

Uji Kuat Lentur Sambungan Vertikal WPC (*Wood Plastic Composite*) Kayu Jati Pascapakai dengan Menggunakan Variasi Diameter Baut

Yudhi Arnandha^{1,*}, Yusqil Farokhi¹, Anis Rakhmawati¹

Universitas Tidar, Magelang, Jawa Tengah, Indonesia¹

Koresponden*, Email: yudhiarnandha@untidar.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	29 Agustus 2024	<i>The use of wood in construction is limited due to the length of wood available, so the wood must undergo a joining process to produce the appropriate wood span. This research aims to determine the effect of variations in bolt diameter on the flexural strength of post-used WPC Teak vertical connections. Research on the flexural strength of WPC Teak joints is guided by SNI 7979: 2013, ASTM D198-2015, SNI 03-3959 of 1995 and RSNI T-07-2005, the dimensions of the test specimen are 1250 mm x 90 mm x 40 mm with a two-point loading method. The connection tool used is a bolt with a diameter of 6.35 mm; 7.94 mm; 9.53 mm; and 11.11 mm. The results of the study of flexural strength at the variation of bolt diameter 6.35 mm; bolt diameter 7.94 mm; bolt diameter 9.53 mm; and bolt diameter of 11.11 mm respectively which is 0.80 MPa; 3.48 MPa; 4.82 MPa; and 5.29 MPa. The increase in bolt diameter has an effect on the increase in flexural strength test results. The bolt diameter of 11.11 mm produces the highest flexural strength value of 5.29 MPa, because the bolt used is the largest and the optimal connection length in resisting force.</i>
Diperbaiki	29 Januari 2025	
Disetujui	22 Mei 2026	

Keywords: bolt, flexural strength, post-use, joint, vertical, WPC teak.

Kata kunci: baut, kuat lentur, pascapakai, sambungan, WPC jati.

Abstrak

Keterbatasan penggunaan kayu dikarenakan panjang kayu yang tersedia, sehingga kayu harus mengalami proses penyambungan untuk menghasilkan bentang kayu yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter baut terhadap kuat lentur pada sambungan vertikal WPC Jati pascapakai. Penelitian berpedoman pada SNI 7979:2013, ASTM D198-2015, SNI 03-3959 tahun 1995 dan RSNI T-07-2005, dimensi benda uji 1250 mm x 90 mm x 40 mm dengan metode pembebanan dua titik. Penyambungan menggunakan baut berdiameter 6,35 mm; 7,94 mm; 9,53 mm; dan 11,11 mm. Penelitian ini menghasilkan variasi diameter baut 6,35 mm; diameter baut 7,94 mm; diameter baut 9,53 mm; dan diameter baut 11,11 mm berturut-turut yaitu 0,80 MPa; 3,48 MPa; 4,82 MPa; dan 5,29 MPa. Kenaikan diameter baut berpengaruh pada kenaikan hasil pengujian kuat lentur. Diameter baut 11,11 mm menghasilkan nilai kuat lentur tertinggi yaitu 5,29 MPa, dikarenakan baut yang digunakan merupakan yang terbesar dan panjang sambungan optimal dalam menahan gaya.

1. Pendahuluan

Kayu sebagai bahan konstruksi sudah umum digunakan di Indonesia sejak jaman dahulu, karena terbukti kekuatan dan fleksibilitas kayu yang mumpuni serta sumber daya alam Indonesia yang masih cukup melimpah menjadikan kayu sebagai pilihan untuk penggunaan material konstruksi. Kayu dikenal sebagai bahan bangunan yang kuat, selain kuat kayu juga mudah didapatkan, diolah dan digunakan [1].

Jati atau dalam bahasa latin disebut *Tectona grandis L. F.* merupakan salah jenis kayu yang paling banyak diminati sejak dahulu karena memiliki corak yang unik dan elegan, kuat, awet, stabil, dan mudah dikerjakan [2]. Penggunaan kayu jati umum digunakan terutama untuk bahan konstruksi.

Dunia konstruksi kayu di Indonesia, banyak sekali inovasi dan perkembangan mengenai kayu sebagai material atau bagian dari suatu bangunan, salah satunya adalah WPC (*Wood Plastic Composite*). WPC adalah material komposit

yang terbuat dari campuran serat kayu (sering kali serat kayu daur ulang) dan polimer plastik [3].

