

INOVASI PENGAWETAN TULANGAN BAMBU MENGGUNAKAN ASAM SULFAT UNTUK MENINGKATKAN KINERJA BALOK BETON BERKELANJUTAN

Israel Padang^{1*}, Harni Eirene Tarru¹, Esthon Korzheba Ruru², dan Juniarto Budi Patandianan⁴

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Jendral Sudirman No.9 Makale, Tana Toraja, Sulawesi selatan, Indonesia
^{*}israelpadang@ukitoraja.ac.id

Masuk: 26-06-2025, revisi: 11-07-2025, diterima untuk diterbitkan: 27-08-2025

ABSTRACT

Environmental concerns caused by the use of conventional construction materials have encouraged the development of sustainable alternatives, including bamboo. However, the durability of bamboo as concrete reinforcement remains limited due to its hygroscopic nature and biological degradation. This study aims to evaluate the effectiveness of bamboo preservation using a 1.2% sulfuric acid solution in enhancing the tensile strength of bamboo and the flexural capacity of reinforced concrete beams. The method employed was a laboratory experiment with three reinforcement variations: plain steel bars (BK), bamboo soaked in water (BT-BA), and bamboo treated with sulfuric acid (BT-BAS). Tensile and flexural tests were conducted for each variation. The results showed that the tensile strength of bamboo increased from 299.48 MPa (BT-BA) to 358.12 MPa (BT-BAS), indicating a 19.6% improvement. In the flexural test, BT-BAS beams reached an average nominal moment of 6.14 kNm, with a flexural capacity ratio of 107.15% compared to analytical results. These findings demonstrate that sulfuric acid preservation significantly enhances both the mechanical properties of bamboo and the structural performance of concrete beams. Thus, sulfuric acid-treated bamboo presents strong potential as a sustainable alternative reinforcement in structural applications.

Keywords: bamboo; sulfuric acid; preservation; alternative reinforcement; flexural capacity

ABSTRAK

Permasalahan lingkungan akibat penggunaan material konstruksi konvensional mendorong pengembangan bahan alternatif yang berkelanjutan, salah satunya adalah bambu. Namun, daya tahan bambu sebagai tulangan beton masih terbatas karena sifat higroskopis dan degradasi biologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pengawetan bambu menggunakan larutan asam sulfat 1,2% terhadap peningkatan kekuatan tarik bambu dan kapasitas lentur balok beton. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan tiga variasi tulangan: baja polos (BK), bambu direndam air (BT-BA), dan bambu direndam asam sulfat (BT-BAS). Uji tarik tulangan dan uji lentur balok dilakukan pada masing-masing variasi. Hasil menunjukkan bahwa kuat tarik tulangan bambu meningkat dari 299,48 MPa (BT-BA) menjadi 358,12 MPa (BT-BAS), atau meningkat sebesar 19,6%. Pada pengujian lentur, balok BT-BAS menghasilkan momen nominal rata-rata 6,14 kNm dengan rasio kapasitas lentur 107,15% terhadap hasil analisis. Hal ini membuktikan bahwa metode pengawetan dengan asam sulfat tidak hanya meningkatkan sifat mekanis bambu, tetapi juga meningkatkan performa balok beton secara signifikan. Dengan demikian, bambu yang diawetkan dengan asam sulfat berpotensi sebagai alternatif tulangan ramah lingkungan dalam konstruksi struktural.

Kata kunci: bambu; asam sulfat; pengawetan; tulangan alternatif; kapasitas lentur

1. PENDAHULUAN

Permintaan terhadap material bangunan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan terus meningkat seiring dengan berkembangnya kesadaran akan dampak negatif dari penggunaan material konstruksi konvensional seperti baja dan beton yang memiliki jejak karbon tinggi serta konsumsi energi besar dalam proses produksinya (Padang et al., 2024). Dalam konteks ini, bambu muncul sebagai alternatif material alami yang menjanjikan karena sifat mekanisnya yang unggul, seperti kuat dan ringan, elastisitas yang baik, serta ketersediaan yang melimpah di wilayah tropis, termasuk Indonesia (Andriani & Putra, 2022). Bambu juga memiliki siklus pertumbuhan yang cepat dan dapat diperbarui, sehingga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan (Pertiwi & I'annah, 2025). Batang bambu memiliki bentuk silinder berongga yang diperkokoh dengan diafragma serta ikatan pembuluh, memberikan kekuatan mekanis. Mikrostruktur batang ini mencakup ikatan pembuluh, sarung ikatan, xilem, dan floem. Secara kimiawi, serat bambu tersusun dari selulosa, hemiselulosa, lignin, serta komponen minor lainnya. Kandungan lignin memberi bambu sifat kaku dan lentur, berperan sebagai perekat alami (Othman et al., 2024).

