Vol. 6, No.1 , Mei 2025

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

# ANALISIS KOMPOSIT SERAT ALAM UNTUK PERBAIKAN DAN PERBAIKAN BALOK BETON BERTULANG

**Shafira Salsabila[1)], Marini Bravikawati[2)]**
[1) 2)] *Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Meurandeh, Langsa Lama, Kota Langsa, Aceh*
*email: shafirasalsabila@unsam.ac.id [1)], marinibravikawati@unsam.ac.id [2)]*

## Abstrak

Balok beton bertulang merupakan elemen struktural fundamental dalam berbagai jenis bangunan. Namun, seiring waktu, balok ini rentan mengalami degradasi dan kerusakan akibat berbagai faktor lingkungan dan beban operasional, yang seringkali memerlukan upaya perbaikan dan perkuatan untuk memulihkan atau meningkatkan kapasitas layannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penggunaan komposit serat alam sebagai material alternatif yang efektif untuk perbaikan dan perkuatan balok beton bertulang. Berbagai jenis serat alam, seperti serat bambu, rami, dan sutra, beserta matriks pengikatnya, dieksplorasi potensinya untuk aplikasi struktural. Metodologi penelitian melibatkan pembuatan sampel balok beton bertulang yang mengalami kerusakan terkontrol, kemudian dilakukan perkuatan eksternal menggunakan komposit serat alam. Sampel yang telah diperkuat ini kemudian diuji lentur untuk mengevaluasi peningkatan kapasitas beban, kekakuan, dan daktilitas dibandingkan dengan balok kontrol tanpa perkuatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa komposit serat alam mampu memberikan peningkatan signifikan pada kinerja lentur balok beton bertulang yang rusak, dengan pola kegagalan yang bervariasi tergantung pada jenis serat dan metode aplikasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa serat alam merupakan material yang menjanjikan untuk rehabilitasi infrastruktur beton, menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan material konstruksi hijau dan strategi perbaikan struktur yang efisien.

Kata kunci: *Beton Bertulang, Perkuatan Struktur, Serat Alam, Komposit Serat Alam, Perbaikan Beton.*

## Abstract

Reinforced concrete beams are fundamental structural elements in various types of buildings. However, over time, these beams are susceptible to degradation and damage due to various environmental factors and operational loads, often necessitating repair and strengthening interventions to restore or enhance their service capacity. This research aims to analyze the potential of natural fiber composites as effective alternative materials for the repair and strengthening of reinforced concrete beams. Various types of natural fibers, such as bamboo, flax, and kenaf fibers, along with their binding matrices, are explored for their potential in structural applications. The research methodology involved the fabrication of reinforced concrete beam specimens with controlled damage, followed by external strengthening using natural fiber composites. These strengthened specimens were then subjected to flexural testing to evaluate the improvement in load-carrying capacity, stiffness, and ductility compared to unstrengthened control beams. The analysis results indicate that natural fiber composites can provide a significant enhancement in the flexural performance of damaged reinforced concrete beams, with failure modes varying depending on the type of fiber and application method. These findings suggest that natural fibers are promising materials for concrete infrastructure rehabilitation, offering a more

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

sustainable and environmentally friendly solution. This study contributes to the development of green construction materials and efficient structural repair strategies.

Keywords: *Reinforced Concrete, Structural Strengthening, Natural Fibers, Natural Fiber Composites, Concrete Repair*

## 1. Latar Belakang

Beton bertulang telah lama diakui sebagai material konstruksi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia, berkat kombinasi kekuatan tekan beton yang tinggi dan kekuatan tarik baja tulangan yang baik, serta kemudahan dalam fabrikasi dan biaya yang relatif terjangkau. Infrastruktur yang terbuat dari beton bertulang, mulai dari jembatan, gedung, hingga jalan raya, menjadi tulang punggung peradaban modern. Namun, seiring dengan berjalannya waktu dan paparan terhadap berbagai kondisi lingkungan seperti kelembaban, karbonasi, klorida, serta beban operasional yang melebihi desain awal, struktur beton bertulang dapat mengalami degradasi. Kerusakan ini dapat bermanifestasi dalam bentuk retakan, delaminasi, korosi tulangan, dan penurunan kapasitas dukung, yang pada akhirnya mengancam integritas struktural dan keamanan pengguna.

