

# TEKNIK PERKUATAN BALOK KAYU DENGAN LAMINASI CFRP: TINJAUAN LITERATUR

Fengky Satria Yoresta<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Institut Pertanian Bogor

\*E-mail: syfengky@gmail.com

Received: 22 May 2023

Accepted: 2 June 2023

Published: 1 July 2023

## Abstrak

Kayu merupakan salah satu material konstruksi tertua. Beberapa diantara yang menjadi keunggulan kayu dibandingkan material konstruksi lain adalah bahwa kayu memiliki nilai yang tinggi dalam hal perbandingan kekuatan terhadap bobotnya, mudah dikerjakan, serta mempunyai nilai estetika yang baik. Namun, kerentanan kayu mengalami degradasi kekuatan akibat berbagai faktor membuat strategi untuk memperkuatnya menjadi sangat penting untuk dilakukan. Banyak penelitian telah dilakukan dan dipublikasikan terkait kekuatan elemen kayu struktural dengan menggunakan material tambahan. Namun, penggunaan material *fiber reinforced polymer* (FRP) untuk sebagai memperkuat kayu struktural masih terbatas. Paper ini merievew hasil kajian yang telah dilakukan oleh para peneliti mengenai penggunaan material FRP terutama jenis *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) dalam memperkuat elemen kayu. Topik yang disajikan difokuskan pada kekuatan dengan teknik penempelan pada sisi luar kayu atau *externally bonded* (EB) dan teknik pembedaan didekat permukaan atau dikenal *near surface mount* (NSM). Kesimpulan yang disajikan pada akhir paper ini diharapkan memberikan gambaran bagaimana kedua teknik kekuatan tersebut memberikan kontribusi terhadap perbaikan kinerja elemen kayu yang diperkuat.

**Kata Kunci:** CFRP, kayu struktural, kekuatan, externally bonded, near surface mount

## Abstract

*Timber is one of the oldest construction materials. Several advantages of timber compared to other construction materials are that timber has a high value in terms of strength to weight ratio, is easy to work with, and has a good aesthetic value. However, the vulnerability of timber in experiencing strength degradation due to various factors makes strategies to strengthen it very important to do. Many studies have been conducted and published regarding the strengthening of structural timber elements using additional materials. However, the use of fiber reinforced polymer (FRP) materials for strengthening structural timber is still limited. This paper reviews the results of studies conducted by researchers regarding the use of FRP materials, especially carbon fiber reinforced polymer (CFRP) in strengthening timber elements. The topics presented here are focused on strengthening with externally bonded (EB) techniques and immersion techniques near the surface or known as near surface mount (NSM). The conclusions presented at the end of this paper are expected to provide an overview of how the two strengthening techniques contribute to improving the performance of reinforced wood elements.*

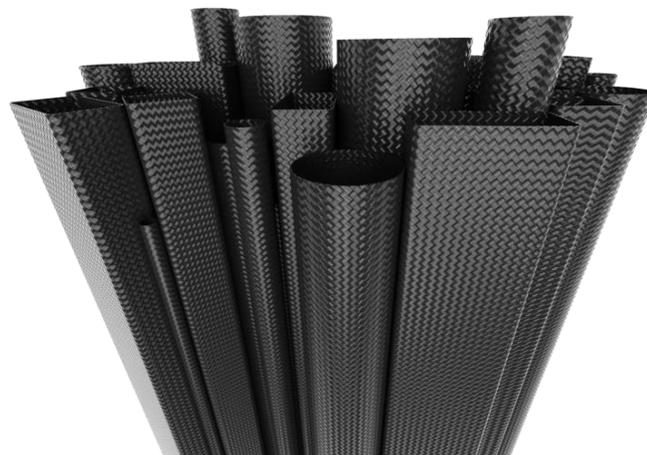
**Keywords:** CFRP, structural timber, strengthening, externally bonded, near surface mount

## To cite this article:

Fengky Satria Yoresta (2023). Teknik Perkuatan Balok Kayu dengan Laminasi CFRP: Tinjauan Literatur. *Jurnal of Infrastructural in Civil Engineering*, Vol. (04), No. 02, pp: 43-51.