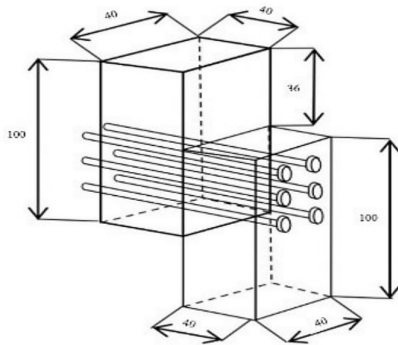
Baut merupakan salah satu alah yang digunakan untuk menyambung suatu batang kayu. Baut yang dirancang khusus untuk kayu dapat memberikan sambungan yang kuat secara mekanis [4]. Baut dapat memberikan kekuatan tarik dan tekan yang baik tergantung pada jenis dan spesifikasi baut yang digunakan. Baut memiliki kekuatan tarik yang baik, yang menjadikannya pilihan yang kuat untuk sambungan yang terutama mengalami beban tarik, seperti dalam konstruksi rangka atau struktur penahan beban [5].

Penyambungan kayu merupakan teknik dalam konstruksi kayu untuk membentuk desain komponen yang sesuai [6]. Keterbatasan panjang kayu yang tersedia di lapangan mengharuskan bahan elemen struktur disambung. Alasan tersebut menjadikan penelitian ini menguji mengenai WPC

jati yang disambung dengan metode bibir lurus menggunakan baut dengan posisi vertikal.

Penelitian ini menggunakan kayu WPC jati yang sudah berumur 8 tahun sejak produksi (pascapakai). Kayu yang sudah berumur umumnya rentan lapuk dan tidak sekuat kayu baru produksi. Alasan tersebut menjadikan diadakannya penelitian ini yang berfokus pada uji kuat lentur sambungan vertikal WPC (*Wood Plastic Composite*) kayu jati pascapakai dengan menggunakan variasi diameter baut. Pada penelitian ini menggunakan variasi baut 6,35 mm; 7,94 mm; 9,53 mm dan 11,11 mm sesuai berdasarkan SNI-7973-13 [7].

Penelitian mengenai analisis sambungan WPC kayu jati dengan menggunakan alat sambung sekrup. Penelitian tersebut berfokus pada sekrup sebagai kekuatan sambungan sebagai pengencangnya dengan menggunakan diameter sekrup ukuran 3,5 mm dan 4 mm dengan variasi 2 buah, 4 buah, 6 buah dan 8 buah dengan dimensi benda uji 100 mm x 40 mm x 40 mm [8] **Gambar 1**.



Gambar 1. Benda Uji Penelitian [8]

Sambungan sekrup digunakan karena mudah didapatkan dan memiliki daya dukung yang cukup kuat. Hasil dari penelitian ini yaitu semakin besar diameter sekrup dan semakin banyak jumlah sekrup yang digunakan, maka semakin besar nilai kapasitas sambungannya [8].

2. Metode

Penelitian menggunakan metode *third point loading* pada sambungan WPC jati dengan alat sambung berupa baut [9]. Permodelan sambungan menggunakan baut merupakan evaluasi pada penelitian sebelumnya. Baut dirancang lebih kuat karena menggunakan mur dan dapat dikencangkan menggunakan kunci torsi sesuai dengan kebutuhan [10]. Baut yang digunakan berdiameter 6,35 mm; 7,94 mm; 9,53 mm dan 11,11 mm berjumlah 2 buah setiap variasi diameter dengan total benda uji secara keseluruhan adalah 8 buah **Tabel 1**. Sambungan yang dipilih yaitu sambungan bibir

lurus karena cukup mudah diaplikasikan dan umum digunakan dengan dimensi sambungan menyesuaikan variasi diameter yang digunakan. Berdasarkan SNI 7973-13 jarak antar baris minimal 3D dan jarak antar tepi terbebani minimal 4D [7]. Hasil perhitungan jarak minimal antar baris dan jarak minimal tepi terbebani pada **Tabel 2**.

