KUAT LENTUR BALOK BETON YANG MENGGUNAKAN BATANG POHON AREN SEBAGAI TULANGAN

Israel Padang[1*], Zwengly Lodi Honta[2], Jufri Manga[3]

[1]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Jendral Sudirman No.9, Makale*
***e-mail**: israelpadang@ukitoraja.ac.id*

[1]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Jendral Sudirman No.9, Makale*
***e-mail**: zwengly@ukitoraja.ac.id*

[3]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Jendral Sudirman No.9, Makale
e-mail: jufri@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, batang pohon aren (Arenga pinnata) diusulkan sebagai alternatif tulangan pada balok beton untuk memberikan solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan di industri konstruksi. Penggunaan material konvensional seperti baja memiliki dampak lingkungan yang signifikan, terutama dalam proses produksinya yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca. Dengan meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan dan keterbatasan sumber daya alam, pencarian alternatif material yang lebih efisien dan mudah diakses menjadi sangat penting. Selain itu, biaya material baja relatif tinggi dan sering kali memerlukan impor dari luar wilayah. Batang pohon aren dipilih karena merupakan material lokal yang dapat diperbarui, memiliki kekuatan mekanis yang baik, seperti kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang cukup tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi batang pohon aren (Arenga pinnata) sebagai alternatif tulangan pada balok beton dalam rangka menciptakan solusi konstruksi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Batang pohon aren dipilih karena sifat mekanisnya yang unggul, seperti kekuatan tarik dan tekan yang signifikan, serta modulus elastisitas yang cukup tinggi, sehingga memungkinkan penggunaannya dalam aplikasi struktural. Dalam penelitian ini, dilakukan serangkaian uji lentur terhadap balok beton yang ditulangi dengan batang kayu aren, yang kemudian dibandingkan dengan balok beton yang tidak memiliki tulangan untuk mengetahui kontribusi tulangan dari batang pohon aren terhadap kuat lentur balok beton. Hasil uji menunjukkan bahwa balok beton dengan tulangan batang pohon aren memiliki kekuatan dan daya lentur yang cukup baik, dimana nilai kuat lentur rata-rata untuk balok BLTA adalah 4,93 MPa, sementara untuk balok BLK hanya 3,20 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan tulangan batang pohon aren pada balok BLTA meningkatkan kapasitas lentur sebesar 1,73 MPa. Jika dihitung dalam persentase, peningkatan kapasitas lentur tersebut adalah sekitar 54,06% dibandingkan dengan balok BLK tanpa tulangan. Temuan ini menunjukkan bahwa batang pohon aren memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai material tulangan alternatif, yang tidak hanya mengurangi ketergantungan pada baja tetapi juga memberikan solusi yang lebih ramah lingkungan dalam industri konstruksi.

Kata kunci: batang kayu aren, tulangan, balok beton, kapasitas lentur, konstruksi.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan pesat industri konstruksi telah meningkatkan permintaan akan material konstruksi, terutama baja sebagai bahan tulangan. Namun, keterbatasan sumber daya alam dan dampak lingkungan yang signifikan dari produksi baja telah mendorong pencarian alternatif yang lebih berkelanjutan. Proses produksi baja secara global berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, sehingga pengurangan penggunaannya dalam konstruksi dapat berperan penting dalam upaya menurunkan jejak karbon industri ini (Olugbenga et al., 2022). Selain itu, biaya penggunaan baja sebagai tulangan relatif tinggi.

Dalam perkembangan terkini, telah muncul penggunaan material alami sebagai substitusi tulangan baja pada beton. Misalnya, batang bambu dan batang pohon aren kini dipertimbangkan sebagai alternatif tulangan, yang mendukung konsep daur ulang dan penggunaan material lokal, serta mengurangi ketergantungan pada material yang harus diimpor dari lokasi yang jauh. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengeksplorasi penggunaan bambu sebagai pengganti tulangan, dengan fokus pada kapasitas lentur balok beton. Sifat mekanis bambu menjadikannya alternatif yang layak untuk menggantikan baja, di mana perkuatan dengan bambu mampu meningkatkan kapasitas beban lentur maksimum pada balok beton. Kekuatan tarik bambu yang tinggi, yang hampir sebanding dengan baja, juga mendukung kapabilitas beban tersebut (Nuralinah D., 2016).

