

Tahanan Lateral pada Sistem Komposit LVL Kayu Sengon dan WPC

Ali Murtopo^(*)

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman No.39, Tuguran, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Magelang

Anis Rakhmawati

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman No.39, Tuguran, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Magelang

Yudhi Arnandha

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman No.39, Tuguran, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Magelang

Achmad Rafi'ud Darajat

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman No.39, Tuguran, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Magelang

Ayu Pusdikawarsi Narendrani Istiqomah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman No.39, Tuguran, Potrobangsari, Kec. Magelang Utara, Magelang

Abstrak

Pemanfaatan produk turunan kayu Laminated Veneer Lumber (LVL) Kayu Sengon dan Wood plastic composites (WPC) Jati sebagai bahan konstruksi perlu dikaji lebih lanjut. Penelitian membahas tentang kinerja sambungan kedua bahan tersebut untuk mendapatkan kapasitas sambungan, nilai tahanan lateral serta pola kegagalan pada sistem komposit LVL Kayu Sengon dan WPC akibat dari penggunaan sambungan baut dengan variasi diameter yang berbeda. Benda uji merupakan balok LVL kayu sengon dan WPC yang disambung dengan baut dalam sistem satu bidang geser. Variasi diameter baut yaitu 6 mm, 8 mm, 10 mm dan 12 mm. Pengujian mengacu pada ASTM D 5652-95. Pengujian dilakukan secara analitis sebagai prediksi kekuatan sambungan dan pola kegagalan dan secara eksperimental di laboratorium. Kegagalan sambungan dilihat dari kegagalan yang terjadi pada kuat tumpu kayu dan kegagalan baut. Hasil penelitian menunjukkan nilai kapasitas sambungan baut 6 mm, 8 mm, 10 mm dan 12 mm berturut-turut sebesar 5453,887 N; 5420,986 N; 9200,262 N; 10207,340 N. Sambungan baut 6 mm membentuk pola kegagalan berupa terbentuknya dua sendi plastis pada alat penyambung dalam satu bidang geser sedangkan sambungan baut 8mm, 10mm dan 12 mm terjadi pola kegagalan tumpu kayu samping disertai dengan satu sendi plastis pada alat sambung dalam satu bidang geser.

Kata kunci: LVL kayu sengon, tahanan lateral, WPC, wood plastic composites.

Abstrak

The use of wood engineering products Laminated Veneer Lumber (LVL) of Sengon Wood and Teak Wood plastic composites (WPC) as construction materials needs further study. Research discusses about the joint performance of the two materials to obtain the connection capacity, lateral resistance value and failure patterns in the LVL Wood Sengon and WPC composite system due to the use of bolted connections with different diameter variations. The test objects are LVL beams of sengon wood and WPC which are connected by bolts in a single plane shear system. Variations in bolt diameter are 6 mm, 8 mm, 10 mm and 12 mm. Testing refers to ASTM D 5652-95. Tests were carried out analytically as a predictor of joint strength and failure patterns and experimentally in the laboratory. Connection failure is seen from the failure that occurs in the wooden support and bolt failure. The results showed that the bolt connection capacity values of 6 mm, 8 mm, 10 mm and 12 mm were 5453.887 N, respectively; 5420,986 N; 9200,262 N; 10207.340 N. The 6 mm bolt connection forms a failure pattern in the form of the formation of two plastic hinges on the connecting device in one shear plane while the 8mm, 10mm and 12 mm bolt connections occur a side wood support failure pattern accompanied by one plastic hinge on the connection tool in one shear plane.

Keywords: LVL sengon wood, lateral resistance, WPC, wood plastic composite.

^{*}Corresponding Author: a.m@untidar.ac.id

1. Pendahuluan

Wood plastic composites (WPC) merupakan salah satu produk hasil rekayasa kayu yang sudah dikenal di industri konstruksi. WPC disebut sebagai rekayasa kayu berkonsep *green material* karena terbuat dari serat kayu dan termoset atau termoplastik tanpa ditambah zat kimia beracun (Ashori, 2008). WPC semakin populer untuk penggunaan pada interior dan eksterior konstruksi karena material ini merupakan campuran kayu dan plastik yang kuat, tahan lama, tahan terhadap kelembaban yang tinggi, tahan terhadap serangan serangga dan tidak membusuk (Balma, 1999).

