



## Analisis Geser pada Balok Komposit Kayu Kamper Laminasi Baut Perekat-Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP

Pamella M Sri Rezeki<sup>1</sup>, Intan Nuriskha Rachma<sup>2</sup>

Jurnal Konstruksi  
Institut Teknologi Garut  
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia  
Email : [jurnal@itg.ac.id](mailto:jurnal@itg.ac.id)

<sup>1</sup>[pamella.msr@itg.ac.id](mailto:pamella.msr@itg.ac.id)

<sup>2</sup>[intan.nr@itg.ac.id](mailto:intan.nr@itg.ac.id)

**Abstrak** – Dimensi penampang kayu terbatas karena mengalami kembang susut, sehingga untuk memperoleh dimensi kayu yang besar salah satunya bisa dilakukan laminasi. Balok kayu laminasi dikompositkan dengan pelat beton bertulang menghasilkan bentuk struktur dimana kayu dilindungi oleh pelat beton. Sistem laminasi kayu dalam penelitian ini menggunakan baut perekat dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) sebagai perkuatan eksternal. Balok uji terdiri dari balok normal tanpa perkuatan (BLN-00) dan balok uji dengan perkuatan eksternal lapisan CFRP (BLF-01). Penelitian ini dilakukan eksperimen dengan metode *Displacement Control*. Balok uji dibebani satu beban terpusat statik monotonik di tengah bentang dengan kecepatan konstan 0,05 mm/dtk sampai runtuh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok uji normal tanpa perkuatan (BLN-00) memiliki kekuatan 52,43 kN, kekakuan 7,06 kN/mm, dan daktilitas 13,42. Sedangkan balok dengan perkuatan CFRP (BLF-01) memiliki kekuatan 65,81 kN, kekakuan 9,33 kN/mm, dan daktilitas 16,85. Selain itu, nilai tegangan geser maksimum yang terjadi pada balok normal sebesar 4,23 MPa dan pada balok dengan perkuatan CFRP sebesar 1,95 MPa.

**Kata Kunci** – Balok Komposit; CFRP; Laminasi Kayu; Perkuatan Eksternal; Tegangan Geser.

### I. PENDAHULUAN

Luas hutan tropis yang tersebar di wilayah Indonesia menjadi salah satu penunjang proses konstruksi jembatan-jembatan yang terbuat dari kayu. Indonesia memiliki 130 juta hektar luas hutan tropis dengan kawasan hutan alam 111.713.000 Ha dan hutan produksi 19.039.000 Ha [1]. Kebutuhan kayu dalam dunia konstruksi semakin terbatas, sehingga struktur kayu dapat dibuat dari potongan kayu kecil yang digabungkan dengan bahan lain agar mendapatkan dimensi yang diperlukan [2].

Perkembangan konstruksi yang semakin pesat menciptakan berbagai cara baru untuk menambah kemampuan struktur dalam menerima beban. Salah satunya adalah dengan menggunakan perkuatan eksternal berupa Fiber Reinforced Polymer (FRP). Beberapa jenis FRP diantaranya AFRP (Aramid), CFRP (*Carbon*), dan GFRP (*Glass*). Penelitian ini menggunakan jenis CFRP sebagai perkuatan eksternal pada balok beton yang bekerja untuk menahan lentur dan deformasi. Distribusi tegangan akibat beban lentur menyebabkan serat bagian atas balok tertekan dan serat bagian bawah balok tertarik. Kuat lentur suatu struktur akan mempengaruhi kekuatan dan estetika struktur tersebut. Kuat lentur struktur akan bertambah ketika struktur tersebut mengalami perkuatan dan perbaikan. Degradasi kekuatan struktur tersebut tidak sesuai dari perencanaan akibat mutu beton [3].