Namun, secara umum, performa balok bertulangan bambu masih di bawah balok beton bertulangan baja. Sebagai contoh, dalam penelitian yang dilakukan oleh Suryani & Budi (2016), diperoleh kekuatan lentur 3,98 N/mm² untuk bambu dan 12,3693 N/mm² untuk baja, menunjukkan bahwa kapasitas lentur balok tulangan baja sekitar tiga kali lebih baik daripada tulangan bambu. Temuan ini mendorong para peneliti untuk terus mencari solusi yang dapat

meningkatkan kekuatan lentur bambu hingga mencapai potensi optimalnya sebagai tulangan. Salah satu solusi yang telah dicoba adalah laminasi bambu dengan plastik, sebagaimana yang dilakukan oleh Artanto (2022), yang menunjukkan bahwa kuat lentur rata-rata balok tulangan bambu laminasi lingkaran mencapai 63,68% dari tulangan baja, sedangkan balok tulangan bambu laminasi persegi mencapai 64,90% dari balok tulangan baja.

Gagasan penggunaan batang pohon aren sebagai alternatif tulangan pada balok didasari oleh kemiripannya dengan bambu. Penelitian yang dilakukan oleh Sri et al. mengkaji sifat mekanis dan kekuatan lentur balok bertulangan kayu panggoh (aren) secara teoritis dan eksperimental, dengan hasil yang tidak jauh berbeda. Hasil uji sifat mekanis menunjukkan nilai modulus elastisitas sebesar 131.649,6 kg/cm², yang menurut Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu (PKKI 2002) menempatkan kayu panggoh atau aren pada kategori mutu E18, hampir setara dengan bambu.

Pohon aren secara umum tumbuh secara lokal di berbagai wilayah tropis dengan ketinggian 100 – 1.400 meter di atas permukaan laut (MDPL), terutama di daerah Tana Toraja dan Toraja Utara. Masyarakat Toraja memanfaatkan aren dan lidi dari pohon aren untuk kerajinan sapu, memanfaatkan arak dari pohon aren untuk minuman pada acara adat, serta memanfaatkan batangnya untuk konstruksi bangunan. Penelitian menunjukkan bahwa tanaman aren memiliki potensi besar dalam berbagai aspek, termasuk sebagai bahan konstruksi. Batang pohon aren dikenal memiliki sifat ringan dan kuat, yang membuatnya potensial sebagai material tulangan yang mampu memberikan dukungan struktural memadai. Selain itu, sifat daur ulang dan biodegradabel pohon aren juga mendukung prinsip-prinsip keberlanjutan, mengurangi limbah dan dampak lingkungan setelah penggunaannya (ArsitekHijau) (Green Indonesia). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pemahaman mengenai potensi penggunaan batang pohon aren sebagai tulangan pada balok beton, serta merangsang inovasi dalam pengembangan konstruksi berkelanjutan yang ramah lingkungan. Penelitian ini juga diharapkan dapat mencakup pengembangan desain konstruksi yang mempertimbangkan karakteristik unik batang ijuk, sekaligus memastikan keberlanjutan dan keamanan strukturalnya.

2. LANDASAN TEORI

Balok Beton Bertulang

Balok beton bertulang merupakan elemen struktural yang esensial dalam konstruksi bangunan modern, menggabungkan beton dan tulangan baja untuk mengatasi beban lentur dan geser. Beton, yang kuat dalam menahan tekan namun lemah dalam tarik, diperkuat dengan tulangan baja untuk meningkatkan kapasitas lenturnya. Kombinasi antara beton dan baja ini memungkinkan balok menahan beban besar dan mendistribusikan tekanan secara merata di seluruh elemen bangunan. Balok beton bertulang sering digunakan untuk menahan beban struktural utama, seperti lantai dan atap. Beton berperan sebagai material kompresi, sementara baja berperan dalam menahan tegangan tarik. Penelitian oleh Putra (2020), menyoroti pentingnya pemilihan material yang tepat dan perancangan yang baik untuk memastikan kinerja balok beton bertulang dalam kondisi beban maksimum. Beton bertulang merupakan solusi yang ekonomis dan tahan lama, menjadikannya pilihan utama dalam konstruksi.