WPC adalah bahan struktur pengganti kayu yang terbuat dari limbah serbuk kayu dan limbah polimer plastik HDPE (*High Density Polyethylene*). WPC memiliki permukaan yang lebih halus, murah, bahan bakunya melimpah, kedap air, anti rayap dan anti jamur sehingga penggunaannya awet dan tahan lama. WPC banyak digunakan untuk keperluan interior dan eksterior seperti penutup lantai, dinding, pagar, dan plafon. WPC memiliki kuat geser yang tinggi bila dibandingkan dengan kayu, itu memungkinkan digunakannya WPC sebagai material struktural, namun masih sebatas pada struktural yang membutuhkan kuat geser saja (Arnandha, 2016).

Penggunaan WPC untuk material struktural sangat jarang ditemukan, karena sejak awal diperkenalkan WPC lebih banyak digunakan untuk material non struktural. Beberapa peneliti telah meneliti sifat fisik dan mekanis WPC sebagai komponen struktur, salah satunya adalah kuat geser. WPC mempunyai kuat geser 25-30 MPa, lebih tinggi dibandingkan dengan papan kayu lapis maupun kayu pada umumnya. WPC memiliki potensi untuk digunakan sebagai dinding geser (Wijanarko, 2016). Penelitian yang dilakukan oleh Sudrajad (2020) didapatkan bahwa kuat lentur WPC adalah 21,47 MPa.

Produk kayu komposit berbasis veneer seperti kayu lapis atau *Laminated Veneer Lumber* (LVL), umumnya digunakan dalam konstruksi kayu. LVL merupakan gabungan beberapa veneer kayu yang direkatkan dengan perekat dan dikempa di bawah temperature dan tekanan yang tinggi. Keunggulan LVL dibandingkan kayu adalah sifat mekanik yang lebih tinggi dan ukuran yang lebih besar (Stark dkk, 2010).

Di Indonesia LVL telah banyak dikembangkan. Salah satu produk LVL adalah LVL dari kayu sengon. LVL sengon adalah satu jenis kayu komposit struktural dari kayu sengon yang diproduksi dengan melaminasi veneer setebal 3,2 hingga 2,5 mm dengan semua lapisan sejajar dengan panjangnya (Awaludin, 2018). Kayu sengon dengan nama latin *Paraserianthes falcataria* merupakan jenis kayu yang banyak tumbuh di daratan tropis. Kayu ini mudah ditemui karena mudah tumbuh dan membutuhkan waktu yang relatif tidak lama untuk mencapai masa panen (Ma'ali dkk, 2014).

Sambungan diperlukan untuk menghubungkan dua atau lebih komponen struktur. Adanya sambungan

dapat berfungsi untuk memperpanjang batang atau menggabungkan beberapa batang pada satu buhul (Awaludin, 2005). Adanya sambungan dapat mengatasi keterbatasan panjang batang struktur namun menjadikan batang tersebut mempunyai kapasitas yang lebih rendah. Sambungan menjadi titik perlemahan dalam suatu struktur sehingga pada titik ini perlu menjadi perhatian yang lebih.

Baut merupakan salah satu alat sambung yang umum digunakan dalam konstruksi. Sebagai alat sambung, desain sambungan didasarkan pada tahanan lateral alat sambung tersebut. *European Yield Model* (EYM) adalah teori yang menjadi acuan perhitungan kekuatan sambungan kayu yang kemudian diadopsi oleh *American Forest & Paper Association* (AF & PA) sebagai dasar *National Design Specification* (NDS) for *Wood Construction* untuk analisis perhitungan tahanan lateral sambungan kayu.

Pemeriksaan terhadap baut sebagai alat sambung WPC dan LVL perlu dilakukan agar menjadi masukan pengembangan pemakaian WPC dan LVL sebagai bahan struktur, mengingat WPC dan LVL merupakan produk pengembangan kayu agar didapatkan produk struktur yang lebih ramah lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi kinerja sambungan terkait pemakaian baut sebagai alat penyambung antara WPC dan LVL.

2. Tahanan Lateral

Nilai tahanan lateral didapat apabila kapasitas tekan kayu di bawah sambungan terlampaui atau terjadinya satu atau lebih sendi plastis pada alat sambung (Soltis, 1991). Dijelaskan dalam *National Design Specification* (NDS) for *Wood Construction* tahun 2018, terdapat 6 mode kegagalan sambungan satu irisan. Mode kegagalan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Persamaan tahanan lateral dari masing-masing mode kegagalan pada **Tabel 1** adalah sebagai berikut