Glulam vertikal lebih unggul dari pada glulam horizontal. Glulam vertikal memiliki kekuatan, kekakuan serta ketangguhan yang lebih besar dibandingkan dengan glulam horisontal. Penggunaan konektor semi-kaku

berfungsi secara maksimal pada balok komposit. Hal tersebut disimpulkan karena balok komposit tidak mengalami kerusakan geser yang dominan pada saat pengujian. Penggunaan laminasi GFRP pada sepanjang area lentur balok adalah metode yang sangat efektif untuk meningkatkan kinerja struktural balok komposit [4]. Penerapan komposit beton dengan kayu laminasi diaplikasikan dengan konektor. Konektor baja terbukti sebagai elemen yang sangat kuat dan kaku pada struktur TCC. Penelitian mengamati kekuatan dan kekakuan konektor bila digunakan secara terpisah, sendiri dan dalam kombinasi dengan tulangan [5].

Pengujian lentur terhadap balok komposit kayu laminasi dengan beton bertulang dilakukan menggunakan beban terpusat sebanyak dua buah. Beban ditempatkan pada sepertiga ( $1/3$ ) panjang bentang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok uji (BN; BL-1; BL-2) mampu menahan beban maksimum berturut-turut (81,32; 82,82; 82,69) kN; memiliki kekakuan berturut-turut (7,51; 8,22; 6,32) kN/mm dan memiliki daktilitas berturut-turut (16,67; 28,83; 20,21) [6]. Hasil pemeriksaan fisik dan mekanik pengujian sifat kayu kamper menunjukkan kelembaban kandungan kayu kamper mencapai kompresi persyaratan  $> 16\%$ . Oleh karena itu, penggunaan kayu dalam penelitian perlu dikeringkan sebelum ditekan. Penggunaan CFRP sebagai tulangan lentur, beton laminasi balok komposit kamper yang diperkuat dapat menahan beban 85,42 kN dengan dimensi balok komposit 250 x 25,5 x 30 cm. Penambahan lapisan CFRP pada balok komposit dapat meningkatkan kemampuan balok komposit untuk menerima beban. Peningkatan beban penerimaan pada masing-masing balok komposit menggunakan CFRP adalah 86,86 kN (101,68%) untuk balok komposit dengan 1 lapis CFRP, dan 87,99 kN (103,07%) untuk balok komposit dengan 2 lapis CFRP, dan 93,81 kN (109,83%) untuk balok komposit dengan 3 lapis CFRP [7].

Perkuatan lentur terhadap balok tentu akan berpengaruh terhadap perilaku geser balok tersebut. Gaya geser terbesar terjadi dekat *joint* antara balok dan kolom. Penempatan sengkang yang mengikuti *truss analogy* kegagalan geser yang bersudut  $45^\circ$  sampai dengan permodelan *strut and tie* berfungsi menahan gaya geser [8]. Perilaku geser pada balok beton bertulang sangat kompleks. Mekanisme pembentukan retak miring akibat geser yang tinggi sangat sukar untuk ditetapkan [9]. Keruntuhan geser bersifat rapuh yang mengakibatkan keruntuhan katastropik dengan peringatan dini yang terbatas dan tidak ada kemungkinan redistribusi tekanan internal. Oleh karena itu, keruntuhan geser secara alami lebih berbahaya dan menuntut perhatian yang lebih besar dari para insinyur struktur dimana struktur perlu didesain secara khusus untuk menghindari keruntuhan geser yang tiba-tiba [10].

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Nilai modulus elastisitas beton mendekati sama dengan nilai modulus elastisitas kayu. Hal tersebut tergantung pada konfigurasi penampang komposit. Pada balok T komposit akan mengalami 3 (tiga) kemungkinan kasus yaitu garis netral berada didalam sayap beton, garis netral tepat pada *shear connector*, atau garis netral berada pada badan kayu.

