

Kajian Eksperimental Sambungan Geser Tunggal Kayu Sengon Terhadap Variasi Pengencang

DELINAISMIE NURRENSYAH^{1*}, NESSA VALIANTINE DIREDDJA²,
ERMA DESIMALIANA²

¹ Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

² Dosen Program Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Email: delinaisme27@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan sambungan geser tunggal pada kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) menggunakan tiga jenis pengencang berbeda, yaitu baut, paku, dan sekrup. Kayu sengon dipilih karena merupakan jenis kayu ringan yang banyak digunakan dalam konstruksi ringan serta memiliki harga yang terjangkau. Dimensi elemen kayu yang digunakan adalah 15 mm (tebal), 10 mm (lebar), dan 50 mm (panjang), dengan diameter pengencang masing-masing $D_{\text{baut}} = 3$ mm; $D_{\text{sekrup}} = 2,7$ mm; dan $D_{\text{paku}} = 2$ mm. Pengujian dilakukan berdasarkan acuan SNI 7973:2013. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio antara kapasitas eksperimental dan empiris adalah 1,265 untuk sambungan dengan baut; 1,664 untuk paku; dan 1,24 untuk sekrup. Temuan ini mengindikasikan bahwa sambungan kayu dengan pengencang yang diuji memiliki kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan perhitungan empiris, sehingga menegaskan pentingnya pengujian eksperimental dalam validasi desain sambungan kayu.

Kata kunci: sambungan geser tunggal, kayu sengon, variasi pengencang, eksperimental

ABSTRACT

This study aims to evaluate the strength of single shear connection in sengon wood (*Paraserianthes falcataria*) using three different types of fasteners: bolts, nails, and screws. Sengon wood was selected due to its lightweight characteristics and widespread use in light construction, as well as its affordability. The wood specimens had dimensions of 15 mm (thickness), 10 mm (width), and 50 mm (length), with fastener diameters of 3 mm for bolts, 2.7 mm for screws, and 2 mm for nails. The experimental tests were conducted in accordance with SNI 7973:2013. The results showed that the ratio between experimental and empirical capacities was 1.265 for bolts, 1.664 for nails, and 1.24 for screws. These findings indicate that wood joints with the tested fasteners exhibit higher strength than predicted empirically, highlighting the importance of experimental testing in validating wood connection designs.

Keywords: single shear connection, sengon wood, fastener variation, experimental

1. PENDAHULUAN

Kayu merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi besar, khususnya di Indonesia, di mana kayu banyak dimanfaatkan dan dibudidayakan sebagai material utama dalam bidang konstruksi. Kayu memiliki potensi besar sebagai bahan konstruksi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan [5]. Penggunaan kayu dalam konstruksi dapat mengurangi emisi karbon hingga 50% dibandingkan material non-organik [18]. Sebagai material yang ramah lingkungan, efisiensi dalam penggunaan kayu menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan. Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi tersebut adalah dengan melalui pemanfaatan kayu cepat tumbuh yang berasal dari hutan tanaman industri (HTI) maupun hutan tanaman rakyat (HTR), meskipun jenis kayu ini umumnya berdiameter kecil dan memiliki mutu yang rendah.

Sambungan kayu merupakan elemen kritis dalam struktur kayu, karena kekuatan sambungan sering kali menjadi faktor penentu dalam kestabilan dan keamanan keseluruhan struktur. Sambungan geser tunggal adalah salah satu jenis sambungan yang umum digunakan, di mana dua elemen kayu dihubungkan dengan pengencang seperti paku, sekrup, atau baut. Jenis dan ukuran pengencang, serta sifat mekanik kayu yang digunakan, sangat mempengaruhi kapasitas beban sambungan tersebut [4]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi jenis pengencang dapat menghasilkan perbedaan signifikan dalam kekuatan sambungan geser tunggal pada kayu sengon [19].

