipakai mempunyai, modulus elastisitas yang lebih tinggi dari pada beton maka serat akan bersifat lebih tahan terhadap benturan dan lenturan, adapun jika modulus elastisitas serat lebih rendah dari beton maka hanya membuat beton lebih tahan terhadap benturan saja (Kardiyono, 2023).

3. METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Metode penelitian dirancang dengan membuat benda uji di Laboratorium. Pada rancangan penelitian ini digunakan proporsi serat nanas sebesar 0%, 1%, 1,5% dan 2% terhadap berat semen. Benda uji beton berupa balok dengan dimensi 1,1 m x 0,075 x 0,15 untuk pengujian kuat tekan beton, jumlah benda uji penelitian sebanyak 4 buah dengan umur 28 hari dengan rincian sebagai berikut:

- 1 buah balok bertulang normal diuji pada umur 28 hari.
- 1 buah sampel balok bertulang dengan campuran serat daun nanas 1% dari berat semen.
- 1 buah sampel balok bertulang dengan campuran serat daun nanas 1,5 % dari berat semen.
- 1 buah sampel balok bertulang dengan campuran serat daun nanas 2% dari berat semen.

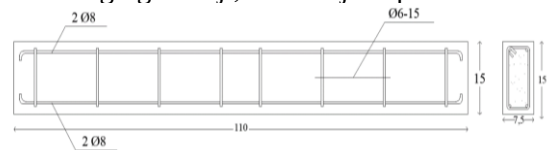
Material pembentuk beton yang digunakan yaitu:

- Semen: yang digunakan untuk penelitian ini yaitu semen gresik
- Agregat kasar: yang digunakan yaitu koral yang berasal dari desa subo, kecamatan pakusari, kabupaten jember.
- Agregat halus: yang digunakan yaitu pasir yang berasal dari sungai lumajang.
- Air: yang digunakan adalah air bersih yang memenuhi persyaratan untuk campuran

beton, yaitu air yang tersedia di laboratorium beton, Universitas Muhammadiyah Jember.

- Baja Tulangan: yang digunakan yaitu tulangan polos D8 mm untuk tulangan utama dan tulangan polos Ø6 mm untuk tulangan sengkang
- Serat daun nanas

Untuk memudahkan pengujian berikutnya. Siapkan semua bahan campuran beton dan timbang bahan – bahan tersebut sesuai persyaratan pengujian agregat kasar dan halus. Setelah agregat diuji, benda uji siap di buat.



Gambar 4. Detail Benda Uji

Sumber: Data Penelitian, 2024

B. Data Penelitian

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

1. Data Primer

Data ini adalah data yang diperoleh dari hasil perhitungan di Laboratorium seperti

- a. Analisa saringan Agregat.
 - b. Berat jenis dan penyerapan.
 - c. Pemeriksaan kadar air agregat.
 - d. Pemeriksaan kadar lumpur agregat.
 - e. Pemeriksaan berat isi agregat.
 - f. Perbandingan dalam campuran beton (*Mix Design*).
 - g. Kekentalan adukan beton segar (*Slump*).
 - h. Uji kuat tekan beton.
- ##### 2. Data Sekunder

Data ini merupakan data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan teknik beton (*Literature*), panduan pembuatan beton dan data-data teknis SNI 2847-2019 serta buku-buku SNI lainnya yang berhubungan dengan beton, buku literatur ASTM (*American Society for Testing and Materials*), konsultasi dengan dosen pembimbing secara langsung serta tim pengawas Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember sebagai penunjang guna untuk memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Agregat

Pada penelitian ini koral (agregat kasar) adalah koral dengan ukuran 10 mm. Pasir (agregat halus) yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Lumajang. Hasil uji agregat sangat penting untuk memastikan bahwa material yang digunakan dalam konstruksi memenuhi standar kualitas dan spesifikasi Penelitian. Hasil yang baik dari uji agregat menjamin bahwa beton yang dihasilkan akan memiliki kekuatan, daya tahan, dan stabilitas yang memadai. Hasil pengujian menghasilkan nilai analisa ayakan, kadar air, berat jenis, berat volume, penyerapan air, kadar lumpur dan keausan agregat kasar. Pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Muhammadiyah Jember. Hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 1**