Seiring dengan perkembangan teknologi, penelitian tentang balok beton bertulang juga mengalami kemajuan signifikan. Salah satu inovasi penting adalah penggunaan bahan alam sebagai pengganti tulangan baja. Bambu dan serat alam telah menjadi fokus penelitian dalam beberapa tahun terakhir karena ketersediaannya yang melimpah dan sifat mekanis yang baik. Penelitian oleh Wijaya (2021), menunjukkan bahwa bambu memiliki kuat tarik yang sebanding dengan baja, menjadikannya alternatif yang layak untuk tulangan beton. Selain itu, penggunaan bambu sebagai tulangan dapat mengurangi biaya produksi dan dampak lingkungan, mengingat bambu adalah material yang dapat diperbarui dengan siklus pertumbuhan yang cepat. Selain itu, serat alam seperti serat kelapa dan arenjuga telah diteliti sebagai alternatif tulangan. Penelitian ini mengungkapkan bahwa serat alam dapat meningkatkan kinerja balok beton dalam hal ketahanan terhadap retak dan deformasi, sekaligus mendukung keberlanjutan dalam konstruksi. Penggunaan bahan alam ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada baja, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi jejak karbon dan mempromosikan penggunaan material lokal.

Kinerja balok beton bertulang sangat bergantung pada desain dan implementasi yang tepat. Kesalahan dalam perancangan atau pemasangan dapat menyebabkan kegagalan struktural yang fatal. Penelitian oleh Hidayat dan Setiawan (2021) menekankan pentingnya uji laboratorium sebelum penerapan di lapangan untuk memastikan kinerja optimal dari balok beton bertulang. Di sisi lain, penggunaan material alam seperti bambu dan serat alam dalam balok beton bertulang juga mendukung prinsip keberlanjutan. Penggunaan bahan-bahan ini membantu mengurangi limbah dan emisi karbon, sekaligus mendukung ekonomi lokal dengan memanfaatkan sumber daya yang tersedia secara melimpah di berbagai wilayah Indonesia. Balok beton bertulang adalah elemen kunci dalam konstruksi bangunan yang menawarkan kombinasi kekuatan, ketahanan, dan efisiensi biaya. Perkembangan teknologi dan inovasi dalam penggunaan bahan alam terus meningkatkan kinerja dan keberlanjutan balok ini. Penelitian lebih lanjut dalam desain dan material yang digunakan akan terus berkontribusi pada peningkatan kualitas dan efisiensi balok beton bertulang di masa depan.

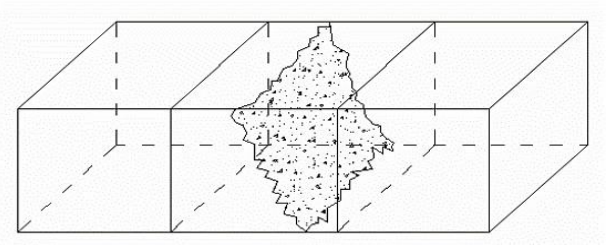
Kuat Lentur Balok

Menurut SNI 4431-2011 kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan

untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas. Rumus-rumus perhitungan yang digunakan adalah :

a. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

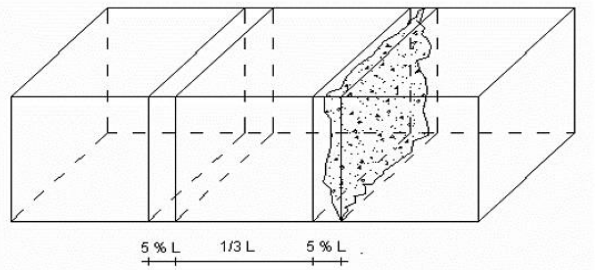
$$\sigma_1 = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (1)$$



Gambar 1. Patah pada 1/3 bentang tengah

b. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

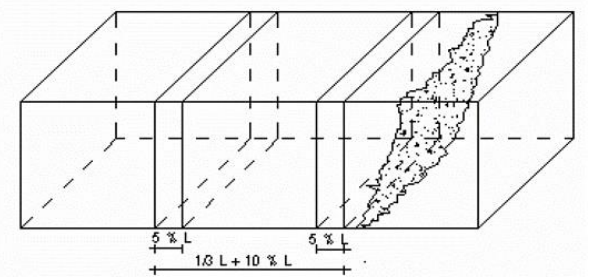
$$\sigma 1 = \frac{3 \cdot a}{b \cdot h^2} \quad (2)$$



Gambar 2. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada < 5% dari bentang

Dimana, σ_1 = Kuat lentur benda uji (MPa), P = Beban uji (kN), L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm), b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm), h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm), a = jarak rata-rata antar tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm), 1 Kg = 9,8 N dan 1 kN = 101,97 kg.

c. Untuk benda uji yang patahnya di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah lebih dari 5%, hasil pengujian tidak digunakan.