### A. Garis netral berada didalam sayap beton ( $a < t$ )

Kondisi tinggi blok tegangan beton  $a < t$  jika garis netral terjadi pada beton. Perhitungan distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya berdasar pada persamaan (1) dan (2).

$$C_c = 0,85 f'_c \times a \times b_w \quad (1)$$

$$T_w = \frac{\{b_w \times (h_w + t - y) \times (0,8 MOR)\}}{2} \quad (2)$$

maka:

$$a = \frac{b_w \cdot h_w (0,8 MOR)}{(n_1 \cdot b_c) \cdot 0,85 f'_c} \quad (3)$$

$$C_c = T_w \text{ (terjadi momen kopel dengan lengan } z\text{).}$$

Kondisi tegangan tarik beton dibawah garis netral dapat diabaikan, sehingga lengan momen dalam :

$$z = h - (a/2) + h/3 \text{ atau} \quad (4)$$

$$z = (2/3) h_w + t - a/2$$

## B. Garis netral tepat pada *shear connector* ( $a = t$ )

Kondisi garis netral ada pada badan kayu ( $a = t$ ), maka distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya dapat diperhitungkan dengan:

$$C_c = 0,85 f'c \times t \times b_{tr} \quad (5)$$

$$T_w = \frac{1}{2} b_w (h - y) \times (0,8 MOR) \quad (6)$$

Kondisi keseimbangan gaya dalam  $C_w = T_w$ , maka tinggi posisi garis netral ( $y$ ) dapat diukur dari serat tertekan:

$$y = \frac{a}{0,80} \quad (7)$$

$$h-y = \frac{0,85 f'c \cdot t \cdot b_{tr}}{\frac{1}{2} b_w (0,80 MOR)} \quad (8)$$

disederhanakan menjadi:

$$y = h - \{(b_w \times t) / b_w \times 2,125 f'c / (MOR)\} \quad (9)$$

Maka, lengan momen dalam :

$$z = h - t/2 - (h-y) / 3, \text{ disederhanakan:}$$

$$z = 1/6 \times (4h - 3t + 2y) \quad (10)$$

## C. Garis netral berada pada badan kayu ( $a > t$ )

Kondisi garis netral pada badan kayu ( $a > t$ ), maka bagian badan yang tertekan dapat diabaikan. Oleh karena itu, distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya dapat ditentukan dengan:

$$T_w = (h - y) b_w \times 0,80 MOR \quad (11)$$

Gaya tekan pada sayap dapat dihitung dengan:

$$C_c = b_{tr} \times t \times 0,85 f'c \quad (12)$$

$$y = (h_w + t) - \frac{b_{tr} \times t \times 0,85 f'c}{\frac{1}{2} b_w (0,80 MOR)} \quad (13)$$

Lengan momen dalam menjadi:

$$z = 1/6 \times (4h - 3t + 2y) \quad (14)$$

Berdasar pada 3 (tiga) kemungkinan nilai  $a$  di atas, semakin besar nilai  $a$  mempengaruhi luasan blok tegangan tekan beton ekuivalen yang menjadi semakin luas. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar gaya tekan beton yang terjadi.