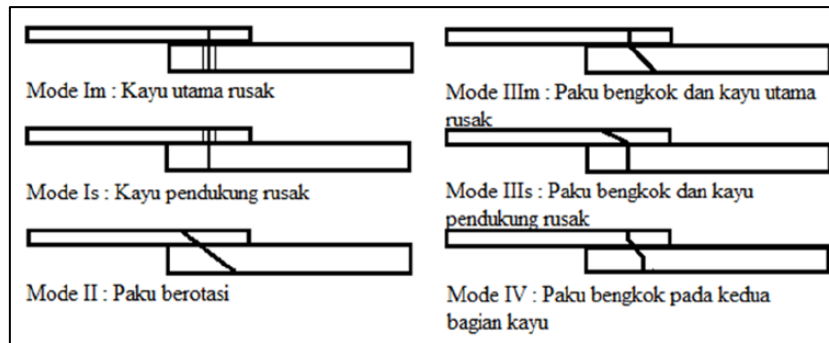
Standar Nasional Indonesia (SNI) 7973:2013 memberikan pedoman dalam perencanaan sambungan kayu, termasuk metode empiris untuk menghitung kapasitas sambungan [6]. Namun, hasil perhitungan empiris seringkali lebih konservatif dibandingkan dengan hasil pengujian eksperimental, yang menunjukkan kapasitas sambungan yang lebih tinggi. Hal ini menyoroti pentingnya studi eksperimental untuk memahami perilaku sambungan kayu secara lebih akurat dan untuk mengevaluasi kesesuaian metode desain yang ada. Salah satu keruntuhan yang juga dapat terjadi pada sambungan batang tarik kayu adalah keuntungan geser blok [2][16][17].

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian eksperimental terhadap sambungan geser tunggal pada kayu Sengon dengan variasi jenis pengencang, yaitu paku, sekrup, dan baut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memahami pengaruh jenis pengencang terhadap kekuatan sambungan, serta memberikan masukan dalam perbaikan metode desain sambungan kayu yang lebih efisien dan aman.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sambungan Kayu

Kayu yang disambung dan bentuk sambungan kayu, terdapat dalam SNI 7973:2013 dan harus memenuhi persyaratan yang ditentukan agar sambungan aman serta tidak mengalami keruntuhan [12][8]. Sambungan kayu merupakan dua batang kayu atau lebih yang disambungkan pada satu bidang, namun sambungan kayu harus mampu menahan dan menerima beban yang akan muncul [8]. Kapasitas dan ragam kegagalan sambungan ditentukan oleh ukuran pengencang dan kekuatannya, ketebalan kayu yang disambung, serta berat jenis material kayu [12]. Sambungan geser kayu terdapat mode keruntuhan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Mode keruntuhan sambungan geser tunggal [10]

Tahanan lateral acuan merupakan kapasitas sambungan pengencang seperti baut, sekrup, dan paku yang biasanya dianalisis berdasarkan nilai mode keruntuhan yang terjadi pada sambungan dan ditentukan dari nilai terkecil [13]. **Tabel 1** menunjukkan persamaan dari tahanan lateral acuan (Z) pada sambungan geser tunggal.

Tabel 1. Tahanan Lateral Acuan pada Sambungan Geser Tunggal

Mode Keruntuhan	Tahanan lateral (Z)
I_m	$Z_{I_m} = \frac{D l_m F_{em}}{R_d}$
I_s	$Z_{I_s} = \frac{D l_s F_{es}}{R_d}$
II	$Z_{II} = \frac{k_1 D l_s F_{es}}{R_d}$
III_m	$Z_{III_m} = \frac{k_2 D l_s F_{em}}{(1 + 2R_e) R_d}$
III_s	$Z_{III_s} = \frac{k_3 D l_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$
IV	$Z_{IV} = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$

Dengan: D = diameter [mm], F_{yb} = kekuatan leleh lentur pasak [MPa], R_d = faktor reduksi, R_e = rasio kuat tumpu = F_{em}/F_{es} , $R_t = l_m/l_s$, l_m = panjang tumpu pasak pada komponen struktur utama [mm], l_s = panjang tumpu pasak pada komponen struktur samping [mm], F_{em} = kekuatan tumpu pasak pada komponen struktur utama [MPa] dan F_{es} = kekuatan tumpu pasak pada komponen struktur samping [MPa].