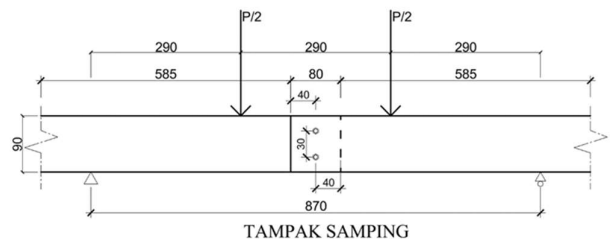
Tabel 1. Variasi Benda Uji

No.	Kode Benda Uji	Diameter Baut (mm)	Jumlah Benda Uji
1	6A & 6B	6,35	2
2	7A & 7B	7,94	2
3	9A & 9B	9,53	2
4	11 A & 11 B	11,11	2
Jumlah (buah)			8

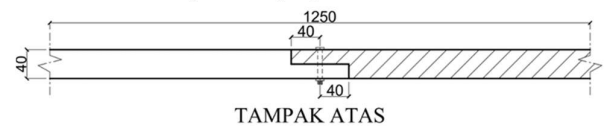
Tabel 2. Hasil Perhitungan Jarak Minimal Antar Baris dan Jarak Minimal Tepi Terbebani

No.	Diameter Baut (D) (mm)	Jarak Minimal Antar Baris (3D) (mm)	Jarak Minimal Tepi Terbebani (4D) (mm)
1	6,35	3 x 6,35 = 19,05	4 x 6,35 = 25,4
2	7,94	3 x 7,94 = 23,82	4 x 7,94 = 31,76
3	9,53	3 x 9,53 = 28,59	4 x 9,53 = 38,12
4	11,11	3 x 11,11 = 33,33	4 x 11,11 = 44,44

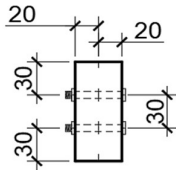
Hasil dari perhitungan jarak minimal antar baris dan jarak minimal tepi terbebani, maka ditetapkan skema pada contoh variasi baut diameter 6,35 mm. **Gambar 2** menunjukkan tampak samping benda uji dengan jarak baut antar baris yaitu 30 mm, **Gambar 3** menunjukkan tampak atas benda uji dengan jarak baut tepi terbebani yaitu 40 mm, **Gambar 4** menunjukkan tampak depan benda uji dengan penempatan titik baut yaitu sama rata 30 mm.



Gambar 2. Tampak Samping Variasi Diameter 6,35 mm



Gambar 3. Tampak Atas Variasi Diameter Baut 6,35 mm



TAMPAK DEPAN

Gambar 4. Tampak Depan Variasi Diameter Baut 6,35 mm

Berat jenis kayu adalah ukuran dari massa jenis atau densitas kayu dalam bentuk padat. Secara spesifik, berat jenis kayu mengacu pada berat kayu per-satuan volume tertentu. Perhitungan berat jenis menggunakan persamaan 1.

$$BJ = \frac{M}{\rho_{air} V} \quad (1)$$

Dimana:

BJ	= berat jenis	
M	= massa benda/kayu	(gram)
V	= volume benda/kayu	(cm ³)
ρ_{air}	= kerapatan air	(gram/cm ³)

Kekuatan lentur atau sering dikenal dengan istilah *Modulus of Rupture* (MoR) menentukan kapasitas beban eksternal yang mampu dipikul oleh sebuah balok [11]. Kekuatan lentur dapat dihitung dengan persamaan 2 yang tercantum pada ASTM D198-15.

$$MoR = \frac{P_{maks} L}{bh^2} \quad (2)$$

Dimana:

MoR	= <i>Modulus of Rupture</i> (MPa)
Pmaks	= beban maksimum yang dapat ditahan benda uji (N)
L	= panjang bentang dari jarak tumpuan satu ke tumpuan lain (mm)
h	= tinggi benda uji (mm)
b	= lebar benda uji (mm)

Modulus of Elasticity (MoE) merupakan nilai rasio tegangan terhadap regangan yang dipengaruhi oleh panjang, lebar, dan tinggi benda uji. Nilai MoE dapat dirumuskan dengan persamaan 3 berdasarkan RSNI T-07-05 tentang metode uji lentur kayu [12].