## PENDAHULUAN

Metode perbaikan (*repairing*) dan perkuatan (*strengthening*) struktur kayu semakin banyak dan terus dikembangkan oleh para peneliti hingga saat ini. Hal ini tidak terlepas dari fakta bahwa kayu sebagai material konstruksi sangat rentan akan penurunan kualitas (*strength reduction*) akibat berbagai faktor, misalnya seperti umur/usia pemakaian, kondisi lingkungan, serta serangan mikroorganisme. Pemilihan material alternatif sebagai bahan perkuatan dan perbaikan semakin mengarah pada penggunaan *fiber-reinforced polymer* (FRP) (Gambar 1). FRP merupakan bahan komposit yang terbuat dari gabungan serat buatan (karbon, glass, aramid, dan sebagainya) dan polimer matriks. Dibandingkan dengan material konvensional lainnya (seperti pelat baja) untuk perkuatan kayu, material FRP disukai karena mempunyai banyak keunggulan. Nilai kekuatan tarik bahan FRP sangatlah tinggi, terutama yang menggunakan serat karbon atau lebih populer dengan sebutan *carbon fiber-reinforced polymer* (CFRP). FRP mempunyai bobot ringan sehingga mudah untuk diaplikasikan. Selain itu, FRP juga mudah dalam hal instalasi dan tahan terhadap bahaya korosi sehingga sangat aman untuk diaplikasikan di berbagai lingkungan.



**Gambar 1.** Pelat CFRP (<https://tip-composite.com/en/product-information/cfrp/>)

Secara garis besar, teknik perbaikan dan/atau perkuatan struktur kayu menggunakan material FRP bisa digolongkan menjadi dua, yaitu perkuatan dengan menempelkan pada sisi kayu secara langsung atau *Externally Bonded* (EB), dan dengan cara membenamkannya atau menyisipkannya kedalam permukaan kayu atau *Near Surface Mount* (NSM). Dibandingkan

dengan teknik NSM, metode perkuatan EB sudah lebih banyak dikenal terutama dalam penggunaannya memperkuat struktur beton dan baja. Teknik perkuatan dengan metode NSM tergolong relatif baru meskipun terdapat beberapa penelitian yang sudah dilakukan oleh para peneliti. Beberapa keunggulan teknik perkuatan NSM [1-3] yaitu resiko *debonding* CFRP yang lebih kecil, lebih sedikit paparan dari lingkungan luar, dan tidak mengganggu atau mengubah secara signifikan estetika stuktur yang diperkuat. Paper ini bertujuan membahas hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti untuk melihat bagaimana potensi perkuatan kayu menggunakan bahan CFRP dengan teknik *externally bonded* (EB) maupun *near surface mount* (NSM).

## **METODE PENELITIAN**

Paper ini menggunakan literatur yang diperoleh dari berbagai sumber. Artikel-artikel dari basis data *ScienceDirect*, *Springer* dan juga *Taylor & Francis* menjadi yang utama. Selain itu, terdapat juga artikel-artikel yang diperoleh dari *David Publishing*, *MDPI*, *ASCE Library*, *Frontiers Media*, dan *SAGE Publications*. Artikel-artikel yang dikumpulkan dari sumber-sumber tersebut adalah artikel-artikel yang berkaitan dengan investigasi tentang perkuatan/perbaikan kayu dengan menggunakan bahan FRP dengan teknik *Externally Bonded* (EB) dan teknik *Near Surface Mount* (NSM). Artikel-artikel tersebut adalah yang dipublikasikan dari tahun 2005 hingga 2021. Beberapa kata kunci yang digunakan dalam menelusuri artikel-artikel tersebut diantaranya adalah *strengthening with timber*, *CFRP timber*, *FRP*, *timber beam*, *glulam beam strengthening*, *near surface mount timber beam strengthening*, dan *timber beam externally bonded FRP*.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Perkuatan struktur kayu dengan teknik *Externally Bonded* (EB)**