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	2,721	2,584
Berat volume	gram/cm	1,352	1,197
Analisa ayakan	%	3,909	7,278
Keausan Agregat	%	-	32,14

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

B. Proporsi Agregat

Perancangan komposisi campuran beton menggunakan bahan tambahan serat daun nanas. Mutu rancangan beton yang digunakan pada penelitian ini adalah $f'c$ 20 Mpa. Dari hasil perencanaan campuran beton, maka proporsi campuran beton silinder dapat dilihat pada **Tabel 2** dan proporsi campuran balok bertulang dapat dilihat pada **Tabel 3**

Tabel 2. Proporsi Campuran Beton Silinder

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

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Tabel 3. Proporsi Campuran Beton Bertulang

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

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

C. Pengujian Slump

Sebelum beton segar dituang ke dalam cetakan, terlebih dahulu dilakukan uji slump untuk mengetahui seberapa kental campuran beton tersebut. Metode ini sederhana dan penting dalam memastikan bahwa beton dapat dicetak tanpa kesulitan, serta bahwa campurannya homogen dan memenuhi standar kualitas. Nilai slump ditentukan menggunakan kerucut Abrams dengan mengisi kerucut Abrams dengan beton segar sebanyak 3 lapis.

Setiap lapis kira-kira 1/3 isi kerucut. Kemudian dilakukan pencampuran sebanyak 25 kali pada setiap lapis. Setelah pengisian dan rojokan selesai, ratakan permukaan kerucut kemudian angkat kerucut dengan tegak lurus hingga campuran beton terlepas semua dari cetakan kerucut, ukur tinggi campuran selisih tinggi kerucut dengan campuran itulah nilai slumpnya. Pengujian slump memberikan indikasi awal tentang kecocokan beton untuk berbagai aplikasi. Nilai slump yang terlalu tinggi atau

terlalu rendah dapat mempengaruhi kualitas dan kinerja beton akhir.

Tabel 4. Proporsi Campuran Beton

Variasi Campuran	Persentase Serat Daun Nanas (%)	Nilai <i>Slump</i> (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 3**, nilai slump terendah adalah 160 mm dan slump tertinggi adalah 180 mm. Slump tertinggi adalah pada balok campuran normal (BC) dengan slump sebesar 180 mm. Slump terendah tercatat pada balok dengan campuran serat daun nanas 2% (BLK-2%) dengan slump sebesar 160 mm. Slump menurun karena faktor penambahan serat daun nanas pada adukan semen.

D. Pengujian Kuat Tekan Beton

metode pengujian untuk menentukan kemampuan beton dalam menahan beban tekan

Tabel 5. Hasil Pengujian Beton

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

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

E. Pengujian Kuat Lentur Balok

Jumlah benda uji yang akan diuji dalam penelitian laboratorium adalah 4 buah dengan dimensi balok 7,5 cm × 15 cm × 110 cm. Balok diuji pada umur 28 hari. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui

tanpa mengalami keruntuhan. Pengujian ini mengukur kekuatan beton dengan menekan sampel beton hingga gagal dan mencatat beban maksimum yang dapat ditahan oleh sampel tersebut. Adapun Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton adalah silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengukuran kekuatan beton untuk memastikan bahwa campuran memenuhi spesifikasi teknis dan kekuatan yang direncanakan.

Memastikan bahwa beton yang digunakan dalam penelitian sesuai dengan persyaratan desain dan peraturan. Pengujian yang tepat dan analisis hasil yang cermat penting untuk memastikan bahwa struktur yang dibangun akan memiliki kekuatan dan daya tahan yang memadai. Hasil pengujian dilakukan terhadap 20 buah silinder dengan luas silinder yang sama sebesar 17678,6 mm² yang menghasilkan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari berdasarkan campuran tambahan serat daun nanas dengan persentase 0%, 1%, 1,5% dan 2% dapat dilihat pada **Tabel 5**.

