RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil
https:// https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana

ISSN(e): 2477-2569 | Vol. 12 | No. 1 | pp. 65 - 71
DOI : http://dx.doi.org/10.26760/rekaracana.v12i1.65 Maret 2026

Hubungan Balok-Kolom Kayu Glulam dengan Pelat Baja dan Pengencang Baut

Article History:
Received
1 Maret 2026
Revised
15 Maret 2026
Accepted
18 Maret 2026

NESSA VALIANTINE DIREDJA[1,2*], JOHANNES ADHIJOSO TJONDRO[1]

[1]Program Studi Doktor Ilmu Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia
[2]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Indonesia
*Corresponding email: nessa.valiantine@itenas.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi perilaku hubungan balok–kolom kayu glued laminated timber (glulam) dengan pelat baja dan baut melalui pengujian monotonik. Tiga spesimen (SB1, SB2, SB3) diuji untuk memperoleh respons beban–perpindahan dan momen–rotasi, serta menentukan kapasitas, kekakuan rotasi awal, faktor bilinier, dan daktilitas sambungan. Kapasitas puncak berada pada rentang 3,826–3,906 kN dengan rata-rata 3,857 kN. Momen ultimit berada pada rentang 2,296–2,344 kNm dengan rata-rata 2,315 kNm, kekakuan rotasi awal ($K_{\theta,el}$) rata-rata 35,761 kNm/rad, faktor bilinier pada rentang 0,72–0,77 dengan rata-rata 0,74, dan daktilitas rotasi (μ_θ) pada rentang 1,81–2,44 dengan rata-rata 2,19. Kurva momen–rotasi menunjukkan respons yang relatif stabil dengan penurunan kapasitas bertahap setelah puncak. Secara keseluruhan, hubungan balok–kolom glulam dengan pelat baja dan baut menunjukkan kapasitas yang konsisten serta deformabilitas pasca-leleh yang memadai pada pembebanan monotonik.

***Kata kunci**: Glulam, hubungan balok-kolom, baut, pelat baja, momen-rotasi, daktilitas*

ABSTRACT

This study evaluates the behavior of glued-laminated timber (Glulam) beam–column connections with steel plates and bolts under monotonic loading. Three specimens (SB1, SB2, SB3) were tested to obtain load–displacement and moment–rotation responses, and to determine connection capacity, initial rotational stiffness, bilinear factor, and ductility. Peak load ranged from 3,826 to 3,906 kN, with an average of 3,857 kN. Ultimate moment ranged from 2,296 to 2,344 kNm with an average of 2,315 kNm, initial rotational stiffness ($K_{\theta,el}$) averaged 35,761 kNm/rad, the bilinear factor ranged from 0,72 to 0,77 with an average of 0,74, and rotational ductility (μ_θ) ranged from 1,81 to 2,44 with an average of 2,19. Moment–rotation curves showed a relatively stable response with gradual post-peak capacity degradation. Overall, the Glulam beam–column connection with steel plates and bolts demonstrated consistent capacity and adequate post-yield deformability under monotonic loading.

***Keywords**: LVLGlulam, beam–column connection, bolts, steel plate, monotonic test, moment–rotation*

This is an open-access article under the CC BY-SA license

PENDAHULUAN

Penggunaan kayu rekayasa seperti *glued laminated timber* (Glulam) dan produk *mass timber* terus berkembang dalam sistem struktur modern karena menawarkan rasio kekuatan terhadap berat yang baik, kemudahan prefabrikasi, serta potensi konstruksi yang lebih efisien dan berkelanjutan [13]. Dalam sistem rangka momen kayu, kinerja global struktur tidak hanya ditentukan oleh elemen batang, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh perilaku sambungan, karena sambungan mengontrol distribusi gaya dalam, kekakuan lateral, simpangan antarlantai, serta kapasitas deformasi inelastik sistem [11], [12]. Oleh karena itu, perilaku hubungan balok–kolom menjadi aspek kunci dalam evaluasi sistem rangka momen kayu, khususnya ketika struktur dirancang untuk tetap memiliki kapasitas deformasi yang memadai sebelum mengalami kegagalan. Dalam konteks ini, daktilitas, kekakuan rotasi, dan mekanisme disipasi energi pada sambungan merupakan parameter utama yang menentukan apakah suatu sambungan dapat mendukung perilaku rangka momen yang andal [8], [10].