Namun penggunaan bambu sebagai tulangan beton masih menghadapi tantangan utama, yaitu sifat bambu yang mudah menyerap air, rentan terhadap serangan serangga, dan mengalami degradasi biologis yang signifikan (Refiadi et al., 2018). Hal ini menyebabkan penurunan daya tahan dan keandalan bambu dalam aplikasi struktural, terutama sebagai tulangan beton yang harus mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang keras (Rathod et al., 2022). Selain itu, kekurangan lain dari bambu adalah sifatnya yang anisotropik dan ketidakhomogenan dimensi, yang dapat menyebabkan variasi kekuatan mekanis antar batang (Walter, 2015). Bambu juga cenderung mengalami retak longitudinal akibat perubahan kelembaban, yang mengurangi integritas strukturalnya dalam jangka panjang (Amada et al., 1997). Oleh karena itu, pengembangan metode pengawetan bambu yang efektif sangat diperlukan untuk meningkatkan ketahanan dan performa mekanis bambu agar dapat bersaing dengan material konvensional. (Putri et al., 2020)

Berbagai metode pengawetan bambu telah dikembangkan, mulai dari teknik tradisional seperti perendaman dalam air asin atau lumpur, hingga penggunaan bahan kimia seperti boraks, borik, dan copper chrome arsenic (CCB) (Tumonglo et al., 2020); (Lempang, 2016). Namun, penggunaan bahan kimia tersebut memiliki keterbatasan, baik dari segi efektivitas maupun dampak lingkungan (Sinaga et al., 2024). Penelitian Ramaani et al. (2025) mengeksplorasi penggunaan bambu *Dendrocalamus strictus* sebagai pengganti tulangan baja dalam elemen beton, dengan fokus pada karakteristik mekanik dan ketahanan terhadap lingkungan. Bambu yang digunakan berumur 3–4 tahun dan diawetkan melalui metode seasoning alami selama satu tahun dalam posisi vertikal untuk menurunkan kadar air dari sekitar 19% menjadi di bawah 10%, meningkatkan kepadatan serta daya tahan terhadap degradasi biologis. Selain itu, diterapkan perlakuan permukaan menggunakan campuran tar dan minyak tanah (tar + kerosin) yang terbukti paling efektif dalam mengurangi penyerapan air hingga 11,33% setelah 7 hari, dibandingkan dengan bambu tanpa perlakuan yang mencapai 44,52%. Penelitian Luo et al. (2025) mengkaji penerapan serat bambu dalam beton dengan meneliti pengaruh perlakuan serat (tanpa perlakuan dan dengan perlakuan kalsium hidroksida). Temuan ini menegaskan peran penting perlakuan kalsium hidroksida dalam meningkatkan durabilitas beton. Di antara semua dosis serat yang diuji, performa optimal dicapai pada dosis 2%. Secara keseluruhan, penelitian ini menyoroti potensi serat bambu yang telah diberi perlakuan kalsium hidroksida sebagai solusi berkelanjutan dan efisien untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan beton terhadap lingkungan siklik. Penelitian Sain et al. (2024) mengulas secara komprehensif berbagai metode pengawetan bambu guna meningkatkan daya tahan, kekuatan mekanik, serta ketahanan terhadap pelapukan dan serangan hama dalam aplikasi konstruksi berkelanjutan. Beberapa metode yang dikaji meliputi pelapisan dengan resin sintesis dan karet sintesis untuk meningkatkan ketahanan air, stabilitas dimensi, dan resistensi terhadap jamur; penggunaan bahan kimia pengawet seperti boron, zinc chloride, sodium pentachlorophenate, dan chromated copper arsenate (CCA) untuk memperpanjang umur bambu; serta pemanfaatan resin epoksi yang mampu memperkuat ikatan antara serat bambu dan matriks beton, meningkatkan kekuatan tarik dan tekan. Selain itu, perlakuan panas (heat treatment) juga digunakan untuk meningkatkan kekerasan, stabilitas dimensi, dan ketahanan terhadap serangan biologis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan ini secara signifikan meningkatkan performa bambu sebagai material struktural, menjadikannya alternatif yang layak dan ramah lingkungan untuk menggantikan material konvensional dalam berbagai aplikasi konstruksi.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pengawetan bambu secara umum, sebagian besar penelitian pengawetan bambu selama ini menggunakan metode tradisional, sementara inovasi pengawetan bambu masih jarang dieksplorasi secara mendalam. Penelitian ini akan menggunakan konsentrasi asam sulfat sebagai larutan pengawet, yang dipilih berdasarkan studi pendahuluan yang menunjukkan efektivitas optimal dalam meningkatkan ketahanan bambu tanpa merusak struktur serat (Kusumaningrum et al., 2017). Penelitian Chen et al. (2014) menunjukkan impregnasi asam sulfat telah terbukti mampu menghilangkan hemiselulosa dari struktur bambu, sehingga meningkatkan proporsi selulosa dan lignin, yang berkontribusi terhadap peningkatan modulus elastisitas dan kekakuan serat bambu. Selain itu, metode berbasis hidrolisis asam sulfat juga telah digunakan untuk memproduksi larutan nanoselulosa dan menggabungkannya dengan ZnO nano, yang kemudian diresapkan ke dalam pori-pori bambu guna meningkatkan kekuatan mekanik, kekerasan, stabilitas dimensi, serta ketahanan terhadap jamur dan korosi (Haixia et al., 2021). Berdasarkan kajian tersebut maka akan dilakukan penelitian dengan menggunakan metode perendaman bambu ke dalam larutan asam sulfat 1,2%. Metode ini akan dibandingkan dengan pengawetan konvensional berupa perendaman bambu dalam air sungai, yang merupakan praktik tradisional di beberapa daerah, termasuk Toraja Utara, untuk melihat perbedaan efektivitas dalam meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan bambu.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan utama. Pertama, sejauh mana metode pengawetan ini dapat meningkatkan kekuatan tarik bambu sebagai tulangan beton? Kedua, apakah bambu yang diawetkan dengan asam sulfat mampu meningkatkan performa balok beton secara signifikan, terutama kapasitas lentur balok? Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi material ramah lingkungan di bidang konstruksi, khususnya dalam meningkatkan kinerja balok beton dengan tulangan bambu yang diawetkan secara inovatif menggunakan asam sulfat.