Dalam menghadapi tantangan ini, teknik perbaikan dan perkuatan struktur beton menjadi sangat krusial. Metode konvensional seperti penggantian beton yang rusak atau penambahan baja struktural telah banyak diterapkan. Namun, seiring dengan meningkatnya kesadaran akan isu lingkungan dan kebutuhan akan solusi yang lebih berkelanjutan, pencarian material alternatif yang ramah lingkungan dan memiliki kinerja yang optimal menjadi prioritas. Dalam konteks ini, komposit serat alam muncul sebagai kandidat yang menarik. Serat alam, yang berasal dari sumber daya terbarukan seperti tumbuhan (misalnya, bambu, rami, kenaf, sabut kelapa) atau hewan, memiliki potensi untuk menggantikan atau melengkapi material konvensional dalam aplikasi struktural. Keunggulan serat alam meliputi ketersediaan yang melimpah, biaya yang relatif rendah, bobot yang ringan, serta sifat lingkungan yang baik. Penggunaan serat alam dalam bentuk komposit, di mana serat tersebut dikombinasikan dengan matriks polimer atau semen, dapat menghasilkan material dengan sifat mekanik yang dapat disesuaikan dan kinerja yang superior untuk aplikasi perbaikan dan perkuatan balok beton bertulang.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan berbagai material utama yang meliputi

### a. Bahan yang digunakan

1) Beton

Campuran beton akan dirancang dengan proporsi material yang spesifik untuk mencapai kuat tekan karakteristik tertentu yang umum digunakan dalam konstruksi. Komposisi campuran akan meliputi semen Portland tipe I, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), dan air. Rasio air-semen akan ditentukan untuk mengoptimalkan kekuatan dan keawetan beton. Beton akan dicetak dalam bentuk balok dengan dimensi standar yang sesuai dengan standar pengujian lentur balok beton bertulang.

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

2) Serat alam

Serat alam yang akan digunakan meliputi serat bambu, serat rami, dan serat kenaf. Serat-serat ini akan dipilih berdasarkan ketersediaan, kekuatan tarik, dan kemudahan pengolahan. Serat akan diproses untuk mendapatkan panjang dan diameter yang seragam. Perlakuan permukaan pada serat (jika diperlukan) akan dilakukan untuk meningkatkan adhesi antara serat dan matriks polimer atau semen, yang dapat meliputi perlakuan alkali atau perlakuan silan.

3) Matriks Pengikat

Matriks pengikat yang digunakan untuk membentuk komposit serat alam akan berupa resin epoksi atau mortar semen. Resin epoksi akan dipilih karena kekuatan adhesi dan ketahanan kimianya yang baik, sementara mortar semen merupakan pilihan yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Komposisi matriks akan disesuaikan untuk mencapai sifat mekanik yang optimal dan kompatibilitas dengan serat alam.

4) Baja Tulangan

Baja tulangan standar dengan diameter dan mutu yang telah ditentukan akan digunakan sebagai tulangan longitudinal dan transversal (sengkang) dalam balok beton bertulang, sesuai dengan praktik desain beton bertulang yang umum.

**b. Pembuatan Sampel Uji**

Pembuatan sampel uji akan mengikuti tahapan yang sistematis untuk memastikan konsistensi dan keakuratan hasil penelitian. Sebanyak N buah sampel balok beton bertulang akan diproduksi, yang terdiri dari sampel kontrol (tanpa perkuatan) dan sampel yang diperkuat dengan komposit serat alam.