Mode keruntuhan pada sambungan geser tunggal, yaitu:

1. Mode keruntuhan I_m kayu utama yang akan hancur, berbanding terbalik mode I_s bagian sekunder dari kayu akan hancur.
2. Mode keruntuhan II kayu hancur dekat muka terjadi berputarnya baut kaku terhadap bidang geser.
3. Mode keruntuhan III_m kayu utamanya hancur lalu bagian sendi plastis baut di kayu sekunder, mode III_s sendi plastis berada di kayu utama dan kayu sekunder hancur.
4. Mode keruntuhan IV hancurnya kayu dan leleh terhadap lentur dua titik sendi plastis setiap bidang geser, jika sambungan geser ganda tidak terjadi keruntuhan pada sambungan.

2.2 Sambungan Tarik Geser Tunggal

Sambungan tarik geser tunggal pada kayu merupakan konfigurasi sambungan yang umum digunakan dalam konstruksi kayu, halmana satu elemen pengikat seperti baut, paku, atau sekrup menghubungkan dua elemen kayu dengan satu bidang geser. Kinerja mekanik sambungan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis kayu, jenis dan ukuran pengencang, serta geometri sambungan. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 7973:2013, desain sambungan geser tunggal mempertimbangkan kekuatan tumpu (*bearing strength*) dan kekuatan geser dari pengencang [6]. SNI 7973:2013 mengadopsi pendekatan dari National Design Specification (NDS) 2012, yang awalnya dikembangkan untuk kayu berdaun jarum di Amerika Serikat. Namun, karena perbedaan sifat kayu tropis di Indonesia, seperti kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), pendekatan ini memerlukan penyesuaian agar sesuai dengan kondisi loka [20][3][11][14].

3. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik kekuatan sambungan geser tunggal pada kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) terhadap variasi jenis pengencang, yaitu baut, sekrup, dan paku. Penelitian dilakukan di laboratorium struktur dan bahan bangunan, mengikuti standar prosedur pengujian sesuai ASTM dan SNI terkait.

3.1 Bahan dan Spesimen Uji

Bahan utama yang digunakan adalah kayu sengon kering udara dengan kadar air berkisar 16%–18%, diperoleh dari hutan tanaman rakyat di Jawa Barat. Dimensi spesimen uji kayu disesuaikan dengan ketentuan dalam ASTM D5764 untuk pengujian sambungan tarik geser tunggal [9]. Tiga jenis pengencang digunakan sebagai variabel bebas yaitu baut berdiameter 3 mm, sekrup berdiameter 2,7 mm, dan paku berdiameter 2 mm. Setiap variasi pengencang digunakan untuk merakit 3 spesimen sambungan geser tunggal.

3.2 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Kayu

Sebelum dilakukan pengujian sambungan, dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik kayu untuk menentukan kadar air, kerapatan, berat jenis, kuat geser, dan kuat tumpu sejajar serat. Metode pengujian mengacu pada:

1. ASTM D2395-02 untuk kerapatan dan berat jenis [24].
2. ASTM D143-14 untuk kuat geser dan kuat tumpu [1].
3. ASTM D4442 untuk kadar air [15].

3.3 Pengujian Sambungan Geser Tunggal

Uji tarik sambungan geser tunggal dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dengan kecepatan pembebanan konstan sebesar 2 mm/menit. Data beban dan perpindahan dicatat secara kontinu untuk mendapatkan kurva hubungan beban-perpindahan.