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**

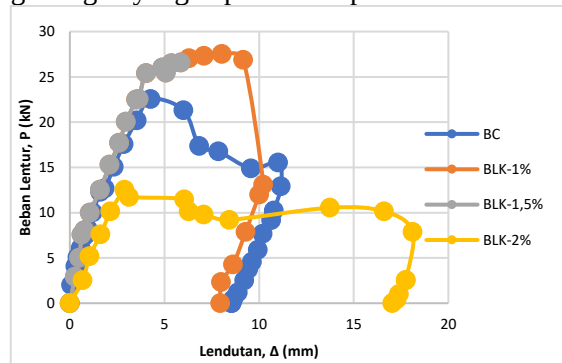
Tabel 6. Analisa Kuat Lentur Balok Berdasarkan Hasil Uji

Variasi	Bentang Balok (L) (mm)	Lebar Balok (b) (mm)	Tebal Balok (h) (mm)	P Retak Awal (P_{cr}) (kN)	Beban Lentur (P_{maks}) (N/mm ²)	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

Beban adalah gaya atau tekanan yang diterapkan pada struktur yang dapat berasal dari berbagai sumber, seperti berat material itu sendiri (beban mati) dan beban yang diterima dari aktivitas pengguna (beban hidup). Beban dapat memengaruhi kinerja struktur dan menentukan kekuatan serta stabilitasnya. Sedangkan, lendutan dapat disebabkan oleh defleksi material dan dapat mempengaruhi fungsi dan keamanan struktur. Dari hasil uji balok didapatkan hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ) dari balok normal, variasi dan gabungan yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Gambar 5 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%. Grafik analisis balok normal (BC) menunjukkan bahwa pada beban (P_{crack}) 8,169 kN, balok mengalami retak awal dengan lendutan (Δ) 0,97 mm. Seiring bertambahnya beban, retakan semakin bertambah dan melebar. Balok tidak menunjukkan kekuatan tetapi lendutan terus bertambah dan akhirnya balok runtuh pada beban (P_{maks}) 22,526 kN dan lendutan (Δ) 4,27 mm.

Grafik hasil analisis variasi balok dengan campuran serat daun nanas 1% (BLK-1%) menunjukkan hasil yang berbeda. Beban yang diterima BLK-1% lebih besar daripada BC. Balok mengalami retak awal pada beban (P_{crack}) 10,011 kN dengan lendutan (Δ) 1,06 mm. grafik menurun pada beban (P) 25,426 kN dan lendutan (Δ) 4,04 mm. Dengan bertambahnya beban, balok tidak menunjukkan kekuatan. Namun lendutan terus bertambah hingga

akhirnya mengalami keruntuhan pada beban maksimum (P_{maks}) 27,528 kN dengan lendutan (Δ) 8,04 mm.

Grafik analisis varian balok dengan campuran serat daun nanas 1,5% (BLK-1,5%) menunjukkan hasil yang berbeda dengan benda uji lainnya. Balok mengalami retak awal pada beban (P_{crack}) sebesar 7,588 kN dengan lendutan (Δ) sebesar 0,63 mm. Seiring bertambahnya beban, retak tersebut bertambah dan melebar. Seiring bertambahnya beban, balok tidak menunjukkan kekuatan, tetapi lendutan terus bertambah hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan pada beban maksimum (P_{maks}) sebesar 26,578 kN dengan lendutan (Δ) sebesar 5,87 mm.