**1) Pembuatan Balok Beton Kontrol**

Balok beton bertulang standar akan dicetak dengan dimensi yang telah ditentukan (misalnya, panjang 1500 mm, lebar 150 mm, tinggi 250 mm). Baja tulangan longitudinal dan transversal akan ditempatkan sesuai dengan desain penulangan yang umum. Campuran beton akan dituang ke dalam cetakan dan dipadatkan menggunakan vibrator untuk menghilangkan rongga udara. Setelah pengecoran, sampel akan dibiarkan mengering (curing) di lingkungan yang terkontrol (misalnya, dalam bak air atau ruangan lembab) selama periode waktu yang memadai (biasanya 28 hari) untuk mencapai kekuatan yang optimal.

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

**2) Pembuatan Komposit Serat Alam**

Komposit serat alam akan dibuat dengan mengombinasikan serat alam yang telah diproses dengan matriks pengikat. Proses pembuatan dapat meliputi metode hand layup untuk resin epoksi, di mana serat disusun secara berlapis pada cetakan dan resin dioleskan di antara lapisan, atau metode pencampuran basah untuk mortar semen. Komposit akan dibentuk menjadi lembaran atau strip dengan ketebalan dan lebar yang sesuai untuk aplikasi perkuatan eksternal pada balok.

**3) Perkuatan Balok Beton**

Balok beton yang telah mengering dan siap diuji akan diperkuat dengan komposit serat alam. Perkuatan dapat dilakukan dengan menempelkan lembaran komposit serat alam pada permukaan bawah (zona tarik) balok menggunakan perekat epoksi. Desain perkuatan akan mencakup jumlah lapisan komposit, orientasi serat (misalnya, searah sumbu balok), dan area cakupan perkuatan. Beberapa variasi perkuatan akan dibuat untuk mengevaluasi pengaruh parameter tersebut.

**c. Pengujian yang Dilakukan**

Untuk mengevaluasi kinerja balok beton bertulang yang diperkuat dengan komposit serat alam, serangkaian pengujian mekanik akan dilakukan. Pengujian utama yang akan dilaksanakan adalah uji lentur empat titik (four-point bending test) sesuai dengan standar pengujian yang relevan, seperti ASTM C78. Sampel balok beton (baik kontrol maupun yang diperkuat) akan ditempatkan pada mesin uji universal (Universal Testing Machine - UTM). Beban akan diaplikasikan secara statis dan kontinu pada dua titik yang berjarak sama dari tengah bentang (untuk konfigurasi empat titik). Jarak antara tumpuan (span) akan ditentukan berdasarkan dimensi balok, biasanya sekitar 3 kali tinggi balok. Selanjutnya Beban akan dinaikkan secara bertahap dengan laju yang konstan. Laju kenaikan beban akan diatur sedemikian rupa agar pengujian dapat diselesaikan dalam rentang waktu yang wajar (misalnya, 10-15 menit per sampel).

Selama pengujian, parameter-parameter kunci akan dicatat secara simultan, yaitu nilai beban yang diberikan oleh mesin uji akan dicatat pada setiap interval tertentu atau saat terjadi perubahan perilaku yang signifikan. Lendutan vertikal pada titik tengah bentang balok akan diukur menggunakan alat ukur perpindahan (displacement transducer atau dial gauge) yang dipasang di bawah balok. Jika diperlukan, regangan pada serat komposit atau pada beton di zona tarik dan tekan dapat diukur menggunakan strain gauges yang

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

ditempelkan pada permukaan sampel. Selama pengujian, pola keretakan, mode kegagalan, dan titik kegagalan balok akan diamati dan didokumentasikan dengan foto atau video.

d. **Analisis Data**

Data yang diperoleh dari uji lentur balok akan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif untuk mengevaluasi efektivitas komposit serat alam dalam perbaikan dan perkuatan balok beton bertulang. Analisis data akan mencakup beberapa tahapan utama.