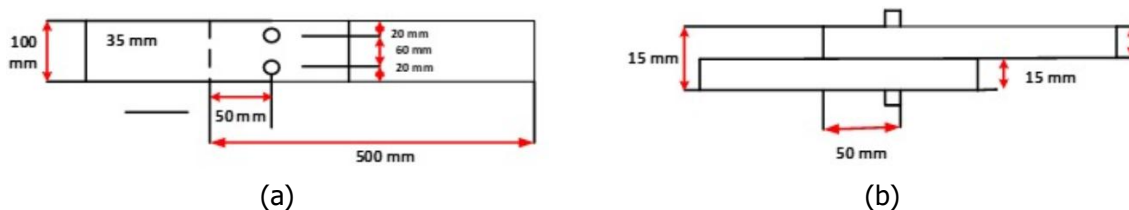
3.4 Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis untuk menentukan kapasitas tarik maksimum masing-masing jenis pengencang. Selain itu, hasil eksperimen dibandingkan dengan kapasitas teoritis berdasarkan rumus dalam SNI 7973:2013 untuk mengetahui kesesuaian antara hasil empiris dan desain teoritis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sambungan Kayu Geser Tunggal

Pengujian dilakukan pada 3 benda uji untuk masing-masing variasi pengencang. Adapun konfigurasi sambungan beserta dimensinya dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut. Setiap benda uji diberikan beban tarik aksial menggunakan UTM hingga mencapai keruntuhan sambungan [10]. **Gambar 3** dan **Gambar 4** menunjukkan kondisi benda uji yang menggunakan baut sebagai pengencang, sedangkan **Gambar 5** menunjukkan benda uji yang menggunakan paku sebagai pengencang dan **Gambar 6** menunjukkan benda uji yang menggunakan sekrup sebagai pengencang.



Gambar 2 (a) Dimensi kayu tampak atas (b) Dimensi kayu tampak samping



Gambar 3. Pengujian benda uji bambungan tarik kayu Sengon menggunakan alat UTM



Gambar 4. Kondisi benda uji baut kayu Sengon setelah terjadi keruntuhan



Gambar 5. Kondisi benda uji paku kayu Sengon setelah terjadi keruntuhan

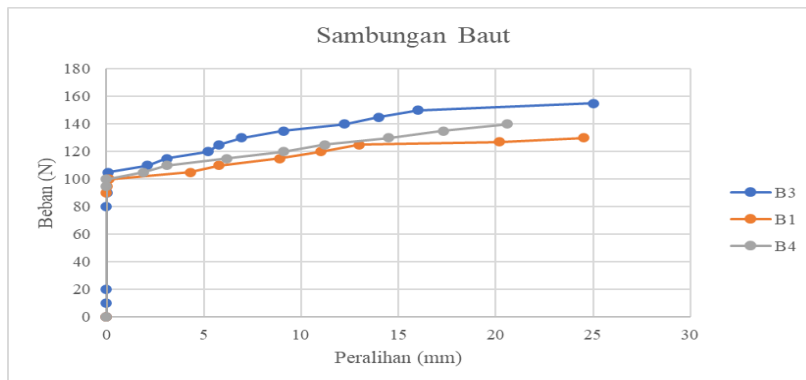


Gambar 6. Kondisi benda uji sekrup kayu Sengon setelah terjadi keruntuhan

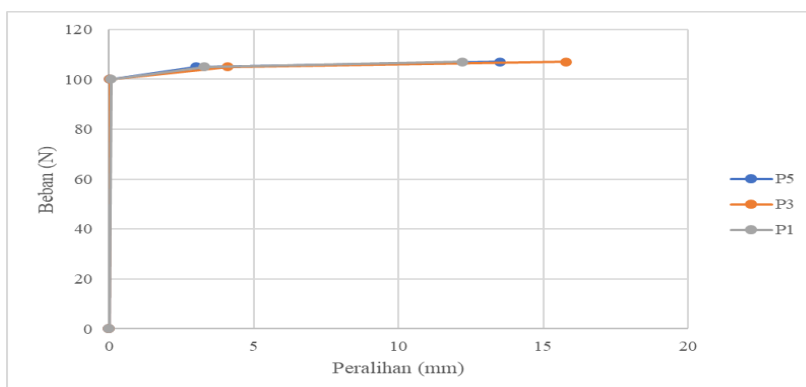
Berdasarkan pengamatan visual akibat pengujian tarik, pada sambungan baut keruntuhan terjadi akibat pembengkokan baut sedangkan kayu disekitarnya tetap utuh, pada sambungan sekrup dan paku, terdapat kombinasi pembengkokan pengencang dan retak minor pada kayu.