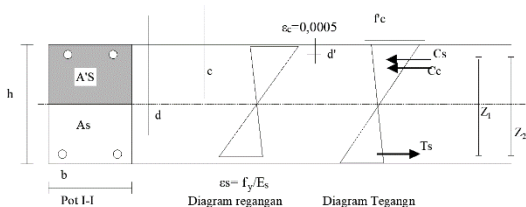
Grafik analisis variasi balok dengan campuran serat daun nanas 2% (BLK-2%) menunjukkan bahwa balok mulai menunjukkan retak pada beban (P_{crack}) 7,615 kN dengan lendutan (Δ) 1,63 mm. Grafik menunjukkan peningkatan pada beban (P) 11,740 kN dengan lendutan (Δ) 3,14 mm. Dengan peningkatan beban, balok tidak menunjukkan kekuatan apa pun tetapi lendutan terus meningkat dan akhirnya balok runtuh pada beban maksimum (P_{maks}) 12,523 kN dengan lendutan (Δ) 2,89 mm.

G. Analisa Kapasitas Lentur Balok

Metode perhitungan melibatkan berbagai faktor, termasuk jenis material, dimensi penampang, dan standar desain yang berlaku. Penggunaan metode yang tepat dan pemahaman yang mendalam tentang prinsip-prinsip perhitungan kapasitas penting untuk memastikan keberhasilan dan keamanan proyek konstruksi.

Dari hasil perhitungan dari beban pada balok normal dan balok variasi.

a. Perhitungan Teoritis Kapasitas Balok



Gambar 6. Diagram Tegangan -Regangan Pracetak
Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Angka ekuivalen :

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 10,6878$$

$$n' = \frac{E's}{E_c} = 10,6878$$

Titik berat penampang dari serat atas

$$y_n = \frac{b \cdot h \cdot \frac{1}{2h} + A_s \cdot d - (n-1)A_s' \cdot d'}{b \cdot h + (n-1)A_s - (n-1)A_s'}$$

$$= 10,48 \text{ mm}$$

$$y_b = 150 - y_n = 139,52 \text{ mm}$$

Momen inerti penampang terhadap titik penampang

$$I_t = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot \left(\frac{1}{2h} - y_n\right)^2$$

$$+ (n-1)A_s \cdot (d - y_n)^2$$

$$+ (n-1)A_s' \cdot (y_n - d')^2$$

$$I_t = 37579942,97 \text{ mm}^4$$

Tegangan retak

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f'_c} = 0,62 \times 1 \times 16,347$$

$$= 2,51 \text{ Mpa}$$

Momen retak

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_t}{y_b}$$

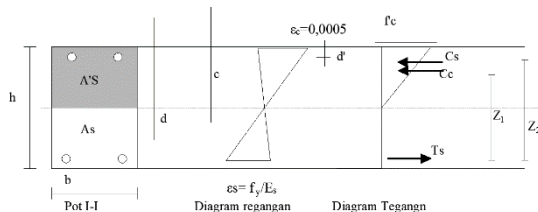
$$= \frac{2,51 \times 37579942,97}{139,52}$$

$$= 676072,655 \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} = 3,01 + 0,23 \text{ P}$$

$$P_{cr} = 8,005 \text{ kN}$$

b. Tahap Terjadinya Leleh pada tulangan



Gambar 7. Diagram Tegangan Regangan Kondisi Leleh

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Bila $k = 0,2987$

$$k \times d = 40,324 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y/E_s = 0,0012 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_c = \epsilon_y \frac{k \cdot d}{d - kd}$$

$$= 0,0012 \frac{0,2987 \times 135}{135 - (0,2987 \times 135)}$$

$$= 0,0005111 \text{ mm} = 5,111 \text{ m}$$

$$\epsilon's = \epsilon_c \frac{kd - d'}{kd}$$

$$= 0,000511 \frac{0,2987 \times 135 - 15}{0,2987 \times 135}$$

$$= 0,000321 \text{ mm} = 3,21 \text{ m}$$

$$f_s' = \epsilon_s \times \epsilon's = 0,0012 \times 0,000321$$

$$= 3,852 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 0,5 \times f'_c \times k \times d \times b$$