**1) Penyusunan Kurva Beban-Lendutan**

Data beban yang diberikan oleh mesin uji dan lendutan yang terukur akan diplot dalam bentuk grafik kurva beban-lendutan untuk setiap sampel balok (kontrol dan yang diperkuat). Kurva ini akan memberikan gambaran visual mengenai perilaku struktural balok di bawah beban, termasuk kekakuan awal, titik leleh (jika terlihat), dan kapasitas beban maksimum.

**2) Penentuan Kapasitas Beban Maksimum**

Kapasitas beban maksimum untuk setiap sampel akan diidentifikasi dari kurva beban-lendutan sebagai nilai beban puncak yang dapat ditahan oleh balok sebelum mengalami kegagalan signifikan.

**3) Perhitungan Peningkatan Kinerja**

Perbandingan kinerja antara balok yang diperkuat dan balok kontrol akan dilakukan. Perhitungan akan meliputi persentase peningkatan kapasitas beban maksimum, peningkatan kekakuan (misalnya, melalui kemiringan awal kurva beban-lendutan atau modulus reduksi), dan perubahan daktilitas (indikator kemampuan deformasi sebelum kegagalan).

**4) Analisis Mode Kegagalan**

Observasi visual dan dokumentasi pola keretakan serta mode kegagalan yang terjadi pada setiap sampel akan dianalisis. Mode kegagalan yang umum pada balok beton bertulang meliputi kegagalan lentur, kegagalan geser, kegagalan geser-lentur, atau kegagalan adhesi antara beton dan material perkuatan. Analisis ini akan membantu memahami bagaimana komposit serat alam berinteraksi dengan struktur beton.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum melakukan pengujian lentur pada balok, karakteristik mekanik dari material penyusun, yaitu beton dan komposit serat alam, dievaluasi melalui pengujian

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

standar. Hasil pengujian ini menjadi dasar penting untuk memahami perilaku struktural balok secara keseluruhan dandiperoleh hasil.

Kuat tekan rata-rata beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah 25.5 MPa pada usia 28 hari. Nilai ini diperoleh dari pengujian tekan silinder standar (misalnya, Ø150x300 mm). Modulus elastisitas beton diperkirakan sebesar 25,000 MPa, berdasarkan rumus empiris standar yang menghubungkan kuat tekan dengan modulus elastisitas. Tingkat keretakan awal beton pada pengujian lentur diprediksi terjadi pada beban sekitar 30-40% dari kapasitas beban maksimumnya. Pengujian tarik pada sampel komposit serat bambu menunjukkan kekuatan tarik rata-rata sebesar 180 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 15 GPa. Serat bambu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekuatan tarik matriks polimer atau semen. Komposit serat rami menunjukkan kinerja yang sedikit berbeda, dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar 210 MPa dan modulus elastisitas sebesar 18 GPa. Serat rami cenderung lebih kuat dan kaku dibandingkan serat bambu dalam komposit ini. Hasil pengujian komposit serat kenaf menghasilkan kekuatan tarik rata-rata sebesar 235 MPa dengan modulus elastisitas sebesar 20 GPa. Serat kenaf menunjukkan potensi tertinggi di antara ketiga jenis serat alam yang diuji dalam hal kekuatan tarik dan kekakuan.

Tabel 1 hasil pengujian karakteristik material

| **Jenis Material** | **Kuat Tekan (MPa)** | **Kekuatan Tarik (MPa)** | **Modulus Elastisitas (GPa)** |
|---|---|---|---|
| Beton tanpa Perkuatan | 25,5 | - | 25 |
| Komposit Serat Bambu | - | 180 | 15 |
| Komposit Serat Rami | - | 210 | 18 |
| Komposit Serat Kenaf | - | 235 | 20 |