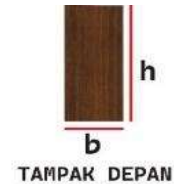
$$E = \frac{PyL^3}{4,7bh^3\Delta y} \quad (3)$$

Dimana:

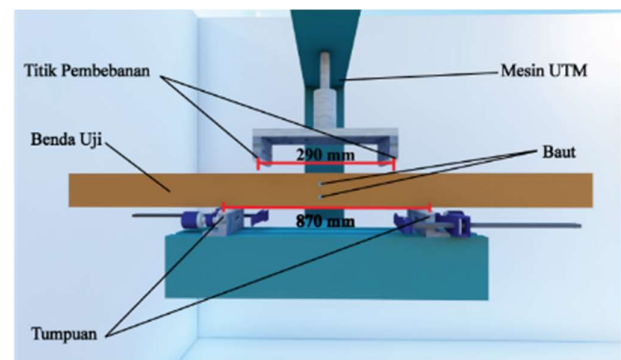
E	= modulus elastisitas (MPa)
Py	= beban pada batas proporsional (N)
L	= panjang bentang dari jarak tumpuan satu ke tumpuan lain (mm)

b	= lebar benda uji WPC jati	(mm)
h	= tinggi benda uji WPC jati	(mm)
Δy	= lendutan proporsional	(mm)

Permodelan notasi pada benda uji untuk b, h, dan L tertulis pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Benda Uji Penelitian



Gambar 6. Skema Pengujian

Proses pembuatan benda uji dibagi dalam 3 tahap. Pertama, pemotongan menggunakan *mitter saw* dan membuat sambungan siku. Kedua, pelubangan menggunakan mesin *frais* sesuai dengan diameter lubang. Ketiga, penyambungan sambungan kayu dengan baut menggunakan alat bantu kunci torsi.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) dengan dua titik pembebanan. Jarak titik pembebanan didapat dari jarak antar tumpuan dibagi 3. Titik tumpu yang digunakan berjarak 870 mm yang merupakan jarak maksimal yang bisa diatur pada mesin UTM [13]. Ilustrasi skema yang digunakan untuk pengujian sesuai pada **Gambar 6**.

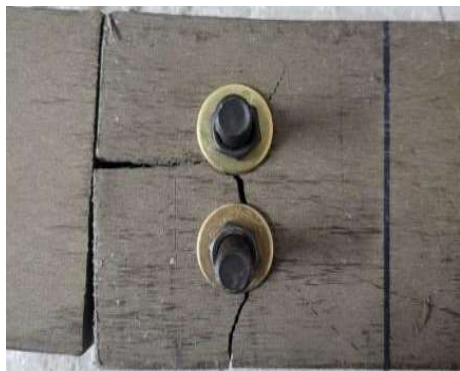
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan UTM dengan metode dua titik sesuai pada **Gambar 7**, benda uji secara keseluruhan mengalami keretakan dengan karakteristik retak

tarik dan mendatar **Gambar 8**. Keretakan diakibatkan karena sambungan kayu WPC jati tidak mampu menahan gaya yang terjadi, sehingga kayu di sekitar lubang mengalami retak. Karakteristik kayu WPC jati yang padat namun minim serat mengakibatkan kayu akan mudah retak. Komposisi serat kayu yang dicampur dengan material plastik mengakibatkan kayu akan mengalami getas pada usia tertentu, serta dengan usia yang sudah 8 tahun kekuatan kayu jelas akan menurun seiring berjalannya waktu.



Gambar 7. Pengujian 2 Titik dengan UTM



Gambar 8. Keretakan pada Sambungan

Berdasarkan klasifikasi keretakan di RSNI-T-07 [12], hasil keretakan pada pengujian sambungan WPC Jati didapatkan klasifikasi sebagai berikut **Tabel 3**.

Tabel 3. Keretakan Benda Uji

Kode Benda Uji	Keterangan
6A	Retak tarik
6B	Retak mendatar
7A	Retak tarik
7B	Retak putus
9A	Retak tarik
9B	Retak tarik
11A	Retak mendatar
11B	Retak tarik

a. Berat Jenis

Nilai berat jenis WPC Jati lebih besar dibandingkan dengan berat jenis kayu jati, dikarenakan WPC Jati memiliki campuran polimer plastik. Perhitungan berat jenis WPC jati menggunakan rumus dari Persamaan (1). Hasil perhitungan didapatkan nilai berat jenis WPC Jati pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Nilai Berat Jenis WPC Jati

No.	Kode Benda Uji	Diameter Baut (mm)	Berat Jenis
1	6A	6,35	1,31
2	6B	6,35	1,33
3	7A	7,94	1,31
4	7B	7,94	1,33
5	9A	9,53	1,31
6	9B	9,53	1,32
7	11 A	11,11	1,33
8	11 B	11,11	1,33
Rata-rata			1,32

b. Modulus of Rupture (MoR)