$$= 0,5 \times 16,347 \times 0,2987 \times 135 \times 75$$

$$= 24719,422 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \times f_s'$$

$$= 101 \times 3,852$$

$$= 389,052 \text{ N}$$

$$T = C_c + C_s$$

$$= 25108,474 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 25108,474 \text{ N}$$

$$C_c + C_s - A_s \cdot f_y = 0$$

$$25108,474 - 25108,474 = 0$$

Asumsi k Benar

Menentukan lengan momen

Titik berat C_c dan C_s dari serat atas

$$y = \frac{C_c (0,33 \times kd) + C_s \times d'}{C_c + C_s}$$

$$y = \frac{24719,422 (0,33 \times 0,2987 \times 135) + 389,052 \times 15}{24719,422 + 389,052}$$

$$= 13,333 \text{ mm}$$

Lengan Momen

$$Z = d - y = 135 - 13,333 = 121,667 \text{ mm}$$

$$M_y = A_s \times f_y \times z$$

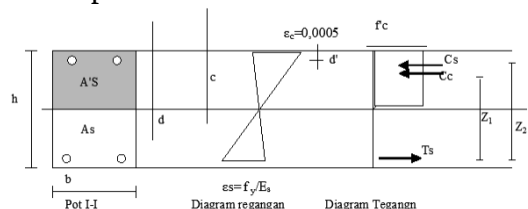
$$= 101,4 \times 240 \times 121,667$$

$$= 2960888,112 \text{ Nmm}$$

$$M_y = 3,01 + 0,23 \times p_y$$

$$p_y = 0,2135299478 = 0,021774 \text{ ton}$$

c. Tahap beban batas



Gambar 8. Diagram Tegangan-Regangan Kondisi Batas

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

$C_c = 0,85 f'c \cdot a \cdot b$ dan $C_s = A_s \cdot F_y$;

$T_{s1} = A_{s1} \cdot F_y$ dan $T_{s2} = A_{s2} \cdot F_y$

$C_c = T_s$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y}{0,85 f'_y b} = \frac{101,4 \times 240 - 101 \times 16,347}{0,85 \times 16,347 \times 75}$$

0,0218 mm

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 0,0256 \text{ mm}$$

Cek kondisi tulangan

Berdasarkan diagram regangan pada **Gambar 9**, dapat dicari kondisi tulangan tekan dan tarik, berdasarkan perbandingan sebagai berikut :

Tulangan tarik

$$\epsilon_s = \frac{(d - c)}{c} \epsilon_c = \frac{(135 - 0,0256)}{0,0256} \cdot 0,0005111 = 2,6947$$

> 0,0020

Tulangan tarik sudah leleh, digunakan f_y

Tulangan tekan

$$\epsilon'_s = \frac{(c - d')}{c} \epsilon_c = \frac{0,0256 - 15}{0,0256} \cdot 0,0005111 = 0,2989 > 0,00129$$

Perhitungan kapasitas penampang momen

$C_c = 0,85 f'c \cdot a \cdot b = 22,7182 \text{ N} = 0,0227 \text{ kN}$

$Z_1 = d - 1/2 a = 135 - 1/2 (0,0218) = 1,4715 \text{ mm}$

$C_s = A_s' \cdot f_y = 24240 \text{ N} = 24,24 \text{ kN}$

$Z_2 = d - d' = 135 - 15 = 120 \text{ mm}$

Titik berat resultan C_c dan C_s dari T_s

$$z = \frac{C_c \cdot Z_1 + C_s \cdot z_2}{C_c + C_s} = \frac{(22,7182 \cdot 1,4715) + (24240 \cdot 120)}{(22,7182 + 24240)}$$