Bambu sebagai alternatif tulangan ramah lingkungan

Bambu telah muncul sebagai salah satu bahan alternatif yang menjanjikan untuk tulangan dalam konstruksi beton, terutama karena sifatnya yang ramah lingkungan dan keberlanjutannya. Berbeda dengan baja yang memerlukan proses produksi intensif energi dan menghasilkan emisi karbon tinggi, bambu merupakan sumber daya alam yang dapat diperbarui dengan cepat dan melimpah di wilayah tropis. Bambu memiliki kekuatan lentur yang tinggi relatif terhadap beratnya, sehingga sangat potensial digunakan sebagai pengganti baja pada konstruksi bangunan sederhana. Selain itu, bambu menawarkan keuntungan berupa biaya produksi yang lebih rendah dan kemudahan dalam pengerjaan, menjadikannya solusi yang ekonomis dan berkelanjutan untuk konstruksi ramah lingkungan (Izza, 2025). Pemanfaatan bambu sebagai tulangan ditunjukkan pada Gambar 1, di mana bambu petung diolah menjadi batang tulangan yang siap digunakan dalam konstruksi.



Gambar 1. Bambu petung dan pemanfaatan menjadi tulangan

Pemanfaatan Asam Sulfat (H_2SO_4) dalam Pengawetan Kayu dan Bambu

Kayu dan bambu merupakan material bangunan alami yang mudah didapat namun memiliki kelemahan utama, yaitu rentan terhadap serangan organisme perusak seperti jamur dan rayap. Salah satu alternatif metode pengawetan adalah menggunakan asam sulfat (H_2SO_4), yang bersifat higroskopis, korosif, serta mampu mengubah struktur kimia material organik. Secara kimia, asam sulfat dapat menurunkan kadar air dan mengubah struktur selulosa serta lignin melalui proses denaturasi dan dehidrasi, sehingga menciptakan lingkungan yang tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Dalam aplikasi praktis, bahan direndam dalam larutan H_2SO_4 encer (0,5–2%) selama beberapa jam, kemudian dikeringkan untuk meningkatkan efektivitas pengawetan. Lignifikasi bambu dengan asam sulfat meningkatkan kandungan dan ikatan lignin, sehingga bambu menjadi lebih kuat, keras, dan tahan terhadap pelapukan. Asam sulfat adalah asam kuat dan dehidrator yang dapat menyebabkan dehidrasi dan polimerisasi senyawa fenolik pada bambu. Asam sulfat dapat mengkatalisis reaksi kondensasi lignin, yang mempercepat pembentukan ikatan silang antara molekul lignin. Hal ini menyebabkan peningkatan jumlah lignin terikat dalam matriks sel bambu. Peningkatan lignifikasi akan menambah kekakuan dan kekuatan mekanik bambu. Struktur bambu menjadi lebih tahan terhadap pelapukan dan degradasi biologis. Namun, peningkatan lignin juga bisa membuat bambu menjadi lebih kaku dan kurang elastis, sehingga sifat fleksibel dan kemampuan bambu untuk menyerap energi akibat lentur dapat berkurang. (Permatasari et al., 2014).