## D. Pengujian

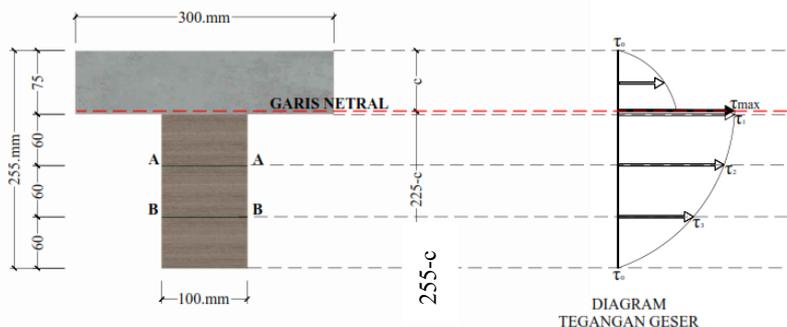
Pengujian dilakukan dengan meletakkan balok uji pada *loading frame* dengan tumpuan sendi-rol. Pembebanan dilakukan di tengah bentang balok beton bertulang pada jarak 1150 mm dari tumpuan. Metode *hydraulic jack* dan *load cell* digunakan dalam pembebanan. LVDT dipasang pada balok uji sebanyak 3 (tiga) buah untuk mengetahui lendutan yang terjadi saat pengujian. Sedangkan regangan yang terjadi antara kayu dan CFRP diketahui melalui *strain gauge* yang dipasang pada posisi tertentu [11]. Pengujian balok dilakukan dengan *Displacement Control* menggunakan *Center Point Load*. Beban monotonik *ramp actuator* konstan 0,05 mm/dtk dibebankan pada balok uji sampai mengalami runtuh. *Data logger* dilakukan pembacaan data secara bertahap dengan kenaikan interval beban 0,05 mm/dtk [12]. Kondisi daerah tekan pada balok hancur dan telah mencapai ultimit menunjukkan batas pembebanan pada benda uji. Ilustrasi pengujian balok seperti pada Gambar 1. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk analisis geser balok normal dan balok dengan perkuatan 1 (satu) lapis CFRP.



Gambar 1: Ilustrasi Pengujian Lentur Balok Komposit

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa geser balok komposit dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan geser yang terjadi pada penampang balok uji. Mengacu pada hasil pengujian lentur balok komposit, diperoleh besar gaya lintang yaitu 41.053,94 N.



Gambar 2: Diagram Tegangan Geser Balok Komposit

Keterangan:

- $\tau_{max}$  = Tegangan Geser Maksimum (Garis Netral)
- $\tau_1$  = Tegangan Geser Shear Connector (n-n)
- $\tau_2$  = Tegangan Geser Perekat Laminasi (A-A)
- $\tau_2$  = Tegangan Geser Perekat Laminasi (B-B).

#### A. Analisa Geser Balok Komposit

Analisa geser dilakukan terhadap balok komposit tanpa perkuatan. Hasil analisis menunjukkan data yang terlihat dalam Tabel 1.

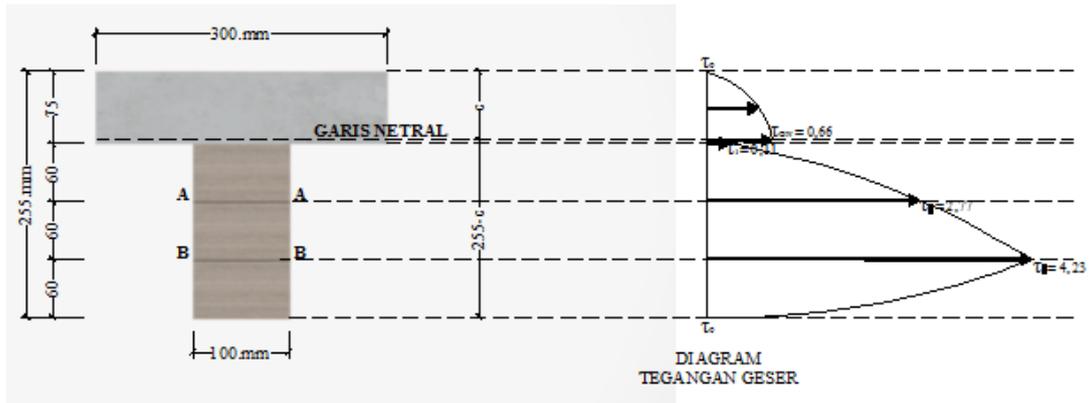
Tabel 1: Hasil Analisis Geser Balok Komposit Normal

No	Titik Gaya	Ruang Gaya (S) <sup>a</sup>	Tegangan Geser ( $\tau$ ) <sup>b</sup>
1	Tegangan Geser Garis Netral (Garis GN)	737.311,815	0,66
2	Tegangan Geser Shear Connector (Garis n-n)	281.250	0,11
3	Tegangan Geser Perekat Laminasi (Garis A-A)	1.023.750	2,77
4	Tegangan Geser Perekat Laminasi (Garis B-B)	1.563.750	4,23

<sup>a</sup>Volume dalam Milimeter Kubik

<sup>b</sup>Tegangan dalam satuan MegaPascal

Berdasar pada hasil analisa geser balok komposit diperoleh tegangan geser yang terlihat dalam Gambar 3.