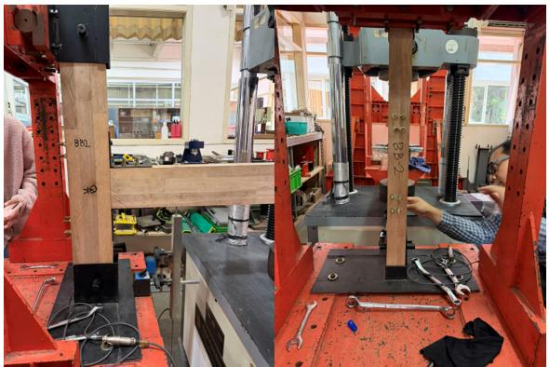
Pada praktiknya, hubungan balok–kolom kayu banyak menggunakan *dowel-type fasteners* seperti baut, paku, *dowel* [7], atau sekrup [1] yang dikombinasikan dengan pelat baja maupun konektor lainnya. Sambungan tipe ini umumnya menunjukkan respons nonlinier akibat interaksi antara deformasi tumpu lokal kayu di sekitar pengencang, slip pada bidang kontak, serta deformasi *fastener* selama pembebanan berlangsung. Oleh sebab itu, karakterisasi perilaku sambungan tidak cukup hanya dinilai dari kapasitas puncak, tetapi juga perlu ditinjau melalui kurva beban–perpindahan dan momen–rotasi untuk mengevaluasi kekakuan awal, transisi menuju leleh, kapasitas pasca-leleh, dan kemampuan rotasi ultimit sambungan [5], [9]. Selain itu, sifat ortotropik kayu menyebabkan perilaku sambungan sangat dipengaruhi oleh arah serat, jarak tepi, jarak ujung, konfigurasi alat sambung, dan detailing daerah koneksi [4].

Saat ini data eksperimental mengenai hubungan balok–kolom Glulam dengan konektor pelat baja dan baut sebagai penahan momen masih relatif terbatas, khususnya untuk konfigurasi yang mengandalkan mekanisme tumpu baut pada elemen Glulam. Konfigurasi ini merupakan solusi yang umum dan mudah difabrikasi di lapangan, sehingga pemahaman mengenai kapasitas, kekakuan, dan daktilitasnya menjadi penting. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini melakukan pengujian monotonik pada hubungan balok–kolom Glulam dengan pelat baja dan baut untuk mengevaluasi kapasitas beban, kekakuan rotasi, karakteristik momen–rotasi, dan daktilitas rotasi, serta mendukung pengembangan rekomendasi detailing hubungan balok–kolom Glulam yang lebih andal [4], [5], [8].

METODE

Spesimen dan *Setup* Pengujian

Spesimen berupa hubungan balok–kolom kayu Glulam dengan konektor pelat baja yang dihubungkan menggunakan baut berdiameter 8 mm. Jumlah baut adalah 4 buah pada sisi kolom dan 4 buah pada sisi balok (total 8 baut per sambungan). Pelat baja yang digunakan memiliki tebal 4,5 mm, sedangkan elemen Glulam memiliki tebal 120 mm; detail geometri lainnya (pola baut, jarak tepi/ujung, dan jarak antarbaut) mengikuti rancangan spesimen. Sebanyak tiga spesimen identik diuji (SB1, SB2, dan SB3) untuk menilai konsistensi perilaku pada konfigurasi sambungan yang sama.



Gambar 1. Konfigurasi spesimen sebelum pengujian

Pengujian (**Gambar 1**) dilakukan pada rangka reaksi dengan kontrol perpindahan (*displacement control*), di mana beban diterapkan secara lateral pada ujung balok dengan lengan momen $L = 0{,}50$ m dari pusat sambungan hingga mencapai kapasitas puncak. Gaya uji direkam *melalui load cell*, sedangkan perpindahan diukur menggunakan LVDT pada titik ukur di ujung balok. Pengamatan visual terhadap perkembangan kerusakan pada daerah sambungan, seperti slip, deformasi lokal di sekitar baut, dan potensi retak pada elemen kayu, juga dilakukan selama proses pembebanan berlangsung.