Kuat tarik tulangan

Kuat tarik tulangan adalah kemampuan atau kapasitas suatu bahan tulangan (biasanya baja tulangan) untuk menahan gaya tarik sebelum mengalami kerusakan atau putus. Kuat tarik tulangan biasanya dinyatakan dalam bentuk tegangan tarik maksimum yang dapat ditahan oleh baja tulangan sebelum putus, seperti ditunjukkan pada Persamaan (1):

$$f_t = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan f_t = tegangan tarik (N/mm^2 atau MPa), P = gaya tarik maksimum yang diterima tulangan (N), dan A = luas penampang tulangan (mm^2).

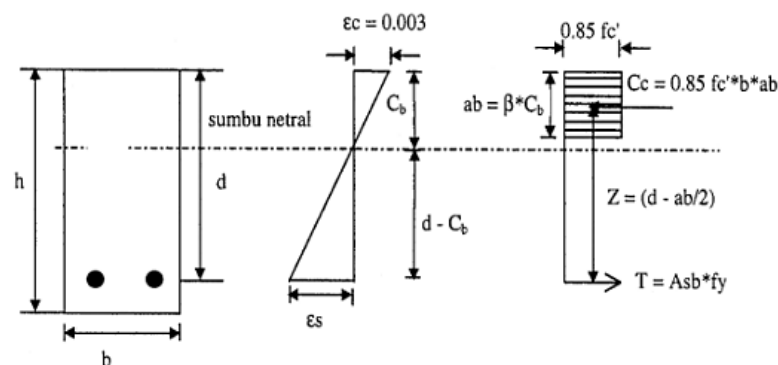
Dalam perencanaan struktur beton bertulang, secara teoritis kuat tarik tulangan yang digunakan adalah kuat leleh baja tulangan (f_y). Nilai gaya tarik maksimum tulangan diperoleh dari Persamaan (2):

$$T = A_s \times f_y \quad (2)$$

dengan T = gaya tarik maksimum (N), A_s = luas penampang tulangan (mm^2), dan f_y = kuat leleh baja tulangan (MPa).

Kapasitas lentur balok analisis

Kapasitas lentur balok beton bertulang adalah kemampuan balok untuk menahan momen lentur yang terjadi akibat pembebanan. Kapasitas lentur balok dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk kuat tekan beton, kuat tarik tulangan, jumlah dan diameter tulangan dan desain balok. Teori kapasitas lentur balok didasarkan pada asumsi bahwa penampang balok tetap rata setelah mengalami deformasi, dan tulangan tarik dan tekan berperilaku elastis – plastis (Badan Standar Nasional, 2019). Kuat tarik beton diabaikan (tidak diperhitungkan) dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan bambu. Distribusi tegangan–regangan beserta blok tegangan ekuivalen untuk perhitungan momen nominal dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang beton

Untuk menghitung tinggi luasan tekan pada balok dan nilai beta, digunakan Persamaan (3) berikut:

$$a = \beta_1 \times c \quad (3)$$

dengan c = jarak serat tekan garis terluar ke garis netral, β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton.

Menurut SNI 2847-2019, menetapkan nilai β_1 sebagai berikut:

$$17 \leq f_c' \leq 28 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0.85$$

$$28 < f_c' < 55 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0.85 - \frac{0.05 (f_c' - 28)}{7}$$

$$f_c' \geq 55 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0.65$$

Kondisi regangan seimbang (balance) terjadi jika memenuhi Persamaan (4) berikut :

$$\epsilon_c' = 0.003 \text{ dan } \epsilon_s = \epsilon_y \frac{f_y}{E_s} \quad (4)$$

sehingga pada kondisi balance, besarnya momen nominal analisis diberikan oleh Persamaan (5):

$$M_n = (A_s \times f_y) \times (d - a/2) \quad (5)$$

$$a = \frac{(A_s \times f_y)}{0.85 \times f_c' \times b} \quad (6)$$

Hubungan antara a , luas tulangan, dan kuat tekan beton dirumuskan pada Persamaan (6).

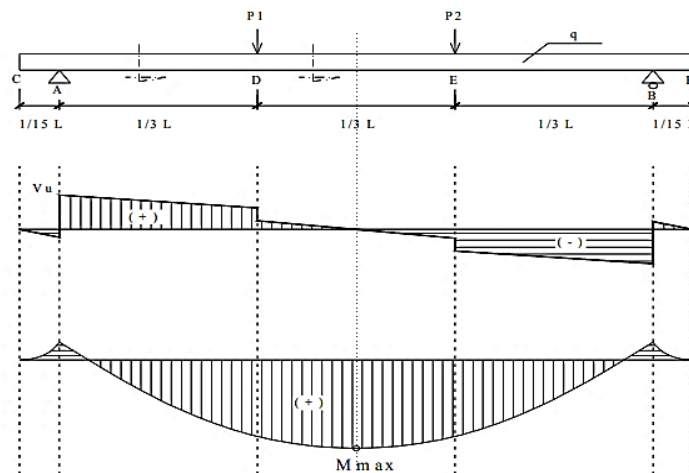
dengan M_n = Kapasitas lentur nominal, ϕ = Faktor reduksi kekuatan, A_s = Luas tulangan tarik (mm^2), f_y = Kuat leleh tulangan, d = Tinggi efektif balok, a = Tinggi blok tegangan tekan, dan c = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)