4.2 Hasil Pengujian Sambungan Tarik Kayu Sengon Terhadap Pengencang

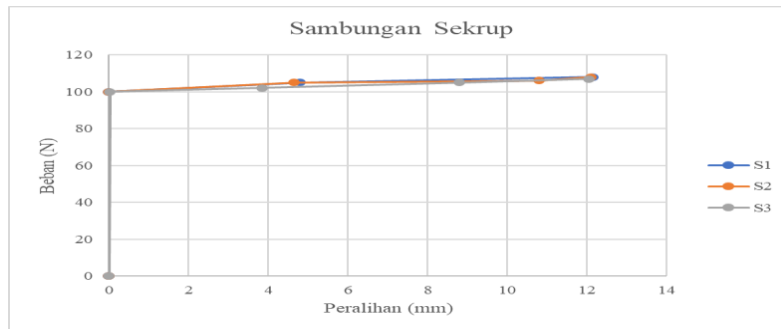
Hasil pengujian eksperimental sambungan menggunakan pengencang jenis baut dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM) menunjukkan bahwa mode keruntuhan yang terjadi diklasifikasikan sebagai Mode II, yang ditandai dengan terjadinya deformasi plastis berupa pembengkokan pada baut, tanpa disertai keretakan pada elemen kayu. **Gambar 7** menyajikan kurva hubungan antara perpindahan dan beban pada pengujian tarik sambungan dengan baut secara keseluruhan.



Gambar 7. Kurva sambungan baut kayu Sengon antara peralihan dan beban uji tarik keseluruhan



Gambar 8. Kurva sambungan paku kayu Sengon antara peralihan dan beban uji tarik keseluruhan



Gambar 9. Kurva sambungan sekrup kayu Sengon antara peralihan dan beban uji tarik keseluruhan

4.3 Kapasitas Sambungan Kayu sengon Geser Tunggal secara Empiris Berdasarkan SNI 7973:2013

Berdasarkan perhitungan kapasitas sambungan geser tunggal pada kayu sengon secara empiris menurut SNI 7973:2013 dengan tiga jenis pengencang, diperoleh hasil bahwa mode keruntuhan yang terjadi adalah Mode II. Rincian hasil perhitungan sambungan geser tunggal pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kapasitas Sambungan Kayu Sengon Geser Tunggal dengan Variasi Pengencang

Mode Keruntuhan	Kapasitas Sambungan [N]		
	Baut	Paku	Sekrup
I _m	270,27	120,12	162,16
I _s	540,54	360,36	486,49
II	111,95	64,31	86,81
III _m	167,54	74,46	130,16
III _s	335,07	170,60	278,49
IV	225,52	100,23	182,67

Keruntuhan mode 2 pada sambungan kayu mengacu pada kegagalan yang terjadi akibat deformasi plastis pengencang, seperti pembengkokan baut atau sekrup, tanpa disertai retakan signifikan pada kayu di sekitar sambungan [21]. Pada mode ini, pengencang menahan beban geser hingga batas elastisnya terlampaui, sehingga mengalami pembengkokan atau pelipatan (*yielding*), sedangkan kayu masih dalam kondisi utuh [22]. Hal ini mengindikasikan bahwa kekuatan sambungan lebih dipengaruhi oleh kapasitas pengencang dibandingkan oleh kekuatan kayu [23].