Properties Material Kayu Glulam
Material kayu Glulam yang digunakan telah diuji secara eksperimental untuk memperoleh parameter sifat fisik dan mekanis. Pengujian kadar air dan berat jenis mengacu pada ASTM D2395 [14]; pengujian kuat tarik (sejajar dan tegak lurus serat) mengacu pada ASTM D143 [2]; pengujian kuat tekan sejajar serat mengacu pada ASTM D143 [2]; pengujian kuat geser sejajar serat mengacu pada ASTM D143 [2]; serta pengujian lentur tiga titik untuk memperoleh MOR dan MOE mengacu pada ASTM D143 [2] dengan rentang tumpuan 600 mm. Modulus elastisitas lentur (MOE) ditentukan dari slope regresi $P-\delta$ pada rentang 10–40% beban maksimum menggunakan defleksi *mid-span* LVDT, sesuai dengan pendekatan EN 26891 [6]. Rekapitulasi hasil pengujian material disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rekapitulasi Parameter *Properties* Kayu Glulam

No.	Parameter	Simbol	Rata-Rata
1	Kadar air	MC	14,24%
2	Berat jenis	SG	0,36
3	Kuat tarik sejajar serat	$F_{t//}$	55,11 MPa
4	Kuat tarik tegak lurus serat	$F_{t\perp}$	1,56 MPa
5	Kuat tekan sejajar serat	F_c	32,43 MPa
6	Kuat geser sejajr serat	F_v	5,66 MPa
7	*Modulus of Rupture* (Lentur)	MOR	52,61 MPa
8	*Modulus of Elasticity* (Lentur)	MOE	6.789 MPa

Pengolahan Data dan Parameter Kinerja
Data beban (P) dan perpindahan (Δ) hasil pengujian diolah menjadi kurva beban–perpindahan ($P-\Delta$) dan kurva momen–rotasi ($M-\theta$). Momen dihitung sebagai gaya dikalikan jarak, sedangkan rotasi diturunkan dari perpindahan di ujung balok dibagi panjang lengan L. Kekakuan rotasi awal ($K_{\theta,el}$) ditentukan dari kemiringan garis sekant pada rentang 10–40% momen maksimum [15]. Parameter daktilitas rotasi dihitung sebagai $\mu_\theta = \theta_u/\theta_y$, dengan θ_u adalah rotasi pada kondisi beban turun hingga 80% kapasitas puncak [8].

Faktor bilinier didefinisikan sebagai rasio kekakuan sekant pada kondisi ultimit terhadap kekakuan sekant pada kondisi leleh (**Persamaan 1**), yaitu:

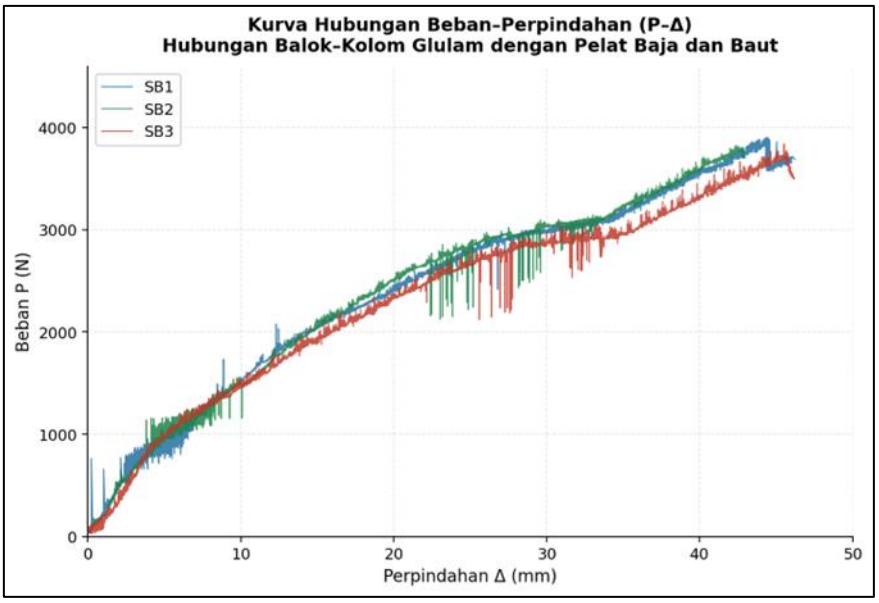
$$Faktor\ bilinier = \frac{M_u/\theta_u}{M_y/\theta_y} \qquad (1)$$