Dalam desain struktur beton bertulang konvensional, parameter tegangan leleh (f_y) digunakan karena baja tulangan memiliki perilaku plastis yang jelas, di mana terdapat batas leleh sebelum material mencapai kegagalan. Namun, bambu sebagai material alami berserat tidak menunjukkan perilaku leleh yang jelas seperti baja, melainkan

menunjukkan peningkatan tegangan secara linier hingga mencapai titik patah (failure). Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kuat tarik maksimum (ultimate tensile strength) hasil uji tarik bambu digunakan sebagai pendekatan terhadap nilai f_y dalam perhitungan kapasitas lentur nominal. Pendekatan ini umum dilakukan dalam penelitian yang melibatkan material alami seperti bambu yang tidak memiliki zona plastis atau titik leleh yang terdefinisi secara jelas (Amada et al., 1997).

Kapasitas lentur balok pengujian

Distribusi gaya geser dan momen lentur sepanjang bentang balok dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai dasar analisis pengujian kapasitas lentur.



Gambar 3. Diagram momen lentur dan gaya geser

Reaksi tumpuan vertikal dapat dihitung menggunakan Persamaan (7) berikut:

$$R_{av} = R_{bv} = \left(\frac{17}{30} q L \right) + P \quad (7)$$

Selanjutnya, momen lentur maksimum pada balok dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (8):

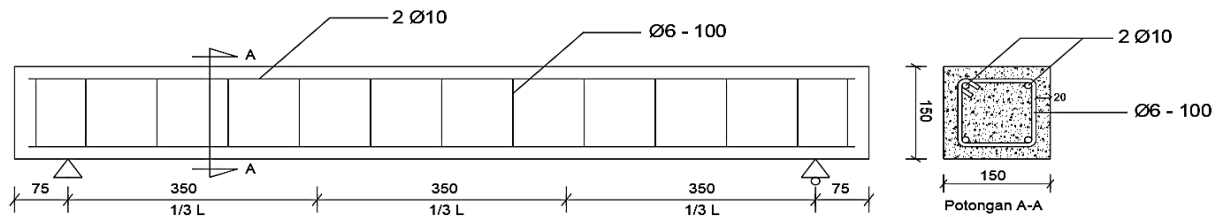
$$M_{\max} = \frac{P L}{3} + \frac{221}{1800} q L^2 \quad (8)$$

dengan $M_{\max}$ = Momen Nominal Pengujian (kN.m), P = beban pengujian (kN), L = Jarak antar dua tumpuan (mm) dan q = beban merata (kN/m)

2. METODE PENELITIAN

Bambu yang digunakan adalah bambu petung yang berasal dari Toraja Utara (700-900 MDPL), diambil yang tua dan dipotong 3 meter pada bagian tengah batang. Bambu dibentuk menjadi tulangan bulat diameter 10 mm. Untuk pengawetan bambu secara konvensional dilakukan dengan perendaman pada air mengalir atau di Sungai, dan pengawetan dengan bahan kimia asam sulfat pada persentase 1,2 %. Perendaman dilakukan selama 14 hari.

Penelitian ini bersifat studi eksperimental dimana benda uji balok dengan dimensi 15 x 15 x 120 cm dibuat sebanyak 9 balok seperti terlihat pada Tabel 1, yang terdiri dari 3 variasi tulangan yakni 3 BK (balok tulangan baja polos atau konvensional) Ø 10 mm $f_y = 240$ Mpa sebagai pembanding, 3 BT-BA (balok tulangan bambu pengawetan perendaman air) dan 3 BT-BAS (balok tulangan bambu pengawetan perendaman asam sulfat 1,2%). Pada semua varian balok menggunakan tulangan begel Ø6-100. Mutu beton yang digunakan adalah 20 Mpa. Pengujian kuat Tarik tulangan dilakukan pasca perendaman 14 hari, pengujian lentur balok ini dilakukan pada umur beton 28 hari. Desain dan detail penulangan benda uji balok yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4, dan skema pembebanan lentur dua titik pada saat pengujian balok diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Desain dan detail benda uji balok



Gambar 5. Skema pembebanan lentur

Tabel 1. Variasi benda uji

No	Kode Benda Uji	Jumlah
1	BK	3
2	BT-BA	3
3	BT-BAS	3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kuat tekan beton

Pengujian mutu beton dilakukan pada umur 28 hari. Benda uji silinder 10 x 20 cm dibuat sebanyak 3 buah dalam penelitian ini. Hasil pengujian kuat tekan beton disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan beton

Kode Benda Uji	Umur (hari)	Beban P (N)	Luas Penampang A (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
BK1	28	150000	7850	19,11	18,89
BK2	28	145000	7850	18,47	
BK3	28	150000	7850	19,11	



Gambar 6. Pengujian kuat tekan beton 28 hari

Berdasarkan hasil uji tekan beton di hari ke 28 diperoleh mutu beton sebesar 18,89 Mpa. Hasil ini telah ,mencapai 94,45 % dari mutu beton rencana 20 Mpa. Proses pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji hidrolik dapat dilihat pada Gambar 6.