= 119,8890

$M_u = T_s \cdot z = A_s \cdot f_y \cdot z = 101,4 \times 240 \times 119,8890$

= 2917618,704 N = 2917,6187 kN

Beban maksimum

$M_u = 3,01 + 0,23 P_u$

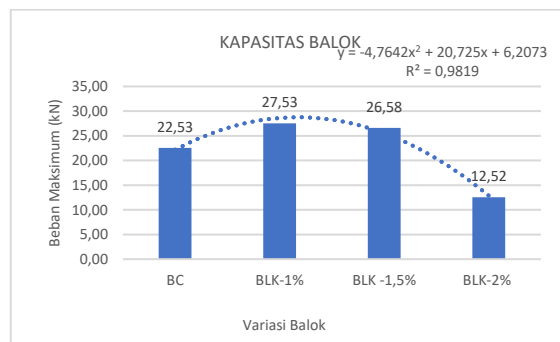
$P_u = 12,69 \text{ kN}$

Verifikasi hasil perhitungan terhadap standar desain yang berlaku untuk memastikan bahwa kapasitas tekan memenuhi persyaratan. Perhitungan kapasitas yang akurat memastikan bahwa struktur dapat menahan beban yang diharapkan tanpa mengalami kegagalan. Memastikan bahwa desain memenuhi semua peraturan dan standar yang berlaku, yang penting untuk sertifikasi dan izin konstruksi. Resume perhitungan kapasitas lentur pada balok bertulang normal. dikemukakan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Resume Perhitungan Beban Dan Momen

No	Variasi	Teoritis	Eksperimen		ΔU	ΔY	μ	K
		Pcr kN	Pcr kN	Pmax kN/mm				
1	BC	8,005	8,17	22,562	6,6	3	0,76	6,498
2	BLK 1%	9,044	10,011	27,528	9,9	3,1	0,64	7,374
3	BLK 1,5%	6,922	7,588	26,578	5,9	3,2	0,85	6,874
4	BLK 2%	7,26	7,615	12,523	6,3	2	0,46	4,696

Sumber: Hasil Penelitian, 2024



Gambar 9. Grafik Kapasitas pada Balok

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara beban maksimum (P_{maks}) dan variasi balok beton bertulang rangkap. Pengaruh penambahan serat daun nanas terhadap balok menunjukkan adanya penurunan pada balok dengan campuran serat daun nanas lebih dari 1%. Secara umum tingkat keyakinan bahwa kapasitas balok dipengaruhi oleh penambahan serat 1% memiliki tingkat koefisien determinasi sebesar 98,19%. Artinya 98,19% menunjukkan bahwa pengaruh kinerja balok dengan penambahan 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 besar 5 kN dibandingkan dengan balok BC. Pengaruh paling kecil terhadap kinerja balok terdapat pada BLK-2% dengan selisih terhadap beton normal (BC) sebesar 10,01 kN.

H. Analisa Daktilitas Hubungan Beban Dan Lendutan

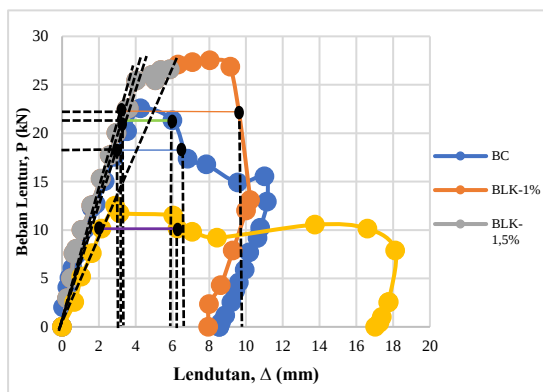
Daktilitas didapatkan dari hasil penelitian yang dicantumkan berupa tabel dan grafik

perbandingan beban – lendutan. Koneksi yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan daktilitas struktur dengan memungkinkan deformasi relatif yang lebih besar antara elemen-elemen struktur. Dimana besarnya nilai daktilitas berdasarkan perbandingan antara lendutan maksimum dengan lendutan leleh pertama. Dibawah ini akan dicantumkan Tabel Rekapitulasi Nilai daktilitas Balok dan grafik pada hasil penelitian.