Perkuatan struktur kayu akibat pembebanan lentur dengan cara menempelkan bahan FRP dilakukan oleh Borri et al. (2005) [4]. Pengujian yang mereka lakukan adalah pengujian lentur dengan skema *four-point loading*. Penggunaan material FRP dengan serat karbon satu arah (*monodirectional*) berkekuatan tarik tinggi yang ditempelkan pada sisi luar balok kayu meningkatkan kekakuan dan kapasitas lenturnya. Model numerik yang diusulkan berkorelasi baik dengan hasil pengujian. Meskipun demikian, prosedur numerik tersebut mensyaratkan ketepatan pemilihan nilai kapasitas tegangan material kayu untuk hasil yang

akurat. Kim et al. (2013) [5] menginvestigasi penggunaan CFRP untuk memperbaiki kinerja balok. Balok yang dipilih sengaja dirusak dengan membuat takik ditengah bentang dan untuk kemudian diperkuat dengan CFRP. Indeks lendutan balok yang diperkuat dipengaruhi oleh kinerja ikatan sistem perkuatan dan kekakuan lentur balok. Balok dengan perkuatan tanpa takik menunjukkan peningkatan kapasitas lendutan yang lebih besar daripada balok tanpa takik, jika dibandingkan dengan kontrol tanpa perkuatan. Respons regangan balok pada dasarnya linier hingga keruntuhan terjadi dan plastisitas yang ada hampir tidak teramati.

Penelitian lainnya mengenai efek perkuatan lentur balok kayu menggunakan bahan CFRP adalah seperti yang dilakukan oleh Li et al. (2009) [6]. Lembaran CFRP ditempelkan pada sisi tarik balok. Keberadaan CFRP ini meningkatkan kekuatan lentur dan menurunkan perpindahan vertikal ditengah bentang balok kayu dibandingkan dengan balok yang tanpa lembaran CFRP. Persentase peningkatan kekuatan lentur untuk penggunaan 1, 2 dan 3 lapis CFRP berturut-turut adalah 39%, 44% dan 61%. Ahmad (2013) [7] memakai pelat CFRP sebagai bahan perkuatan untuk menginvestigasi perilaku daktilitas balok kayu. Peningkatan drastis daktilitas terjadi, dimana indeks daktilitas tertinggi berdasarkan metode defleksi adalah 2,2 dengan persentase peningkatan 37,5%, sedangkan indeks daktilitas tertinggi berdasarkan metode energi adalah 3,2 dengan persentase peningkatan 88,2%. Dari penelitian ini diketahui bahwa 0,3% merupakan nilai optimum luasan CFRP untuk mencapai indeks daktilitas maksimum. Indeks daktilitas yang diperoleh dari metode energi memberikan nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode defleksi. Efektivitas penggunaan pelat CFRP untuk perkuatan kayu juga diteliti oleh Glisovic et al. (2016) [8]. Balok kayu yang digunakan adalah glulam. Hasil kajian mereka mengungkapkan bahwa CFRP memperbaiki regangan pada kayu. Adanya penempatan CFRP di zona tarik mengurangi regangan tarik dan meningkatkan regangan tekan bila dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan. Selain itu, regangan tarik ultimit rata-rata meningkat 14,6–24,8% pada balok dengan perkuatan. Hal ini menunjukkan kemampuan pelat CFRP untuk mengurangi efek cacat alami pada kayu.

Investigasi yang dilakukan oleh Vahedian et al. (2019) [9] juga mencoba menelusuri perilaku balok kayu dengan teknik perkuatan *externally bonded* (EB) CFRP. Hasil pengujian mereka menunjukkan bahwa pengurangan konsentrasi tegangan dapat meningkatkan kinerja mekanik balok yang diperkuat. Kapasitas beban ultimit dan kekuatan lentur balok bertulang

meningkat secara signifikan ketika panjang lekatan dan lebar lekatan CFRP bertambah. Selain itu, peningkatan ketebalan lekatan lebih lanjut secara dominan dapat meningkatkan kekakuan dan daktilitas balok kayu yang diperkuat dimana peningkatan yang signifikan terjadi dalam hal defleksi ultimit dan batas layan. Wieczorek et al. (2021) [10] memperkuat balok kayu glulam dengan menggunakan lembaran CFRP untuk meneliti pengaruhnya terhadap kapasitas lentur balok tersebut. Balok berdimensi 38 mm x 80 mm dengan panjang 750 mm tersebut diuji dengan skema *four-point bending test*. Pengujian ini membuktikan adanya pengaruh jumlah lapisan CFRP yang digunakan terhadap mekanisme keruntuhan balok. Dengan menempelkan CFRP di bagian bawah balok memungkinkannya menyerap tegangan tarik menjadi diperpanjang, sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan kapasitas tahanan beban dan keuletan balok. Dalam kesempatan lain, Isleyen et al. (2021) [11] juga mempelajari perkuatan balok kayu glulam dengan cara menempelkan CFRP dengan variabel penelitiannya adalah lay-out penempatan CFRP dan penggunaan jangkar CFRP tipe kipas (*fan-type*) yang ditempatkan pada ujung CFRP. CFRP ditempelkan pada bagian tarik balok. Secara umum, keberadaan CFRP meningkatkan kapasitas beban ultimit, kekakuan awal, dan nilai kapasitas energi disipasi balok glulam.