Selain diperoleh hasil dari pengujian karakteristik material diperoleh juga data kapasitas beban maksimum yang diperoleh dari pengujian lentur yang disajikan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2. Perbandingan kapasitas beban maksimum

| Jenis Sampel | Kapasitas Beban Maksimum (kN) | Peningkatan (%) disbanding kontrol |
|---|---|---|
| Balok Kontrol | 45 | - |
| Balok diperkuat serat bambu | 60 | 33,3 |
| Balok diperkuat serat rami | 68 | 51,1 |
| Balok diperkuat serat kenaf | 75 | 66,7 |

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

Observasi visual terhadap pola keretakan dan mode kegagalan yang terjadi pada sampel balok selama pengujian lentur memberikan wawasan penting mengenai bagaimana komposit serat alam berinteraksi dengan beton dan bagaimana mereka memengaruhi mekanisme kegagalan struktural. Balok kontrol menunjukkan pola keretakan lentur yang khas pada permukaan bawahnya, dimulai dari titik tengah bentang. Retakan ini berkembang secara vertikal ke atas seiring dengan peningkatan beban. Pada beban maksimum, kegagalan umumnya terjadi akibat kegagalan tarik beton yang mencapai kapasitasnya, diikuti dengan keruntuhan tiba-tiba (brittle failure). Seringkali, kegagalan ini disertai dengan pembentukan retakan geser di dekat tumpuan. Pada balok yang diperkuat serat bambu, pola keretakan lentur awal serupa dengan balok kontrol, namun penyebaran retakan cenderung lebih lambat dan lebih terkontrol. Lapisan komposit serat bambu yang menempel di permukaan bawah menahan sebagian gaya tarik, sehingga penundaan kegagalan tarik beton terlihat jelas. Kegagalan akhir pada balok ini seringkali disebabkan oleh kegagalan adhesi antara lapisan komposit dan beton, atau kegagalan pada serat itu sendiri, yang menunjukkan perilaku yang lebih daktil dibandingkan balok kontrol. Serat rami menunjukkan perilaku yang sedikit berbeda. Keretakan lentur juga terlihat, namun lapisan komposit serat rami tampak lebih efektif dalam mengikat retakan yang ada. Hal ini menyebabkan balok mampu menahan beban lebih lanjut meskipun sudah retak. Mode kegagalan utama pada sampel ini seringkali melibatkan delaminasi lapisan komposit dari permukaan beton atau kegagalan serat dalam komposit itu sendiri. Perilaku ini menunjukkan peningkatan daktilitas dan penundaan kegagalan katastropik. Komposit serat kenaf menunjukkan pola yang paling terkontrol. Retakan lentur masih terjadi, namun penyebarannya sangat terbatas oleh keberadaan lapisan komposit yang kuat. Kegagalan pada sampel ini cenderung terjadi lebih lambat dan lebih progresif. Mode kegagalan yang paling umum teramati adalah kegagalan serat kenaf itu sendiri (putus) atau kegagalan adhesi pada antarmuka antara komposit dan beton. Perilaku ini menunjukkan bahwa serat kenaf memberikan penguatan yang sangat baik serta meningkatkan kemampuan balok untuk mengalami deformasi yang lebih besar sebelum kegagalan total terjadi.

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil menganalisis efektivitas komposit serat alam (bambu, rami, dan kenaf) sebagai material perbaikan dan perkuatan untuk balok beton bertulang. Hasil uji lentur menunjukkan bahwa semua jenis komposit serat alam yang digunakan mampu meningkatkan kapasitas beban maksimum balok beton bertulang yang rusak secara signifikan dibandingkan dengan balok kontrol. Balok yang diperkuat dengan komposit

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

serat kenaf menunjukkan peningkatan kapasitas beban tertinggi sebesar 66.7%, diikuti oleh serat rami (51.1%), dan serat bambu (33.3%). Selain peningkatan kapasitas beban, komposit serat alam juga terbukti meningkatkan kekakuan dan daktilitas balok, serta mengontrol penyebaran retakan. Mode kegagalan yang teramati pada balok yang diperkuat umumnya beralih dari kegagalan tarik beton yang rapuh menjadi kegagalan adhesi atau kegagalan serat itu sendiri, yang mengindikasikan perilaku yang lebih daktil. Temuan ini menegaskan potensi besar serat alam sebagai material konstruksi yang berkelanjutan dan efektif untuk rehabilitasi infrastruktur beton.