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Daktilitas Balok

Kode	P_{maks}	ΔY	ΔU	Daktilitas
BC	22,526	3	6,6	2,2
BLK 1%	27,528	3,1	9,9	3,19
BLK 1,5%	26,578	3,2	5,9	1,84
BLK 2%	12,523	2	6,3	3,15

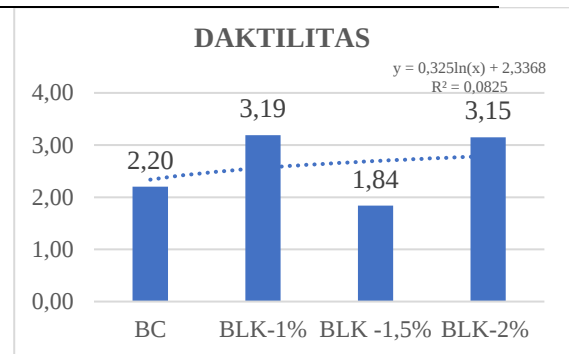
Sumber: Hasil Penelitian, 2024



Gambar 10. Grafik Nilai Daktilitas Balok

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Tabel 8 dan **Gambar 10** menunjukkan nilai daktilitas balok normal Berdasarkan hasil perhitungan nilai daktilitas balok normal (BC) sebesar 2,2, nilai daktilitas balok dengan campuran serat daun nanas 1% (BLK-1%) sebesar 3,19, nilai daktilitas balok dengan campuran serat daun nanas 1,5% (BLK-1,5%) sebesar 1,84, nilai daktilitas balok dengan campuran serat daun nanas 2% (BLK-2%) sebesar 3,15. Nilai daktilitas balok (BLK-1%) merupakan nilai daktilitas terbesar dengan nilai daktilitas sebesar 3,19. Sedangkan, nilai daktilitas terkecil adalah balok BLK-1,5% sebesar 1,84.



Gambar 11. Grafik Analisa Daktilitas Balok

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Gambar 11 menunjukkan hubungan antara daktilitas dan variasi balok beton bertulang rangkap. Pengaruh penambahan serat daun nanas terhadap balok menunjukkan penurunan pada BLK-1,5%, namun nilai daktilitas kembali meningkat pada balok dengan campuran serat daun nanas sebanyak 2% (BLK-2%). Secara umum, tingkat keyakinan bahwa daktilitas balok dipengaruhi oleh penambahan serat 1% memiliki tingkat koefisien determinasi sebesar 8,25%. Artinya 8,25% menunjukkan bahwa pengaruh daktilitas balok dengan penambahan serat daun nanas dapat dipercaya. Balok optimum terdapat pada BLK-1% dengan nilai daktilitas sebesar 3,19. Pengaruh serat daun nanas terhadap daktilitas paling kecil

terdapat pada BLK-1,5% dengan selisih terhadap beton normal (BC) sebesar 0,36.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Pengaruh penambahan serat daun nanas terhadap balok menunjukkan adanya penurunan pada balok dengan campuran serat daun nanas lebih dari 1%. Secara umum tingkat keyakinan bahwa kapasitas balok dipengaruhi oleh penambahan serat 1% memiliki tingkat koefisien determinasi sebesar 98,19%. Artinya 98,19% menunjukkan bahwa pengaruh kinerja balok dengan penambahan 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 besar 5 kN dibandingkan dengan balok BC. Pengaruh paling kecil terhadap kinerja balok terdapat pada BLK-2% dengan selisih terhadap beton normal (BC) sebesar 10,01 kN.
2. Pengaruh penambahan serat daun nanas terhadap balok menunjukkan penurunan pada BLK-1,5%, namun nilai daktilitas kembali meningkat pada balok dengan campuran serat daun nanas sebanyak 2% (BLK-2%). Secara umum, tingkat keyakinan bahwa daktilitas balok dipengaruhi oleh penambahan serat 1% memiliki tingkat koefisien determinasi sebesar 8,25%. Artinya 8,25% menunjukkan bahwa pengaruh daktilitas balok dengan penambahan serat daun nanas dapat dipercaya. Balok optimum terdapat pada BLK-1% dengan nilai daktilitas sebesar 3,19. Pengaruh serat daun nanas terhadap daktilitas paling kecil terdapat pada BLK-1,5% dengan selisih terhadap beton normal (BC) sebesar 0,36.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar peneliti melakukan uji ketahanan (*durability*) pada beton normal dan beton dengan campuran serat daun nanas,