Parameter ini menggambarkan seberapa besar kekakuan sekant sambungan berkurang dari titik leleh ke titik ultimit. Nilai faktor bilinier lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa kekakuan sekant pada kondisi ultimit lebih rendah daripada kondisi leleh, yang merupakan karakteristik umum sambungan kayu tipe *dowel* akibat deformasi tumpu dan slip progresif pengencang [5], [9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Beban dan Perpindahan
Kurva beban–perpindahan ($P-\Delta$) hasil pengujian monotonik pada spesimen SB1, SB2, dan SB3 menunjukkan kecenderungan respons yang serupa. Pada tahap awal pembebanan, beban meningkat cukup tajam seiring bertambahnya perpindahan, yang menunjukkan bahwa sambungan masih memiliki kekakuan awal yang relatif tinggi. Seiring bertambahnya beban, kurva mulai menunjukkan perilaku nonlinier yang ditandai dengan berkurangnya kemiringan kurva secara bertahap. Kondisi ini mengindikasikan mulai berkembangnya deformasi lokal pada daerah sambungan, seperti tumpu pada elemen Glulam di sekitar baut, pergeseran relatif antar komponen sambungan, serta kemungkinan deformasi pada elemen konektor.

Berdasarkan **Gambar 2**, ketiga spesimen memperlihatkan pola kurva yang hampir sama, baik pada tahap awal pembebanan, saat mendekati beban maksimum, maupun setelah melewati kondisi puncak. Setelah mencapai beban maksimum, penurunan kapasitas terjadi secara bertahap dan tidak menunjukkan penurunan mendadak. Pola ini menunjukkan bahwa sambungan masih mampu mengalami deformasi lanjutan setelah mencapai kapasitas puncak, sehingga perilakunya dapat dikategorikan relatif stabil pada pembebanan monotonik. Kemiripan bentuk kurva antarspesimen juga menunjukkan bahwa konfigurasi sambungan yang diuji memberikan respons mekanis yang cukup konsisten.



Gambar 2. Kurva hubungan beban dan perpindahan ketiga spesimen

Nilai beban maksimum dan perpindahan pada saat beban puncak untuk masing-masing spesimen disajikan pada **Tabel 2**. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beban puncak ketiga spesimen berada pada rentang 3.826,77–3.906,76 N, dengan nilai rata-rata sebesar 3.857,69 N. Sementara itu, perpindahan pada saat mencapai beban puncak juga berada pada kisaran yang berdekatan, dengan nilai rata-rata sebesar 44,13 mm dan koefisien variasi sekitar 3,60%. Hasil ini menunjukkan bahwa deformabilitas ultimit sambungan antarspesimen cenderung seragam.

Tabel 2. Kapasitas Maksimum dan Perpindahan pada Beban Puncak

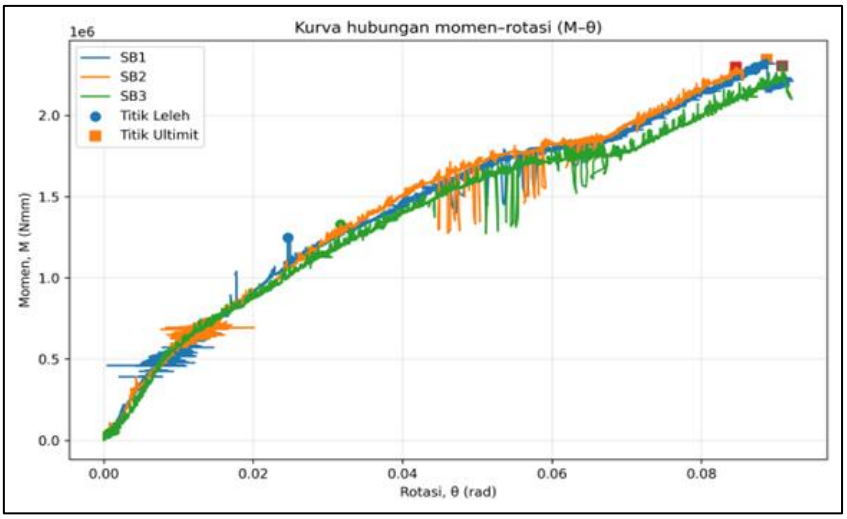
Benda Uji	P_{max} [N]	Δ_{max} [mm]	P_y [N]	Δ_y [mm]
SB1	3.907	44,48	2.330	19,20
SB2	3.827	42,40	2.763	23,43
SB3	3.840	45,52	2.198	18,62
Rata-Rata	3.858		2.431	