Gambar 3. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada >5% dari bentang

Batang Pohon Aren dan Sifat Mekanis

Batang pohon aren (Arenga pinnata) adalah material alami yang telah banyak diteliti karena potensinya sebagai

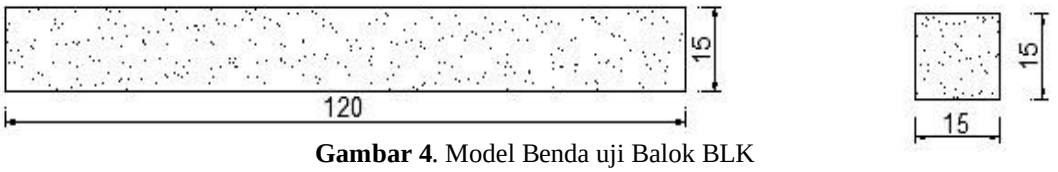
alternatif material konstruksi di wilayah tropis. Kayu ini memiliki tekstur keras dan serat yang kuat, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi struktural. Berdasarkan penelitian Sri et al. (2022), modulus elastisitas batang pohon aren tercatat sebesar 131,649.6 kg/cm², menunjukkan kekuatannya yang sebanding dengan kayu berkualitas tinggi seperti bambu. Kuat tekan batang pohon aren berkisar antara 40 hingga 60 MPa, sedangkan kuat tariknya berkisar antara 80 hingga 120 MPa, menunjukkan kemampuan signifikan sebagai material alternatif dalam konstruksi (Indriani & Setiawan, 2021). Penelitian lain oleh Sutrisno et al. (2020) mengindikasikan bahwa penambahan serat batang pohon aren pada beton dapat meningkatkan kuat lentur sebesar 12%, sementara Yusuf & Nanda (2021) menemukan bahwa batang pohon aren memiliki kekuatan yang cukup untuk digunakan sebagai tulangan pada struktur beton ringan. Selain itu, Wahyu & Priyadi (2023) menunjukkan bahwa dengan pengawetan yang tepat, batang pohon aren mampu bertahan dalam kondisi lembap dan memberikan kontribusi signifikan terhadap kekuatan beton ringan. Sifat mekanis yang unggul ini menjadikan batang pohon aren sebagai alternatif yang layak untuk material bangunan konvensional seperti baja, terutama dalam aplikasi yang memerlukan bahan alami yang ringan namun kuat.

METODE PENELITIAN

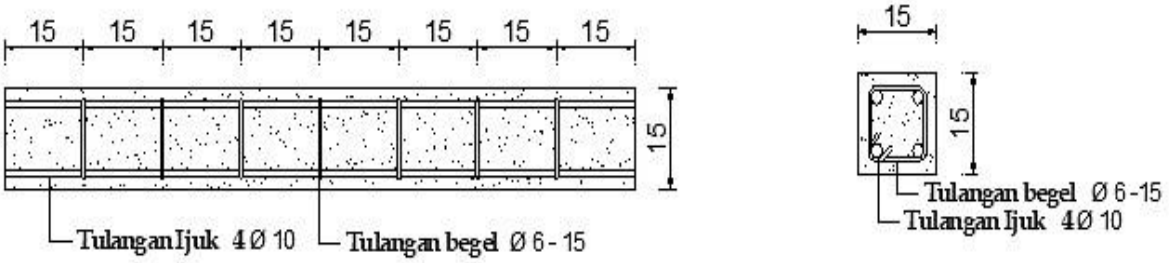
Penelitian ini dilakukan dengan metode studi eksperimental di laboratorium. Benda uji balok beton tanpa tulangan BLK dan balok beton tulangan batang pohon aren BLTA dibuat untuk mengetahui kontribusi kuat lentur dari pemanfaatan batang pohon aren sebagai tulangan. Balok beton dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 120 cm masing-masing variasi dibuat 2 benda uji antara lain 2 buah balok beton tanpa tulangan dan 2 buah balok dengan tulangan dari batang pohon aren. Mutu beton direncanakan 20 Mpa. Batang pohon aren dipilih dari batang kayu yang sudah tua, dibentuk berdiameter 10 mm dan diaplikasikan sebagai tulangan lentur. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian karakteristik agregat kasar dan halus menggunakan standar *American Society For Testing and Materials (ASTM)*, pengujian kuat tekan benda uji silinder 15x30 sebanyak 3 buah pada umur 28 hari, uji tarik tulangan batang pohon aren dilakukan di Laboratorium Universitas Kristen Indinesia Paulus Makassar dan uji lentur balok dilakukan di laboratorium Universitas Kristen Indonesia Toraja. Desain model dan penampang benda uji mengacu pada Buku Saku Petunjuk Konstruksi Bangunan Sederhana Dinas PUPR 2022.