### ***Perkuatan kayu dengan teknik Near Surface Mount (NSM)***

Teknik perkuatan NSM digunakan oleh Micelli et al. (2005) [12] dalam memperkuat balok kayu glulam. Bahan CFRP yang digunakan berupa batang yang dimuat kedalam sisi permukaan balok. Keberadaan batangan CFRP yang ditanam ke dalam permukaan sisi tarik balok memberikan pengaruh sangat signifikan pada peningkatan kekakuan dan kapasitas ultimit balok. Mode kegagalan dan hasil eksperimen menunjukkan sifat ikatan yang sangat baik antara kayu dan batang CFRP yang direkatkan; sifat kayu mengatur krisis balok dalam semua kasus. Perilaku spesimen adalah berupa pseudolinear hingga terjadi kegagalan. Johnsson et al. (2006) [13] melakukan investigasi untuk mempelajari adanya kemungkinan memperkuat balok kayu glulam dengan menggunakan batang serat karbon *pultruded* persegi panjang dan untuk menetapkan panjang penahan untuk sistem tersebut. Serat karbon tersebut ditanam kedalam balok pada sisi tarik. Hasil yang mereka temukan adalah bahwa teknik perkuatan yang mereka lakukan sukses memperoleh peningkatan dalam hal kapasitas lentur, yaitu 44-63% dan kekakuan balok, yaitu hingga 10%. Mode kegagalan balok kayu

glulam yang diteliti berubah setelah adanya perkuatan, yaitu dari *brittle failure* pada sisi tarik balok menjadi *ductile failure* yang menyebabkan hancurnya kayu (*crushing*).

Postulak and Brol (2020) [14] melakukan eksperimen pengujian balok kayu glulam dimana bagian tarik baloknya dipasang CFRP dengan teknik NSM. Pengujian terhadap balok dilakukan sampai hancur dengan metode *four-point bending*. Penelitian ini berfokus pada manfaat yang dihasilkan dari peningkatan daktilitas di bagian tarik balok tersebut. Hasil yang diperoleh adalah bahwa daya dukung balok yang diperkuat dan direkatkan CFRP meningkat sekitar 23% dibandingkan dengan balok kontrol tanpa perkuatan. Oleh karena kontinuitas di bagian tarik pada balok yang mengandung cacat dan diperkuat dengan bahan CFRP, maka terjadi peningkatan kekakuan lentur 36,29%. Mereka menggaris bawahi bahwa peningkatan kuantitatif dalam kekakuan dan kapasitas beban bergantung langsung pada dimensi penampang dan persentase CFRP yang digunakan. Perkuatan balok kayu dengan teknik NSM juga dilakukan oleh D'ambrisi et al. (2014) [15]. Penelitian mereka melibatkan spesimen balok kayu baru dan balok kayu lama yang diperoleh dari suatu bangunan tua. Dua jenis balok kayu tersebut diperkuat dengan cara menanamkan pelat CFRP ke dalam celah kecil di zona tarik balok. Pelat CFRP yang dipasang memungkinkan untuk memulihkan sepenuhnya dan meningkatkan kekuatan lentur semua balok uji yang rusak. Pelat CFRP tersebut memungkinkan untuk secara efektif menjembatani retakan kayu yang sudah ada sebelumnya. Dibandingkan dengan balok kayu lama, perkuatan ini tampaknya tidak begitu efektif untuk meningkatkan kekuatan lentur balok kayu baru.