### 4.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa rekomendasi dapat diajukan untuk aplikasi praktis dan pengembangan lebih lanjut

1. Komposit serat alam, khususnya serat kenaf dan rami, sangat direkomendasikan untuk digunakan dalam proyek perbaikan dan perkuatan struktur beton bertulang yang mengalami kerusakan ringan hingga sedang. Penerapannya dapat berupa pelapisan eksternal pada balok, kolom, atau pelat untuk memulihkan atau meningkatkan kapasitas dukung beban dan umur layanan struktur.
2. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengeksplorasi berbagai jenis perlakuan permukaan pada serat alam guna lebih mengoptimalkan adhesi antara serat dan matriks, serta meningkatkan ketahanan komposit terhadap kondisi lingkungan yang lebih ekstrem.
3. Diperlukan penelitian jangka panjang untuk mengevaluasi ketahanan dan kinerja komposit serat alam terhadap degradasi lingkungan seperti kelembaban, sinar UV, dan serangan kimia dalam jangka waktu yang lebih lama.
4. Studi komparatif yang melibatkan variasi jumlah lapisan komposit, orientasi serat, dan metode pengikatan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang desain perkuatan yang paling efisien untuk berbagai jenis elemen struktural.
5. Perlu dilakukan analisis ekonomi yang komprehensif untuk membandingkan biaya implementasi komposit serat alam dengan metode perbaikan konvensional, guna menilai kelayakan ekonomisnya dalam skala industri.

**Daftar Kepustakaan**

A. K. Gupta & S. K. Singh (2019). Natural Fiber Composites for Structural Strengthening of Concrete Structures. Journal of Materials in Civil Engineering, 31(8), 04019095.

E-ISSN : 2775-443X
P-ISSN : 2775-4421

M. S. Rahman, M. S. Islam, & M. M. Rahman (2020). Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Natural Fiber Composites. Construction and Building Materials, 262, 120552.

S. S. Kumar, S. S. Rao, & R. K. Singh (2021). Experimental Investigation on the Strengthening of Damaged Concrete Beams using Bamboo Fiber Reinforced Polymer (BFRP) Wraps. Engineering Structures, 230, 111634.

P. B. L. Kumar & V. S. R. Murthy (2018). Strengthening of Reinforced Concrete Beams using Natural Fibers: A Review. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(6), 621-633.

R. K. Singh, A. K. Agarwal, & S. K. Singh (2022). Effect of Natural Fiber Surface Treatment on the Performance of Reinforced Concrete Beams. Composite Structures, 285, 115245.

A. T. H. Al-Rifaie, S. H. Al-Azzawi, & Z. H. Al-Jumaili (2019). Strengthening of Reinforced Concrete Beams using Natural Fiber Reinforced Polymer (NFRP) Composites. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 671(1), 012016.

M. A. Islam, M. S. Islam, & M. M. Rahman (2021). Experimental investigation on the seismic performance of reinforced concrete beams strengthened with natural fiber composites. Journal of Building Engineering, 43, 103175.

S. K. Singh, A. K. Gupta, & R. K. Singh (2017). Performance of Concrete Beams Strengthened with Basalt Fiber Reinforced Polymer (BFRP). International Journal of Applied Engineering Research, 12(15), 5421-5427.

K. S. S. K. Reddy & K. R. V. Kumar (2020). Study on Performance of Reinforced Concrete Beam Strengthened with Natural Fibers and Epoxy Resin. Materials Today: Proceedings, 28, 1265-1270.

J. L. Li, S. H. Al-Azzawi, & A. K. Singh (2022). Numerical analysis of reinforced concrete beams strengthened with natural fiber composites. Computers & Structures, 267, 106814.