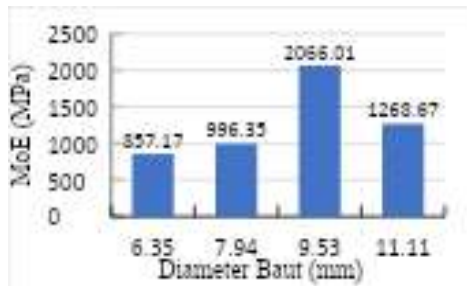
Modulus of Rupture digunakan untuk menentukan kapasitas beban yang mampu ditahan oleh balok sampai mengalami kegagalan. Perhitungan nilai MoR dihitung dengan Persamaan (2). Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Grafik Nilai MoR

c. Modulus of Elasticity (MoE)

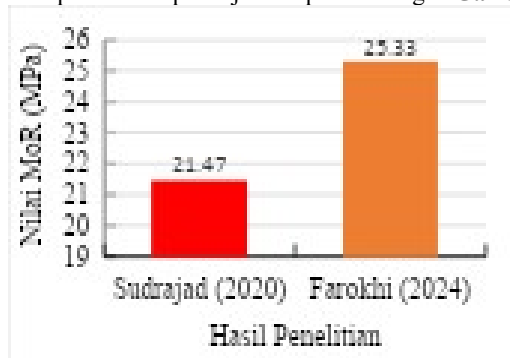
Modulus of Elasticity merupakan sifat mekanik yang menggambarkan tingkat elastisitas balok kayu. Nilai beban lendutan dan jarak lendutan yang digunakan diperoleh dari grafik hasil pengujian saat keadaan kayu masih elastis atau belum mengalami kegagalan. Cara menentukan beban lendutan dan jarak lendutan dengan cara mengambil 2 titik lalu menarik garis lurus (keadaan masih elastis).



Gambar 10. Grafik Nilai MoE

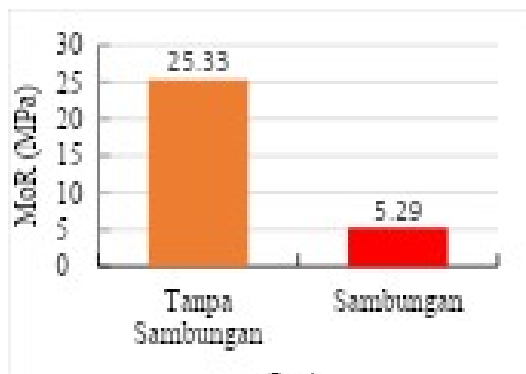
d. Perbandingan dengan Penelitian Sejenis

Hasil penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian Sudrajad [14] masih cukup layak dengan perbedaan tidak jauh. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan kayu WPC Jati yang sudah berumur 8 tahun. Perbedaan nilai MoR tidak terlalu signifikan, menunjukkan bahwa kayu WPC Jati pascapakai masih cukup relevan dipakai jika tanpa sambungan **Gambar 11**.



Gambar 11. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

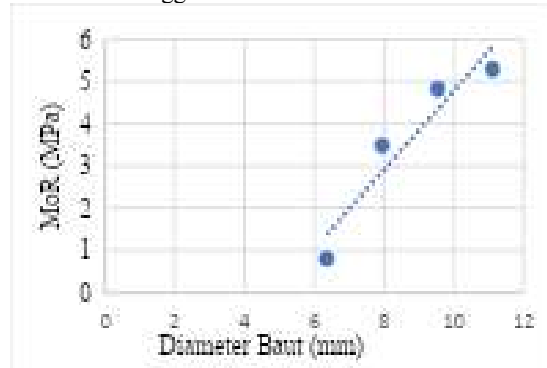
Namun jika dibandingkan WPC Jati pascapakai dengan sambungan dan tanpa sambungan perbedaan masih cukup jauh sesuai grafik hasil perhitungan pada **Gambar 12**. Hal ini dipengaruhi oleh faktor sambungan yang menjadikan kayu WPC Jati menjadi mudah retak. Titik sambungan merupakan titik terlemah struktur kayu.