Hubungan Momen-Rotasi, Kekakuan dan Daktilitas

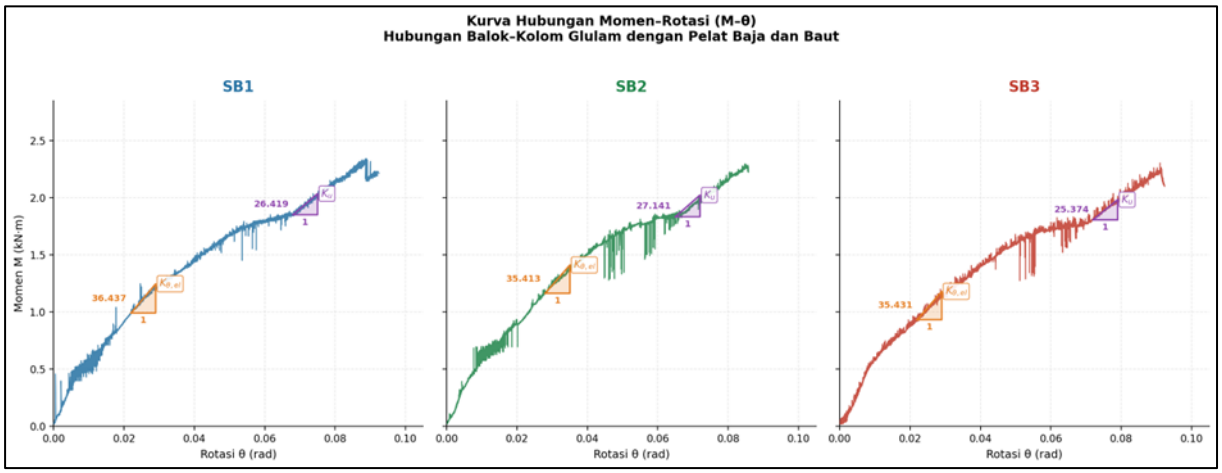
Kurva momen-rotasi ketiga spesimen ditunjukkan pada **Gambar 4**. Ketiga spesimen menunjukkan bentuk kurva yang serupa, yaitu kenaikan momen yang relatif linier pada tahap awal, diikuti transisi nonlinier menuju puncak, kemudian penurunan momen yang bertahap setelah beban puncak. Pola ini konsisten dengan perilaku sambungan *dowel-type* yang dilaporkan pada berbagai penelitian terdahulu.



Gambar 3. Kondisi sambungan setelah pengujian (a) SB1; (b) SB2; (c) SB3



(a)



(b)

Gambar 4. Kurva hubungan momen dan rotasi: (a) ketiga spesimen dan (b) per spesimen

Tabel 3. Kapasitas Maksimum dan Perpindahan pada Beban Puncak

Benda Uji	M_y [kN-m]	θ_y [rad]	M_u [kN-m]	θ_u [rad]	$K_{\theta,el}$	K_u	μ	β
SB1	1,399	0,0384	2,344	0,0887	36,347	26,419	2,312	0,7248
SB2	1,658	0,0469	2,296	0,0846	35,413	27,141	1,807	0,7663
SB3	1,391	0,0373	2,304	0,0908	35,431	25,374	2,439	0,7161
Rata-Rata	1,459	0,0409	2,315	0,0880	35,761	26,291	2,185	0,7358

Dari sisi kapasitas, momen ultimit (M_u) berada pada rentang 2,296–2,344 kNm, sedangkan momen leleh (M_y) berkisar 1,319–1,658 kNm. Kekakuan rotasi awal berada pada rentang 35,388–36,419 kNm/rad dengan rata-rata 35,761 kNm/rad. Faktor bilinier berada pada rentang 0,71–0,77 dengan rata-rata 0,73, **Tabel 3** menunjukkan bahwa kekakuan sekant pada kondisi ultimit hanya sekitar 73% dari kekakuan sekant pada kondisi leleh — terjadi penurunan sekitar 27%. Penurunan kekakuan sekant ini mencerminkan akumulasi deformasi tumpu di sekitar lubang baut dan slip progresif antar komponen sambungan seiring meningkatnya rotasi.