Chun et al. (2016) [16] memperkuat balok kayu dengan menggunakan pelat CFRP dan batangan CFRP. Teknik perkuatan NSM digunakan pada total sebanyak 20 spesimen balok yang terdiri dari dua jenis spesies kayu. Mereka mengemukakan bahwa metode perkuatan yang digunakan tersebut dapat secara signifikan meningkatkan kapasitas lentur balok kayu dan konstruksi perkuatan sangat mudah serta cepat. Perkuatan dengan NSM pelat CFRP meningkatkan kapasitas lentur balok kayu 9.1% hingga 37.4%. Sedangkan menggunakan batangan CFRP peningkatan terjadi sebesar 9.1% hingga 21.6%. Ketika luas batangan CFRP sama dengan luas pelat CFRP, efek penguatan dengan batang CFRP lebih kecil dari pada dengan pelat CFRP. He et al. (2022) [17] juga menguji perkuatan balok kayu glulam dengan metode NSM menggunakan material CFRP. Sebanyak 18 balok glulam, tidak diperkuat atau diperkuat dengan lembaran polimer serat karbon tertanam secara internal, diuji di bawah skema pembebanan empat titik. Yang menjadi parameter pengujian adalah rasio penguatan,

modulus elastisitas CFRP, dan susunan CFRP. Dapat diamati setelah pengujian bahwa balok dengan perkuatan berperilaku lebih daktail. Terlihat bahwa balok dengan rasio penguatan 0,040% mempunyai kapasitas lentur dan defleksi maksimum yang meningkat yaitu masing-masing sekitar 6,51 dan 12,02%.

Xu et al. (2017) [18] mempelajari perilaku jangka panjang balok kayu yang diperkuat dengan batangan CFRP yang dipasang di dekat permukaan (NSM). Satu balok kontrol tanpa perkuatan dan dua buah balok kayu yang diperkuat CFRP diuji dengan beban berkelanjutan selama 1200 hari. Penelitian ini menyimpulkan balok kayu yang diperkuat menunjukkan respons rangkai yang serupa dengan balok kontrol. Namun, regangan rangkai terinduksi dan kelengkungan pada bagian tengah bentang balok yang diperkuat lebih rendah daripada balok kontrol yang mencerminkan efek pengekanan dari batangan CFRP.

Bakalarz et al. (2020) [19] meneliti pengaruh penggunaan CFRP pada perkuatan balok *laminated veneer lumber* (LVL) dengan metode perkuatan NSM. Dimensi balok LVL yang digunakan adalah 45 mm × 200 mm × 3400 mm. Hasil dari pengujian mereka menunjukkan bahwa penggunaan rasio perkuatan 0,62% menghasilkan peningkatan koefisien modulus elastisitas lentur dan kekakuan masing-masing sebesar 11% dan 7%. Penguatan terutama mempengaruhi peningkatan nilai momen lentur maksimum karena memiliki terkonsentrasi sebesar 32% dan 24% dibandingkan dengan balok yang tidak diperkuat.