Gambar 12. Perbandingan WPC Jati Pascapakai Sambungan dengan Tanpa Sambungan

e. Analisis Regresi *Modulus of Rupture*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi diameter 11,11 mm mendapatkan nilai terbesar. Pengaruh diameter pada variasi diameter baut terhadap nilai MoR dibuktikan pada analisis regresi *polynomial orde 2* pada **Gambar 13** menghasilkan nilai $R^2 = 0,9994$. Nilai R^2 mendekati 1 berarti bahwa variasi diameter baut sangat berpengaruh terhadap nilai kuat lentur, semakin besar diameter yang digunakan maka hasil kuat lentur pada pengujian akan semakin tinggi.



Gambar 13. *Polynomial Orde 2*

4. Simpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai berat jenis WPC jati 1,32. Nilai kuat lentur tertinggi diperoleh dari diameter 11,11 mm yaitu sebesar 5,29 MPa. Nilai kuat lentur sambungan WPC jati dipengaruhi secara signifikan oleh panjang pendeknya luasan sambungan, variasi diameter baut cukup berpengaruh dari keseluruhan variasi yang digunakan. Kerusakan pada sambungan mayoritas mengalami retak tarik dan mendatar. Kegagalan sambungan dikarenakan WPC jati sudah berumur 8 tahun sangat mungkin jika kayu WPC jati mengalami penurunan kualitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan WPC Jati pascapakai tidak cocok untuk kebutuhan struktur, akan lebih tepat jika digunakan untuk kebutuhan arsitektural.

Daftar Pustaka

- [1] W. Dewobroto, "Revitalisasi Kayu Sebagai Bahan Material Konstruksi Melalui Riset dan Pengajaran-Studi Kasus Di Jurusan Teknik Sipil UPH," 2012.
- [2] I. Wahyudi, "Karakteristik dan Sifat-Sifat Dasar Kayu Jati Unggul Umur 4 dan 5 Tahun Asal Jawa Barat (*Characteristics and Basic Properties of 4 and 5 year-old of Superior Teakwoods from West Java*)," 2014.
- [3] C. Burgstaller and K. Renner, "Recycling of Wood-Plastic Composites—A Reprocessing Study," *Macromol*, vol. 3, no. 4, pp. 754–765, Des. 2023.

- [4] M. Ihsan, "Studi penggunaan Alat Sambung Baut pada *Wood Plastic Composite* (WPC) dengan Metode Geser Satu Irisan," Skripsi, Yogyakarta, 2016.
- [5] M. Mohammad and J. H. P. Quenneville, "*Bolted Wood-Steel And Wood-Steel-Wood Connections: Verification Of A New Design Approach*," *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 254–263, 2001.
- [6] H. M. Yau, T. Dounas, W. Jabi, dan D. Lombardi, "*Timber Joints Analysis and Design Using Shape and Graph Grammar-Based Machine Learning Approach: Synthetic Data Preparation of Timber Joints' Shape and Graph Grammar for Machine Learning Application*," in *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, 2023.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, "Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu" SNI 7973:2013, Jakarta, 2013.
- [8] N. Khirul Anwar, Y. Arandha, and A. Rakhmawati, "Analisis Sambungan *Wood Plastic Composite* (WPC) dari Kayu Jati dan Plastik Hdpe Alat Sambung Sekrup," in *SEMASTER "Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan"* (Vol. 3, No.1). 2022.
- [9] ASTM International, "Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes," D198-2015. Pennsylvania, 2015.
- [10] M. Abid, M. W. Al-Grafi, and H. A. Wajid, "*Effect Of Bolt Behaviour On The Performance Of A Bolted Joint*," *World Appl Sci J*, vol. 26, no. 1, pp. 89–96, 2013.
- [11] F. S. Yoresta, "Modulus Elastisitas dan Kekuatan Lentur Balok Kayu Laminasi," *Jurnal Rekayasa Sipil* (JRS-Unand), vol. 11, no. 1, p. 41, Feb. 2015.
- [12] Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum, "Metode Pengujian Lentur Posisi Tegak Kayu dan Bahan Struktur Bangunan Berbasis Kayu," RSNI-T-2005, Jakarta, 2005.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, "Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu di Laboratorium," SNI 03-3539-1995, Jakarta, 1995.
- [14] I. Sudrajat, "Uji Kekukatan Papan *Wood Plastic Composite* (WPC) Limbah Serbuk Kayu Jati dan Limbah Plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) sebagai Persyaratan Struktur," Yogyakarta, 2020.