Secara keseluruhan, kombinasi parameter $M_y - M_u$ dan $\theta_y - \theta_u$ menunjukkan bahwa sambungan tidak hanya memiliki kapasitas momen yang stabil, tetapi juga kemampuan rotasi yang memadai. Penurunan kapasitas pasca puncak terjadi secara bertahap pada

ketiga spesimen, yang konsisten dengan bentuk kurva $M-\theta$ yang memperlihatkan peningkatan momen diikuti oleh pertambahan rotasi secara berkelanjutan hingga mendekati kondisi ultimit. Perbandingan kurva beban–perpindahan seluruh spesimen juga disajikan kembali pada **Gambar 3** untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai konsistensi respons mekanis antarspesimen.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian monotonik pada tiga spesimen hubungan balok–kolom kayu Glulam dengan pelat baja dan baut, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Kapasitas puncak rata-rata sebesar 3,857 kN, menunjukkan konsistensi tinggi antarspesimen. Momen ultimit rata-rata 2,315 kNm dengan momen leleh rata-rata 1,4586 kNm, menghasilkan rasio M_y/M_u sekitar 0,63.
2. Kekakuan rotasi awal ($K_{\theta el}$) rata-rata 35,761 kNm/rad. Faktor bilinier rata-rata 0,73 menggambarkan penurunan kekakuan sekant sekitar 27% dari kondisi leleh ke kondisi ultimit, yang mencerminkan akumulasi deformasi tumpu dan slip progresif pengencang.
3. Daktilitas rotasi berada pada rentang 1,81 – 2,44 dengan rata-rata 2,185, yang mengkategorikan sambungan sebagai daktil. Penurunan kapasitas setelah puncak terjadi secara bertahap pada ketiga spesimen, mengindikasikan perilaku yang stabil dan tidak getas pada pembebanan monotonik.
4. Secara keseluruhan, hubungan balok–kolom glulam dengan pelat baja dan baut menunjukkan perilaku semi-rigid dengan kapasitas momen, kekakuan, dan daktilitas yang konsisten antarspesimen pada pembebanan monotonik.

DAFTAR RUJUKAN

[1] T. Agustina, J. A. Tjondro dan D. Setiawan, "Uji Eksperimental Sambungan Pelat Baja Perantara dengan Sekrup Kunci pada Hubungan Balok-Kolom Kayu Meranti Merah," Siklus: Jurnal Teknik Sipil, vol. 10, no. 2, pp. 177–188, 2024.

[2] ASTM International, ASTM D143-22 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022.

[3] ASTM International, ASTM D5652-95(2018) Standard Test Methods for Bolted Connections in Wood and Wood-Based Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

[4] Badan Standardisasi Nasional, SNI 7973:2013 Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2013.

[5] M. Dorn, K. de Borst dan J. Eberhardsteiner, "Experiments on Dowel-Type Timber Connections", Engineering Structures, vol. 47, pp. 67–80, 2013.

[6] European Committee for Standardization, EN 26891:1991 Timber Structures – Joints Made with Mechanical Fasteners, CEN, Brussels, 1991.

[7] J. L. Jensen, "Quasi-non-linear fracture mechanics analysis of splitting failure in moment-resisting dowel joints", Journal of Wood Science, vol. 51, pp. 583–588, 2005.

[8] A. S. Rebouças dan P. B. Lourenço, "Ductile Moment-Resisting Timber Connections: A Review", Buildings, vol. 12, no. 2, pp. 240, 2022.

[9] F. Solarino, L. Giresini, W. S. Chang dan H. Huang, "Experimental Tests on a Dowel-Type Timber Connection and Validation of Numerical Models," Buildings, vol. 7, no. 4, pp. 116, 2017.

[10] A. Vilguts, K. A. Malo dan H. Stamatopoulos, "A study on beam-to-column moment-resisting timber connections under service load, comparing full-scale connection testing and mock-up frame assembly," European Journal of Wood and Wood Products, vol. 80, pp. 753–770, 2022.

[11] K. W. Johansen, "Theory of Timber Connections," International Association of Bridge and Structural Engineering, vol. 9, pp. 249–262, 1949.

[12] Forest Products Laboratory, Wood Handbook—Wood as an Engineering Material, General Technical Report FPL-GTR-190, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Madison, WI, 2010.

[13] American National Standards Institute, ANSI A190.1:2017 Structural Glued Laminated Timber, APA—The Engineered Wood Association, Tacoma, WA, 2017.

[14] ASTM International, ASTM D2395-17 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of

Wood and Wood-Based Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

[15] H. Stamatopoulos dan J. L. Malo, “Withdrawal Stiffness and Yield Moment of Threaded Rods Embedded in Timber Elements,” Construction and Building Materials, vol. 116, pp. 263–272, 2016.