Gambar 3: Diagram Tegangan Geser Balok Komposit tanpa Perkuatan

## B. Analisa Geser Balok Komposit dengan Perkuatan

Analisa geser dilakukan terhadap balok komposit tanpa perkuatan. Hasil analisis menunjukkan data yang terlihat dalam Tabel 2.

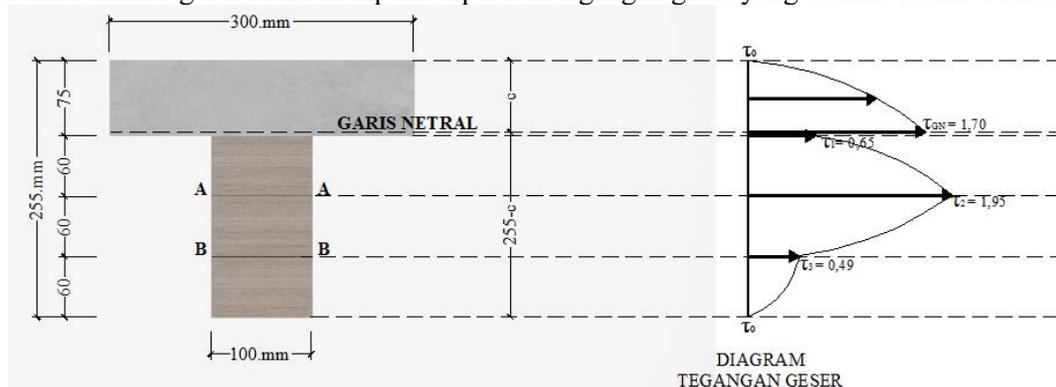
Tabel 2: Hasil Analisis Geser Balok Komposit dengan Perkuatan

No	Titik Gaya	Ruang Gaya (S) <sup>a</sup>	Tegangan Geser ( $\tau$ ) <sup>b</sup>
1	Tegangan Geser Garis Netral (Garis GN)	1.887.646,815	1,70
2	Tegangan Geser Shear Connector (Garis n-n)	1.620.000	0,65
3	Tegangan Geser Perekat Laminasi (Garis A-A)	720.000	1,95
4	Tegangan Geser Perekat Laminasi (Garis B-B)	180.000	0,49

<sup>a</sup>Volume dalam Milimeter Kubik

<sup>b</sup>Tegangan dalam satuan MegaPascal

Berdasar pada hasil analisa geser balok komposit diperoleh tegangan geser yang terlihat dalam Gambar 4.



Gambar 4: Diagram Tegangan Geser Balok Komposit dengan Perkuatan

## IV. KESIMPULAN

Hasil analisa geser balok komposit normal menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum terjadi pada garis perekat laminasi B-B dengan besarnya tegangan 4,23 MPa. Sedangkan, tegangan geser paling kecil terjadi pada garis penghubung (*shear connector*) yaitu 0,11 MPa. Pada analisa penampang balok komposit tanpa perkuatan diperoleh tegangan lentur yang terjadi pada bagian atas kayu sebesar 2,05 MPa dan tegangan lentur pada bagian bawah kayu sebesar 77,59 MPa. Oleh karena itu, tegangan maksimum lentur kayu lebih besar dari pada tegangan maksimum geser kayu, maka balok komposit kuat terhadap geser. Sedangkan, Hasil analisa