## **SIMPULAN**

Teknik perkuatan elemen kayu struktural dengan metode *externally bonded* (EB) dan *near surface mount* (NSM) hasil kajian para peneliti disajikan dalam paper ini. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut terlihat bahwa kedua metode perkuatan ini dapat memperbaiki dengan baik kinerja elemen kayu. Penggunaan material CFRP dapat meningkatkan kapasitas beban, kekakuan, kekuatan, dan memperbaiki mode kegagalan. Efektifitas perkuatan dapat dipengaruhi oleh variabel misalnya panjang perkuatan CFRP, jumlah lapisan CFRP dan sebagainya. Meskipun perkuatan elemen kayu dengan teknik EB dan NSM menggunakan material CFRP terbukti efektif, namun jumlah penelitian yang ada masih sangat terbatas. Kajian yang melibatkan lebih banyak sampel uji dan variabel pengujian masih sangat diperlukan dimasa mendatang untuk dapat lebih detail memahami efek perkuatan yang ditimbulkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Lee, L. Cheng, and J. Y. G. Hui, "Bond Characteristics of Various NSM FRP Reinforcements in Concrete," *J. Compos. Constr.*, vol. 17, 2005.
- [2] D. G. Novidis, and S. J. Pantazopoulou, "Bond Tests of Short NSM-FRP and Steel Bar Anchorages," *J. Compos. Constr.*, vol. 12, 2008.
- [3] A. A. Bashandy, A. E. El-habashi, and A. K. Dewedar, "Repair and strengthening of timber cantilever beams," *Wood Mat. Sci. Eng.*, vol. 13, pp. 241-253, 2018.
- [4] A. Borri, M. Corradi, and A. Grazini, "A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials," *Compos. Part B: Engineering*, vol. 36, pp.143-153, 2005.
- [5] Y. J. Kim, M. Hossain, and K. A. Harries, "CFRP strengthening of timber beams recovered from a 32-year-old quonset: Element and system level tests," *Eng. Struct.*, vol. 57, pp. 213-221.
- [6] Y. F. Li, Y. M. Xie, and M. J. Tsai, "Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composite sheets," *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, pp. 411-422, 2009.
- [7] Y. Ahmad, "Ductility of Timber Beams Strengthened Using Fiber Reinforced Polymer," *J. Civil Eng. Arch.*, vol. 7, pp. 535-544, 2013.
- [8] I. Glisovic, B. Stevanovic, and M. Todorovic, "Flexural reinforcement of glulam beams with CFRP plates," *Mat. Struct.*, vol. 49, pp. 2841-2855, 2016.
- [9] A. Vahedian, R. Shrestha, and K. Crews, "Experimental and analytical investigation on CFRP strengthened glulam laminated timber beams: Full-scale experiments," *Compos. Part B: Engineering*, vol. 164, pp. 377-389, 2019.
- [10] K. S. Wieczorek, K. A. Ostrowski, J. J. Lamenska, and A. Karolak, "The Influence of CFRP Sheets on the Load-Bearing Capacity of the Glued Laminated Timber Beams under Bending Test," *Materials*, vol. 14, pp. 1-20, 2021.
- [11] U. K. Isleyen, R. Ghoroubi, O. Mercimek, O. Anil, and R. T. Erdem, "Behavior of glulam timber beam strengthened with carbon fiber reinforced polymer strip for flexural loading" *J. Reinforced Plast. Compos.*, vol. 40, pp. 665-685, 2021.
- [12] F. Micelli, V. Scialpi, and A. L. Tegola, "Flexural Reinforcement of Glulam Timber Beams and Joints with Carbon Fiber-Reinforced Polymer Rods," *J. Compos. Constr.*, vol. 9, pp. 337-347, 2005.

- [13] H. Johnsson, T. Blanksvard, and A. Carolin, "Glulam members strengthened by carbon fibre reinforcement," *Mat. Struct.*, vol. 40, pp. 47-56, 2006.
- [14] A. W. Postulak, and J. Brol, "Ductility of the Tensile Zone in Bent Wooden Beams Strengthened with CFRP Materials," *Materials*, vol. 13, pp. 1-16, 2020.
- [15] A. D'ambrisi, F. Focacci, and R. Luciano, "Experimental investigation on flexural behavior of timber beams repaired with CFRP plates," *Compos. Struct.*, vol. 108, pp. 720-728, 2014.
- [16] Q. Chun, K. V. Balen, and J. Pan, "Flexural Performance of Small Fir and Pine Timber Beams Strengthened With Near-Surface Mounted Carbon-Fiber-Reinforced Polymer (NSM CFRP) Plates and Rods," *Intl. J. Arch. Heritage*, vol. 10, pp. 106-117, 2016.
- [17] M. He, Y. Wang, Z. Li, L. Zhou, Y. Tong, and X. Sun, "An Experimental and Analytical Study on the Bending Performance of CFRP-Reinforced Glulam Beams," *Front. Mater.*, vol. 8, pp. 1-14.
- [18] Q. Xu, L. Chen, K. A. Harries, F. Zhang, Z. Wang, and X. Chen, "Experimental study and numerical simulation of long-term behavior of timber beams strengthened with near surface mounted CFRP bars," *Mat. Struct.*, vol. 50, pp. 1-13, 2017.
- [19] M. M. Bakalarz, P. G. Kossakowski, and P. Tworzewski, "Strengthening of Bent LVL Beams with Near-Surface Mounted (NSM) FRP Reinforcement," *Materials*, vol. 13, pp. 1-12, 2020.