Tabel 1 . Benda uji balok

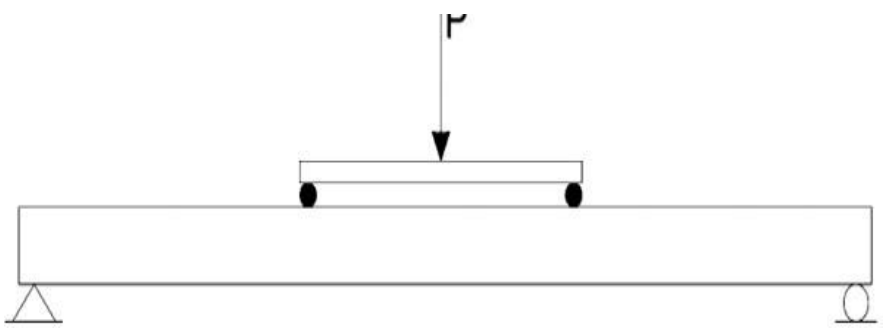
No.	Kode Benda Uji	D Tulangan	Jumlah
1	BLK	-	2 buah
2	BLTA	10 mm	2 buah



Gambar 4. Model Benda uji Balok BLK



Gambar 5. Model Benda uji Balok BLTA



Gambar 6. Model Pembebanan Benda Uji

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Tabel 2. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar

No.	Jenis Pengujian	Standar	Hasil	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0.2 % - 6 %	0,671 %	Memenuhi
2	Bobot Isi			
	Kondisi Padat	1.2 - 1.9 gr/cm³	1,629 gr/cm³	Memenuhi
	Kondisi Lepas	1.2 - 1.9 gr/cm³	1,447 gr/cm³	Memenuhi
3	Kadar Air	0.5 % - 5 %	1,215 %	Memenuhi
4	Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	1.6 - 3.1 gr	2,673 gr	Memenuhi
5	Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Permukaan)	1.6 - 3.1 gr	2,684 gr	Memenuhi
6	Berat Jenis Semu	1.6 - 3.1 gr	2,704 gr	Memenuhi
7	Penyerapan Air	0.2 % - 5 %	0,433 %	Memenuhi
8	Abrasi (Keausan)	15 – 40 %	20,020 %	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Teknik Sipil UKI Toraja, 2024

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar menunjukkan bahwa semua parameter uji memenuhi standar yang ditetapkan *American Society For Testing and Materials (ASTM).*

Hasil Pengujian Karekteristik Agregat Halus

Tabel 3. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus

NO.	Jenis Pengujian	Standar	Hasil	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0.2 % - 6 %	2,459 %	Memenuhi
2	Bobot Isi			
	Kondisi Padat	1.2 - 1.9 gr/cm³	1,424 gr/cm³	Memenuhi
	Kondisi Lepas	1.2 - 1.9 gr/cm³	1,233 gr/cm³	Memenuhi
3	Kadar Air	0.5 % - 5 %	4,458 %	Memenuhi

NO.	Jenis Pengujian	Standar	Hasil	Keterangan
4	Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	1.6 - 3.1 gr	2,269 gr	Memenuhi
5	Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Permukaan)	1.6 - 3.1 gr	2,360 gr	Memenuhi
6	Berat Jenis Semu	1.6 - 3.1 gr	2,496 gr	Memenuhi
7	Penyerapan Air	0.2 % - 5 %	4,024 %	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Teknik Sipil UKI Toraja, 2024

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar menunjukkan bahwa semua parameter uji memenuhi standar yang ditetapkan *American Society For Testing and Materials (ASTM).*