4.4 Perbandingan Analisis Kapasitas Sambungan dengan Uji Eksperimental

Berdasarkan hasil pengujian 3 (tiga) benda uji untuk masing-masing pengencang; didapatkan kapasitas rata-rata kekuatan tarik sambungan kayu geser tunggal sebesar 141,67 N untuk sambungan yang menggunakan baut sebagai pengencang; 107 N untuk sambungan dengan paku; dan 107,67 untuk sambungan menggunakan sekrup. Perbandingan kapasitas sambungan hasil uji eksperimental dan berdasarkan perhitungan empiris tercantum pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kapasitas Sambungan Kayu Sengon Geser Tunggal dengan Variasi Pengencang

Jenis Pengencang	Kapasitas Sambungan [N]		Rasio
	Empiris	Eksperimental	
Baut	111,95	141,67	1,27
Paku	64,31	107,00	1,66
Sekrup	86,81	107,67	1,24

Berdasarkan **Tabel 3**, dapat dilihat bahwa pengujian eksperimental untuk sambungan tarik, baik yang menggunakan pengencang baut, paku maupun sekrup, memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan kekuatan empirisnya, hal ini dikarenakan perhitungan empiris bersifat konservatif atau memberikan batas aman yang memperhitungkan berbagai ketidakpastian sehingga akan menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan eksperimental. Adapun rasio perbandingan kapasitas empiris dan eksperimental adalah 1,265 untuk sambungan baut; 1,664 untuk sambungan paku; dan 1,24 untuk sambungan menggunakan sekrup.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa nilai kapasitas sambungan tarik geser tunggal kayu Sengon dengan pengencang baut, paku, dan sekrup pada pengujian eksperimental lebih tinggi dibandingkan nilai kapasitas yang dihitung secara empiris. Perbedaan ini disebabkan oleh sifat konservatif metode perhitungan empiris yang mengakomodasi berbagai ketidakpastian dalam material dan kondisi sambungan, sehingga memberikan batas aman dengan nilai kapasitas yang lebih rendah. Rasio perbandingan antara kapasitas eksperimental dan empiris masing-masing sambungan adalah 1,265 untuk baut; 1,664 untuk paku; dan 1,24 untuk sekrup. Temuan ini menunjukkan bahwa sambungan kayu dengan pengencang yang diuji memiliki potensi kekuatan yang lebih baik daripada yang diperkirakan secara empiris, dan menegaskan pentingnya pengujian eksperimental untuk validasi desain sambungan kayu. Sambungan dengan baut memberikan kapasitas beban tertinggi dan kestabilan yang baik selama pengujian, sehingga cocok untuk diaplikasikan pada sambungan yang membutuhkan kekuatan sambungan maksimal.

Berdasarkan dari hasil eksperimental dan analisis yang diperoleh, maka untuk penyempurnaan dan keakuratan penelitian mengenai sambungan geser tunggal pada tahap selanjutnya disarankan menggunakan diameter pengencang yang lebih besar ($D > 3$ mm) sehingga akan didapatkan mode keruntuhan yang lainnya. Selain itu, juga perlu dilakukan pengujian kekuatan leleh lentur pada pengencang baut, paku, dan sekrup sehingga hasil empiris mendekati hasil eksperimental.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Society for Testing and Material, (2014). "*ASTM D143-14 Standard Test Methods Specific for Gravity of Wood-Based Products*", American Society for Testing and Material, Philadelphia, Pa.
- [2] N. V., Diredja, (2018). "Kajian Perbandingan Kekuatan Tumpu Baut Sejajar Serat Hasil Uji Eksperimental dan SNI 7973:2013", *RekaRecana: Jurnal Teknik Sipil*, 4(3), pp. 40–47.
- [3] Y. A., Pranata & B., Suryoatmono, (2018). "*Structure Wood Analysis and Design with LRFD*", PT Remaja Rosdakarya, Bandung.
- [4] E., Herawati, (2018). "Analisis Sambungan Geser pada Kayu dengan Baut Tunggal Akibat Beban Uni-Aksial Tarik – Tugas Akhir", Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [5] K., Setiasih, (2018). "*Kekuatan Sambungan Geser Tunggal Kayu Keruing (Dipterocarpus spp.) dan Meranti (Shorea SPP) Menurut Diameter dan Jenis Paku – Tugas Akhir*", Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, (2013) "*SNI 7973:2013 tentang Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu*", Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [7] O., Bernadi, (2019). "*Kajian Eksperimental Kuat Tumpu Pasak Sejajar Serat Kayu Mahoni – Tugas Akhir*", Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung.
- [8] Sinarga, (2020). "*Analisis Sambungan Kayu Geser Ganda Pada Kayu Durian (Durio Ziebethius) – Tugas Akhir*", Universitas Sumatera Utara, Medan.