geser balok komposit menunjukkan bahwa pada garis netral mengalami tegangan geser maksimum dengan besarnya tegangan 1,70 MPa. Sedangkan, tegangan geser pada garis penghubung (*shear connector*) sebesar 0,65 MPa. Pada kondisi ini, balok komposit mengalami tegangan geser paling rendah pada garis perekat laminasi B-B yaitu 0,49 MPa karena penerapan perkuatan dengan menggunakan CFRP. Maka, balok komposit dengan perkuatan CFRP mampu menahan tegangan geser yang terjadi lebih baik dibandingkan balok komposit tanpa perkuatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. M. R. Z. Putra *et al.*, “Hukum Kehutanan”, 1st ed. Bandung: CV. Media Sains Indonesia, 2022.
- [2] T. M. Wicaksono, A. Awaludin, and S. Siswosukarto, “Analisis Perkuatan Lentur Balok Kayu Sengon dengan Sistem Komposit Balok Sandwich (Lamina dan Plate),” *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 13, no. 2, pp. 129–140, Dec. 2017, doi: 10.21831/INERSIA.V13I2.17176.
- [3] A. M. Setiawan *et al.*, “Perilaku Lentur Balok Beton pada Kombinasi Daerah Geser dan Tarik yang Menggunakan Material FRP sebagai Perkuatan Eksternal di Lingkungan Ekstrim,” *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, vol. 6, no. 2, 2020.
- [4] Y. A. Z. Ali, “Flexural behavior of FRP strengthened concrete-wood composite beams,” 2018, doi: 10.1016/j.asej.2018.06.003.
- [5] D. Otero-Chans, J. Estévez-Cimadevila, F. Suárez-Riestra, and E. Martín-Gutiérrez, “Experimental analysis of glued-in steel plates used as shear connectors in Timber-Concrete-Composites,” *Eng Struct*, vol. 170, pp. 1–10, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2018.05.062.
- [6] M. Mujiman, F. Igustiany, and R. Hakiki, “Flexural strengthening of composite bridge glued laminated timber beams-concrete plate using CFRP layers,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1757-899X/830/2/022047.
- [7] P. M. S. Rezeki, Y. Astor, Mujiman, and E. R. Juarti, “The Reinforcement of Flexible Composite Beams Laminated Camphor – Reinforced Concrete,” *Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)*, vol. 207, pp. 58–62, Nov. 2021, doi: 10.2991/AER.K.211106.010.
- [8] L. Zhou, Z. Liu, and Z. He, “Elastic-to-Plastic Strut-and-Tie Model for Deep Beams,” *Journal of Bridge Engineering*, vol. 23, no. 4, p. 04018007, Apr. 2018, doi: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001206.
- [9] L. Buarlele, B. Kusuma, and J. Tanijaya, “Prediksi Kekuatan Geser Beton Pada Balok Beton Bertulang Tanpa Tulangan Geser,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 16, no. 1, pp. 1–13, Feb. 2020, doi: 10.24002/JTS.V16I1.4212.
- [10] T. Jayasinghe, T. Gunawardena, and P. Mendis, “Assessment of shear strength of reinforced concrete beams without shear reinforcement: A comparative study between codes of practice and artificial neural network,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, p. e01102, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.CSCM.2022.E01102.
- [11] P. Geser Balok Beton Bertulang Menggunakan Sengkang Luar, A. Saputra, S. Murni Dewi, and L. Susanti, “Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beam Using Externally Strirrups,” *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, vol. 3, no. 2, pp. 105–112, Dec. 2019, doi: 10.19184/JRSL.V3I2.10296.
- [12] M. K. Effendi and N. Rahmayanti, “Analisis Elemen Hingga Nonlinier Balok Geser Beton Memadat Mandiri dan Beton Mutu Tinggi,” *TERAS JURNAL*, vol. 11, no. 2, p. 375, Oct. 2021, doi: 10.29103/tj.v11i2.518.