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton normal silinder 15 cm x 30 cm sebanyak 3 buah benda uji dilakukan setelah mencapai umur 28 hari. Pengujian kuat tekan beton normal dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Gambar 7 . Pengujian kuat tekan beton

Tabel 4 Hasil pengujian kuat tekan silinder beton normal

No	Berat (kg)	Beban (N)	Luas Penampang Silinder (mm^2)	⬚⬚⬚	⬚
BN 1	12,049	340000	17662,5	19,25	18,68
BN 2	12,124	320000	17662,5	18,12	
BN 3	12,057	330000	17662,5	18,68	

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Teknik Sipil UKI Toraja, 2024

Uji mutu beton dilakukan di umur 28 hari untuk mengetahui apakah mutu rencana tercapai sebelum aplikasi pada balok beton. Berdasarkan hasil uji tekan diperoleh mutu beton rata-rata sebesar 18,68 Mpa. Hasil memperlihatkan mutu rencana tercapai 94,3%.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Gambar 8 . Pengujian kuat tarik tulangan batang aren

Tabel 5 Hasil pengujian kuat tarik tulangan

Jenis Kayu	No. Kode	Beban (kN)	Luas Penampang Tul. As (Cm^2)	Kuat Tarik (Kg/Cm^2)	Kuat Tarik Rata-rata (Kg/Cm^2)
Kayu Aren	W-Ta-1	9,1	1	927,93	907,54
	W-Ta-2	8,7	1	887,14	

Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium Teknik Sipil UKIP Makassar , 2024

Hasil uji tarik tulangan batang pohon aren diperoleh kuat tarik rata-rata sebesar 907,54 kg/cm^2 atau sekitar 89,016 Mpa.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok

Tabel 6 Hasil pengujian kuat lentur balok

Sumber : Hasil Penelitian di Laboratorium Teknik Sipil UKI Toraja, 2024

Dari tabel hasil uji lentur balok memperlihatkan kinerja lentur rata-rata balok BLTA dengan tulangan batang pohon

Kode Benda Uji	L (mm)	h (mm)	b (mm)	P (KN)	P(Kg)	σ_{lt}	
						Kg/mm^2	Mpa
BLK 1	450	150	150	24	2447,28	0,326	3,20
BLK 2	450	150	150	24	2447,28	0,326	3,20
		Rata – rata				0,326	**3,20**
BLTA 1	450	150	150	36	3670,92	0,489	4,80
BLTA 2	450	150	150	38	3874,86	0,517	5,06
		Rata – rata				0.503	**4,93**

aren mencapai 0,503 Kg/mm^2 atau sekitar 4,93 Mpa. Kontribusi kuat lentur jika dibandingkan dengan BLK dengan kuat lentur rata-rata sebesar 0,326 Kg/mm^2 atau sekitar 3,20 Mpa adalah 1,73 Mpa atau meningkatkan perfoma lentur balok sebesar 54,06%.

Kondisi Benda Uji Pasca Pembebanan

Gambar 9. Kondisi benda uji BLK pasca pembebanan

Gambar 10. Kondisi benda uji BLTA pasca pembebanan

Berdasarkan gambar kondisi benda uji pasca pembebanan, terlihat bahwa balok BLK yang tidak memiliki tulangan mengalami retakan yang signifikan di tengah bentang, menunjukkan ketidakmampuannya dalam menahan beban lentur yang diberikan. Hal ini mengindikasikan bahwa balok tanpa tulangan memiliki keterbatasan kekuatan struktural terhadap gaya tarik yang terjadi pada saat pembebanan. Sebaliknya, balok BLTA yang menggunakan tulangan batang kayu arenmemperlihatkan adanya retakan yang lebih terkontrol dan tidak separah retakan pada balok BLK. Ini menunjukkan bahwa penggunaan tulangan kayu aren memberikan kontribusi dalam meningkatkan kekuatan tarik dan daktilitas balok, sehingga mampu menahan pembebanan dengan lebih baik dibandingkan balok tanpa tulangan. Tulangan batang pohon aren berfungsi untuk mendistribusikan tegangan tarik yang terjadi, mengurangi konsentrasi tegangan di satu titik, dan memperlambat keruntuhan.

Pembahasan

Keunggulan Kekuatan Lentur: Penggunaan tulangan kayu aren mampu meningkatkan kekuatan lentur balok beton hingga 54,06% dibandingkan dengan balok tanpa tulangan. Hal ini menunjukkan bahwa kayu aren dapat memberikan dukungan struktural yang signifikan.