- [9] American Society for Testing and Material, (1997). "ASTM Standard D5764 - 97a Standard Test Methods Specific for Gravity of Wood-Based Products", American Society for Testing and Material, Philadelphia, Pa.
- [10] D., Susanto, (2017). "Kekuatan Sambungan Geser Tunggal Pada Kayu MANII (*Maesopsis eminii*) dan Kayu Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) dengan Baut Tunggal – Tugas Akhir", Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [11] N. E. S., Pratiwi, (2017). "Kekuatan Sambungan Kayu Geser Tunggal Pada Kayu Sengon (*Falcataria Moluccana*) dan Jabon (*Anthocephalus Cadamba*) Dengan Baut Tunggal – Tugas Akhir", Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [12] N., Wijaya, B., Suryoatmono, & H. H., Tjahjanto, (2024). "Kajian Numerik Perilaku Sambungan Kayu Geser Tunggal Menggunakan Elemen Balok dan Elemen Solid", Meedia Komunikasi Teknik Sipil, 30(2), pp. 225–233. <https://doi.org/10.14710/mkts.v30i2.61725>
- [13] Breyer & K. J., Fridley (2007). "Design of Wood Structures ASD/ LRFD 6th Edition", The McGraw-Hill companies, Inc., New York.
- [14] American Society for Testing and Material, (2014). "ASTM D4442 Standard Test Methods Specific for Gravity of Wood-Based Products", American Society for Testing and Material, Philadelphia, Pa.
- [15] A., Awaludin & I., S., Irawati, (2005). "Konstruksi Kayu", Biro KMTS F.T UGM, Yogyakarta.
- [16] A., waludin, (2005). "Dasar-Dasar Perencanaan Sambungan Kayu", Biro KMTS F.T UGM, Yogyakarta.
- [17] E. S., Vupa, E. T. A., Agyms, V. E., Ferando, Y. F. D., Sidabutar, & H., Suciati, (2024). "Analisis Penggunaan Kayu sebagai Bahan Konstruksi dalam Pembangunan: Studi Kasus dan Observasi Lapangan", *Zona Sipil: Program Studi Teknik Sipil Universitas Batam*, 14(1), pp. 1-6. <https://doi.org/10.37776/zs.v14i1.1471>
- [18] Pratiwi, N., E., Sara, Sandiyo, & Suchyo, (2017). "Kekuatan Sambungan Kayu Geser Tunggal Pada Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*) dan jabon (*Anthocephalus cadamba*) dengan Baut Tunggal – Tugas Akhir", Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [19] R. R., Susanto (2017). "Desain Kekuatan Sambungan Geser Tunggal Menggunakan Paku Pada Lima Jenis Kayu Indonesia – Tugas Akhir", Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [20] R., Johnson, (2000). "Timber Connections", Chapman & Hall, UK.
- [21] F., Lam, & B., Douglas, (2004). "Failure modes of timber connections with dowel-type fasteners", *Journal of Structural Engineering*, 130(3), pp. 478–486. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2004\)130:3\(478\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:3(478))
- [22] P., Hoffmeyer, & S., Svensson, (2007). "The influence of dowel type and material on the load-carrying capacity of timber connections", *Wood Science and Technology*, 41(6), pp. 523–538.
- [23] N. V., Diredja, & B., Suryoatmono, (2016). "Studi Eksperimental Geser Balok Pada Batang Tarik Kayu Indonesia", *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), pp. 99–110. <https://doi.org/10.28932/jts.v12i2.1418>
- [24] T. L., Wilkinson, (1991). "Dowel Bearing Strength", Res. Pap. FPL-RP-505. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.