Hasil pengujian kuat Tarik tulangan

Tabel 3. Hasil pengujian kuat Tarik tulangan baja

Diameter Tulangan Polos	Gaya Tarik Maks (kN)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tarik Tulangan (MPa)
Sengkang Ø6	12,2	28,26	431,71
Ø 10	43,5	78,5	554,14

Tabel 4. Hasil pengujian kuat Tarik tulangan bambu Ø 10 mm

Kode Benda Uji	Beban Maks. (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tarik Tulangan (Kg/cm ²)	Kuat Tarik Tul. Rata-rata (Kg/cm ²)	Kuat Tarik Tul. Rata-rata (MPa)
TBA1	2350,66	0,785	2994,47	3053,48	299,48
TBA2	2478,52	0,785	3157,35		
TBA3	2361,78	0,785	3008,63		
TBAS 1	2923,88	0,785	3724,69	3651,25	358,12
TBAS2	2860,15	0,785	3643,50		
TBAS3	2814,66	0,785	3585,55		

TBA = Tulangan bambu pengawetan perendaman air Sungai, TBAS = Tulangan bambu pengawetan perendaman asam sulfat 1,2%.

Proses pengujian tarik tulangan bambu menggunakan mesin uji tarik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian tarik tulangan

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 diperoleh bahwa tulangan baja tetap memiliki kuat tarik yang jauh lebih tinggi dibandingkan tulangan bambu, khususnya Ø10 dengan kuat tarik 554,14 MPa. Namun, tulangan bambu TBAS menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan TBA, yaitu meningkat sekitar 19,6%, menandakan bahwa perendaman dengan asam sulfat efektif meningkatkan kekuatan tarik bambu. Kuat tarik TBAS (358,12 MPa) mendekati standar tulangan baja polos (431,71 MPa), sehingga berpotensi digunakan sebagai alternatif tulangan dalam struktur ringan berkelanjutan.

Hasil pengujian kapasitas lentur balok

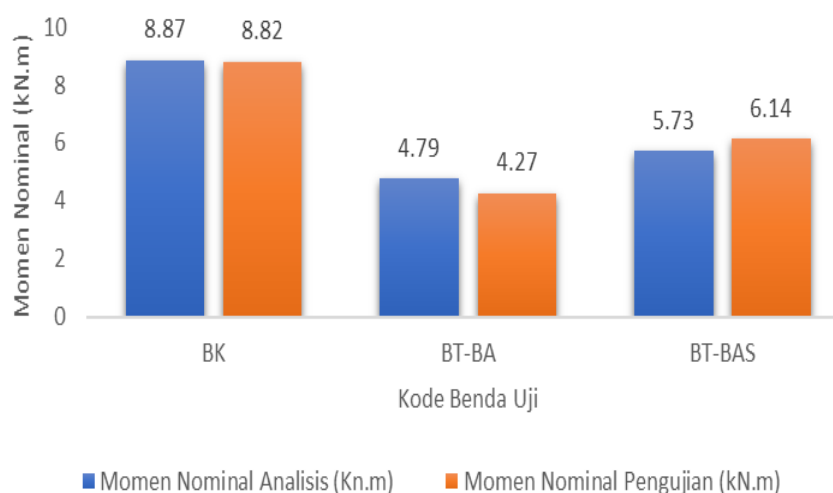
Perhitungan momen nominal berdasarkan hasil pengujian dilakukan dengan pendekatan statika, di mana balok sederhana dibebani secara kombinasi antara beban merata dan beban terpusat sebesar P/2 yang ditempatkan pada sepertiga panjang bentang. Dari kondisi pembebanan tersebut, diperoleh nilai momen maksimum yang terjadi pada balok. Untuk analisis perhitungan momen nominal mengacu pada SNI 2847-2019, balok dengan tulangan tunggal dalam kondisi seimbang memiliki batasan bahwa luas tulangan tarik tidak boleh melebihi 75% dari luas tulangan seimbang (Asb). Sementara itu, dalam penelitian ini, untuk penggunaan tulangan bambu, batasan luas tulangan tarik

ditetapkan maksimum sebesar 60% dari luas tulangan seimbang (Asb). Untuk hasil perhitungan momen nominal hasil pengujian dan analisis disajikan pada Tabel 5, untuk grafik perbandingan hasil perhitungan momen nominal disajikan pada Gambar 8.