memvariasikan dimensi tulangan yang digunakan dalam penelitian dan dapat melakukan variasi penambahan serat daun nanas dengan rentang variasi kurang dari 1%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee. 1993. *Standard Practice For Selecting Proportions For Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* 211.1-91. ACI : Detroit.
- ASTM-C33, 2003, *Standard Specification for Concrete Aggregates*, Annual Books of ASTM standards: USA.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. (SNI 1974-2011)*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1996. *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung (SNI 03-4154-1996)*. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional: Jakarta. Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional: Jakarta. Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Standar Nasional Indonesia: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. (SNI 1726:2019)*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Bui, D. D., Nguyen, T. H., & Le, C. D. 2020. *Enhancement of Concrete Properties with Fiber Additives: A Review*. Construction and Building Materials, 234, 117437.
- Hadi, S. 2020. *Rekayasa Konstruksi Beton Bertulang*. ITB Press: Bandung.

- Hidayat, A. 2021. *Analisis Struktur Beton Bertulang*. Penerbit Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Huang, J, Liu, Y, & Yang, L. 2021. Comparison of Natural and Synthetic Fibers in Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 19(1), 41-56.
- Kardiyono, D. 2023. *Struktur Beton dan Material Konstruksi*. UGM Press: Yogyakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2021. *Pedoman Umum Beton Bertulang*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat: Jakarta.
- Li, H., Zhang, Y., & Wang, X. 2019. Properties and Applications of Modern Concrete in Construction. *Journal of Structural Engineering*, 145(8), 04019072.
- Muhtar., Gunasti, A., and Manggala, A.S. 2024. Utilization of Bamboo For Concrete Coloumns in Eartquake-Resistant Simple House in Indonesia. *Elxevier*. Vol.20. e02941.
- Muhtar, M. 2020. Pola Retak Balok Beton Bertulang Bambu Menggunakan Tulangan Ganda dengan Penguatan Pada Tulangan Tarik. *J. Eng. Res. Teknologi.*, 113, 608-612.
- Muhtar., S. M. Dewi, Wisnumurti., and A. Munawir. 2018. The Stiffnes and Cracked Pattern Of Bamboo Reinforced Concrete Beams Using a Hose Clamp. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 9(8).273-284
- Paulay, T., & Priestly, M. J. N. 1975. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Penerbit Erlangga: Jakarta
- Priyono, P. 2019. *Buku Ajar Struktur Beton Bertulang 1 Berdasarkan SNI 2847:2013*. Pustaka Abadi: Jember
- Priyono, P. 2019. *Buku Ajar Struktur Beton Tahan Gempa*. Pustaka Abadi: Jember
- Sukirman, A. 2022. *Material Konstruksi dan Teknologi Beton*. UGM Press: Yogyakarta
- Sutanto, B. 2018. *Mekanika Struktur: Analisis dan Desain*. Penerbit Akademik: Bandung
- Tjokrodimuljo, D. 2020. *Dasar Dasar Teknologi Beton*. ITS Press: Surabaya.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono. 1992. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit, Yogyakarta
- Wibowo, A. 2020. *Dasar-dasar Mekanika Struktur*. Penerbit Universitas Teknik: Jakarta
- Yadav, A., Sharma, P., & Patel, R. 2022. Utilization of Pineapple Leaf Fiber in Concrete Mixes. *Sustainable Construction Materials and Technologies*, 13(2), 263-272.
- Zhang, Q., Li, Z., & Wang, Y. 2023. Behavior and Design of Reinforced Concrete Beams under Flexural Loads. *Engineering Structures*, 273, 115310.