Keberlanjutan: Kayu aren adalah material yang terbarukan dan ramah lingkungan, berbeda dengan baja yang memerlukan proses produksi yang intensif energi dan menghasilkan emisi gas rumah kaca.

Ketersediaan Lokal: Kayu aren banyak ditemukan di wilayah tropis, sehingga dapat menjadi solusi material yang lebih mudah diakses dan ekonomis di wilayah seperti Indonesia.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan :

1. Nilai kuat lentur rata-rata untuk balok BLTA adalah 4,93 MPa, sementara untuk balok BLK hanya 3,20 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan tulangan batang kayu arenpada balok BLTA meningkatkan kapasitas lentur sebesar 1,73 MPa. Jika dihitung dalam persentase, peningkatan kapasitas lentur tersebut adalah sekitar 54,06% dibandingkan dengan balok BLK tanpa tulangan. Peningkatan yang signifikan ini menegaskan efektivitas penggunaan tulangan batang pohon aren dalam meningkatkan kekuatan lentur balok.
2. Balok tanpa tulangan (BLK) mengalami keretakan yang lebih besar dan terpusat di tengah bentang, menunjukkan kegagalan struktural yang signifikan akibat ketidakmampuan balok tersebut menahan beban lentur. Sementara itu, balok dengan tulangan batang pohon aren (BLTA) menunjukkan keretakan yang lebih terkendali dan tersebar, yang mengindikasikan bahwa tulangan batang pohon aren berhasil meningkatkan kapasitas lentur balok, mengurangi konsentrasi tegangan, dan memperlambat keruntuhan.

DAFTAR PUSTAKA

Ampangallo, B. A. (2022). “Studi Perilaku Balok Beton dengan Tulangan Bambu Laminasi Limbah Plastik”. Journal on Education, Vol. 4, 1639-1649.

Green Indonesia. (n.d.). “Aren Komoditi yang Menjanjikan”. Green Indonesia. https://greenindonesia.co

Hidayat, R., & Setiawan, B. (2021). “Evaluasi Kinerja Struktural Balok Beton Bertulang pada Bangunan Bertingkat”. Jurnal Rekayasa Struktur, Vol. 5, 120-135.

Indriani, M., & Setiawan, A. (2021). “Kekuatan Tekan dan Tarik Pohon arensebagai Material Alternatif dalam Konstruksi”. Jurnal Teknologi Kayu, Vol. 10, 23-30.

Nuralinah, D. (2016). “Eksperimen dan Analisis Beban Lentur pada Balok Beton Bertulangan Bambu Rajutan”. Rekayasa Sipil, Vol. 10, 197-208.

Olugbenga, T., et al. (2022). “Structural Integrity and Environmental Impact of Sustainable Building Materials”. Journal of Cleaner Production, Vol. 362, 132377.

Putra, D. (2020). “Pengaruh Kualitas Material Terhadap Kinerja Balok Beton Bertulang di Indonesia”. Jurnal Teknik Sipil Indonesia, Vol. 10, 45-59.

Sri, W., et al. (2022). “Analisis Sifat Mekanis Pohon aren(Arenga pinnata) dan Potensinya dalam Konstruksi”. Jurnal Material Alami, Vol. 8, 45-52.

Suryani, I., Budi, A. S., & Sunarmasto. (2016). “Kuat Lentur Balok Beton Tulangan Bambu Petung Vertikal”. e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL, Desember, 1251.

Sutrisno, A., Wijaya, R., & Yuliani, S. (2020). "Pengaruh Serat Batang Pohon Aren Sebagai Penguat Pada Beton." *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 10(2), 45-52.

Wahyu, D., & Priyadi, A. (2023). "Analisis Kekuatan Mekanis Batang Pohon Aren Sebagai Tulangan Pada Struktur Beton Ringan." *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 12(1), 25-33.

Wijaya, T. (2021). “Penggunaan Bambu sebagai Pengganti Tulangan Baja pada Balok Beton”. Jurnal Konstruksi dan Material, Vol. 9, 102-110.

Yusuf, A., & Nanda, D. (2021). "Eksplorasi Batang Pohon Aren Sebagai Material Tulangan Pada Beton." *Jurnal Material dan Konstruksi Tropis*, 8(3), 101-110.