Tabel 5. Hasil pengujian kapasitas lentur

Kode Benda Uji	Beban Maks. (kN)	Momen Nominal			Persentase Ratio Kapasitas Lentur (%)
		Pengujian (kN.m)	Pengujian Rata - rata (kN.m)	Analisis (kN.m)	
BK1	24	8,47	8,82	8,87	99,44
BK2	26	9,17			
BK3	25	8,82			
BT-BA1	12	4,27	4,27	4,79	89,14
BT-BA2	12	4,27			
BT-BA3	12	4,27			
BT-BAS1	18	6,37	6,14	5,73	107,15
BT-BAS2	16	5,67			
BT-BAS3	16	6,37			

BK = Balok kontrol tulangan baja Ø 10 mm, BT-BA = Balok tulangan bambu pengawetan perendaman air, BT-BAS = Balok tulangan bambu pengawetan perendaman asam sulfat.



Gambar 8. Grafik perbandingan momen nominal analisis dan hasil pengujian

Tabel 5 menyajikan hasil pengujian kapasitas lentur balok dengan variasi jenis tulangan, yaitu tulangan baja (BK), tulangan bambu dengan perlakuan perendaman air (BT-BA), dan tulangan bambu dengan perlakuan perendaman asam sulfat 1,2% (BT-BAS). Balok kontrol dengan tulangan baja Ø10 mm (BK) menghasilkan momen nominal rata-rata sebesar 8,82 kNm dengan rasio pencapaian terhadap nilai analitis sebesar 99,44%, menunjukkan bahwa hasil pengujian eksperimental mendekati nilai teoritik berdasarkan analisis struktur. Balok dengan tulangan bambu perendaman air (BT-BA) menunjukkan momen nominal rata-rata sebesar 4,27 kNm dengan persentase rasio kapasitas lentur sebesar 89,14%. Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan tulangan bambu tanpa perlakuan kimia menghasilkan kapasitas lentur yang lebih rendah dibandingkan tulangan baja, namun tetap menunjukkan performa struktural yang cukup memadai. Selanjutnya, balok dengan tulangan bambu yang diawetkan menggunakan larutan asam sulfat 1,2% (BT-BAS) menunjukkan peningkatan performa. Momen nominal rata-rata yang diperoleh mencapai 6,14 kNm dengan rasio kapasitas lentur sebesar 107,15%, yang bahkan melampaui nilai teoritis hasil analisis (5,73 kNm). Hal ini menunjukkan bahwa proses pengawetan dengan asam sulfat mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan tulangan bambu secara signifikan, menjadikannya alternatif tulangan yang potensial untuk digunakan pada balok beton bertulang ramah lingkungan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode pengawetan menggunakan larutan asam sulfat 1,2% terbukti efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik bambu. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa kuat tarik rata-rata tulangan bambu yang diawetkan dengan asam sulfat (TBAS) mencapai 358,12 MPa, mengalami peningkatan sebesar 19,6% dibandingkan bambu tanpa pengawetan kimia (TBA) yang hanya mencapai 299,48 MPa.
2. Balok BK menghasilkan momen nominal tertinggi sebesar 8,82 kNm dengan rasio pencapaian terhadap analisis teoritis sebesar 99,44%, menunjukkan kinerja struktural yang sangat baik. Balok BT-BA memiliki momen nominal sebesar 4,27 kNm dengan ratio pencapaian terhadap analisis teoritis sebesar 89,14%, yang menunjukkan performa paling rendah di antara ketiganya. Sementara itu, balok BT-BAS menunjukkan peningkatan signifikan dengan momen nominal sebesar 6,14 kNm dan rasio pencapaian 107,15%, bahkan melampaui hasil analisis teoritis. Meskipun kapasitas lentur balok BT-BAS masih lebih rendah dibandingkan balok BK, hasil tersebut membuktikan bahwa bambu yang diawetkan mampu memberikan performa struktural yang mendekati balok bertulang baja. Ini memperkuat potensi bambu sebagai alternatif tulangan beton ramah lingkungan, terutama jika dilakukan proses pengawetan yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amada, S., Ichikawa, Y., Munekata, T., Nagase, Y., & Shimizu, H. (1997). Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo. *Composites Part B: Engineering*, 28(1), 13–20. doi: [https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(96\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(96)00020-0)
- Andriani, C., & Putra, H. A. (2022). Sifat mekanik bambu sebagai bahan konstruksi. *TEKSTUR: Artikel Arsitektur*, 3(1), 37–46. doi: 10.31284/j.tekstur.2022.v3i1.2843
- Badan Standar Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung* (SNI 2847:2019). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Chen, S., Wang, Z., Fang, K., Fan, G., Peng, W., & Song, J. (2014). Impact of dilute sulfuric acid pretreatment on fermentable sugars and structure of bamboo for bioethanol production. *BioResources*, 9(4), 7636–7652. doi: <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.7636-7652>
- Haixia, Y., Manping, X., Wenfu, Z., Xiaowei, Z., Jin, W., & Xin, P. (2021). *Method for reinforcing and enhancing bamboowood materials* (US 20210138684A1). United States: United States Patent Application Publication .
- Kusumaningrum, W. B., Rochmadi, R., & Subyakto, S. (2017). Pembuatan selulosa terasetilasi dari pulp bambu betung (*dendrocalamus asper*) serta pengaruhnya terhadap sifat mekanis polipropilena. *Reaktor*, 17(1), 25. doi: 10.14710/reaktor.17.1.25-35
- Luo, Y., Chen, Y., & Yu, Y. (2025). Mechanical and impermeability properties of bamboo fiber reinforced concrete before and after wet-dry cycling. *Structures*, 73, 108363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.108363>
- Lempang, M. (2016). Pengawetan bambu untuk barang kerajinan dan mebel dengan metode tangka terbuka. *Info Teknis EBONI*, 13(2), 79–92. doi: 10.20886/buleboni.5081
- Tumonglo, N. Y., Ridwan, & Yacub, N. (2020). Pengawetan bambu dengan menggunakan larutan boraks boriks. *SAINTIS*, 1(2). Retrieved from [file:///C:/Users/asus/Downloads/124-File%20Utama%20Naskah-613-1-10-20211016%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/asus/Downloads/124-File%20Utama%20Naskah-613-1-10-20211016%20(1).pdf)
- Othman, H., Ebrahim, S., Reda, E., Mamdouh, F., Yousif, A., & Hassabo, A. (2024). Focus on bamboo and its physical, chemical properties, and dyeing methods. *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*, 0(0), 0–0. doi: 10.21608/jtcps.2024.258886.1261
- Padang, I., Honta, Z. L., & Manga, J. (2024). Kuat lentur balok beton yang menggunakan batang pohon aren sebagai tulangan. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 18*. 2(3). <https://doi.org/10.62603/konteks.v2i3.169>
- Pamona S. Sinaga, Mamie E. Pelloundo'u, Nixon Rammang, Roni H. Sipayung, & Marlince Manehat. (2024). Perbandingan metode pengawetan asap cair dan perebusan boraks terhadap kualitas 3 jenis bambu. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4(3), 1165–1174. Retrieved from <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>
- Permatasari, H. R., Gulo, F., & Lesmini, B. (2014). Pengaruh konsentrasi H₂SO₄ dan NaOH terhadap delignifikasi serbuk bambu (*gigantochloa apus*). *Jurnal Penelitian Pendidikan Kimia*, 1(2), 131–140. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/267822919.pdf>
- Pertiwi, B., & Atul, M. I. (2025). Penggunaan material bambu sebagai bahan utama konstruksi pada bangunan green village bali. *Filosofi: Publikasi Ilmu Komunikasi, Desain, Seni Budaya*, 2(1), 27–35. doi: 10.62383/filosofi.v2i1.458
- Putri, R. L., Rochmawati, L., Nandika, D., & Darmawan, I. W. (2020). Pengawetan bambu dengan metode boucherie. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(4), 618–626. doi: 10.18343/jipi.25.4.618

- Ramaani, P., Rajan, S., & bose S, G. (2025). Eco-innovations in construction: Experimental study on bamboo reinforcement for sustainable building solutions. *Results in Engineering*, 105217. doi: 10.1016/j.rineng.2025.105217
- Rathod, S., Parab, A., Tamkhane, A., & Neharkar, A. (2022). A comparative study of bamboo reinforced vs steel reinforced concrete structure. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(12), 973–976. doi: 10.22214/ijraset.2022.48070
- Refiadi, G., Siti Syamsiar, Y., & Judawisastra, D. H. (2018). Sifat komposit epoksi berpenguat serat bambu pada akibat penyerapan air. *In Jurnal Sains Materi Indonesia*. 19(3). <https://doi.org/10.17146/jsmi.2018.19.3.4289>
- Sain, A., Gaur, A., Khichad, J. S., & Somani, P. (2024). Treatment of bamboo for sustainable construction practise: A comprehensive review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1326(1). doi: 10.1088/1755-1315/1326/1/012049
- Izza, W. N. (2025, April 28). Material konstruksi berkelanjutan: Solusi masa depan untuk industri bangunan. *Diklatkerja.Com*.
- Walter, L. (2015). *Bamboo: The plant and its uses* (K. Michael, Ed.). Springer.