Mode Im

$$Z = \frac{D \text{ Im } F_{em}}{R_d} \quad (1)$$

Mode Is

$$Z = \frac{D \text{ Is } F_{es}}{R_d} \quad (2)$$

Mode II

$$Z = \frac{k_1 D \text{ Is } F_{es}}{R_d} \quad (3)$$

Mode III_m

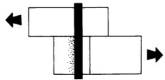
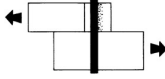
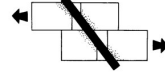
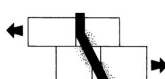


$$Z = \frac{k_2 D \text{ Im } F_{em}}{(1 + 2Re)R_d} \quad (4)$$

Mode III_s

$$Z = \frac{k_3 D \text{ Is } F_{es}}{(2 + Re)R_d} \quad (5)$$

Mode Im

Tabel 1. Mode kegagalan sambungan satu irisan

Mode	Sketsa	Deskripsi mode
Im		Kegagalan tumpu komponen kayu utama, pada kegagalan ini terdapat satu atau dua bidang geser
Is		Kegagalan tumpu komponen kayu samping dan bidang geser yang terjadi bisa satu maupun dua bidang geser
II		Kegagalan tumpu komponen kayu utama dan kayu samping, sehingga memiliki satu bidang geser
IIIIm		Kayu utama mengalami kerusakan dan alat sambung yang terletak pada kayu samping mulai gagal, moda ini memiliki satu bidang geser
IIIIs		Memiliki satu maupun dua bidang geser akibat kerusakan terjadi pada kayu samping dan alat sambung yang terletak pada kayu utama mulai gagal
IV		Alat sambung yang terletak pada kayu utama dan kayu samping mengalami kegagalan

$$Z = \frac{D^2}{Rd} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}} \quad (6)$$

Keterangan :

Z = tahanan lateral nominal (N)

F_{es} = kuat tumpu baut pada komponen struktur samping (MPa)

F_{em} = kuat tumpu baut pada komponen struktur utama (MPa)

D = diameter polos baut (mm)

F_{yb} = kuat leleh lentur baut (MPa)

Rd = syarat reduksi

l_m = panjang tumpu pasak pada komponen struktur utama (mm)

l_s = panjang tumpu pasak pada komponen struktur samping (mm)

$$K\theta = 1 + 0,25 \left(\frac{\theta}{90} \right) \quad (7)$$

Keterangan:

θ = sudut maksimum antara arah beban dan arah serat kayu ($0 \leq \theta \leq 90$)

D = diameter terukur baut pada bagian polos, mm

KD = 2,2 untuk $D \leq 4,318$ mm

= $10 D / 25,4 + 0,5$ untuk $4,318 \text{ mm} < D \leq 6,35 \text{ mm}$

Penentuan besar reduksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tahanan lateral dari berbagai kondisi mode kegagalan yang ditunjukkan pada Tabel 1 dihitung untuk kemudian dicari prediksi tahanan lateral secara analitis. Proses perhitungan didasarkan dari hasil pemeriksaan bahan yang dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai tahanan lateral analitis diambil dari nilai terkecil berdasarkan Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (6). Nilai tahanan lateral analitis terkecil dari berbagai mode kegagalan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 2. Nilai reduksi berdasarkan ukuran baut

Ukuran baut	Mode Kegagalan	Nilai Reduksi (Rd)
	<i>Im, Is</i>	4 K θ
6,35 mm $\leq D \leq 25,4$ mm	<i>II</i>	3,6 K θ
	<i>IIIIm, IIIIs, IV</i>	3,2 K θ
$D \leq 6,35$ mm	<i>Im, Is, II, IIIIm, IIIIs, IV</i>	KD

Tabel 3. Hasil pemeriksaan bahan

Baut	Hasil pemeriksaan									
	BU-1 (mm)	BU-2 (mm)	BU-3 (mm)	BU-4 (mm)	BU-5 (mm)	Im (mm)	Is (mm)	Fem (MPa)	Fes (MPa)	Fyb (MPa)
Baut 6	6,07	6,05	6,01	6,07	6,08	40,00	40,00	64,80	23,76	406,42
Baut 8	7,64	7,65	7,66	7,70	7,71	40,00	40,00	64,20	20,60	429,01
Baut 10	9,21	9,23	9,28	9,24	9,21	40,00	40,00	60,50	18,42	488,62
Baut 12	12,44	12,43	12,41	12,43	12,42	40,00	40,00	51,20	16,80	481,62

Tabel 4. Nilai tahanan lateral terkecil dari berbagai mode kegagalan

Diameter baut (mm)	Tahanan lateral (N)						Mode kegagalan
	BU-1	BU-2	BU-3	BU-4	BU-5	Rata-rata	
6	878	866	884	887	887	880	IV
8	1.035	1.037	1.038	1.047	1.047	1.041	IIIIs
10	1.356	1.361	1.374	1.356	1.364	1.362	IIIIs
12	1.857	1.855	1.852	1.855	1.854	1.855	II

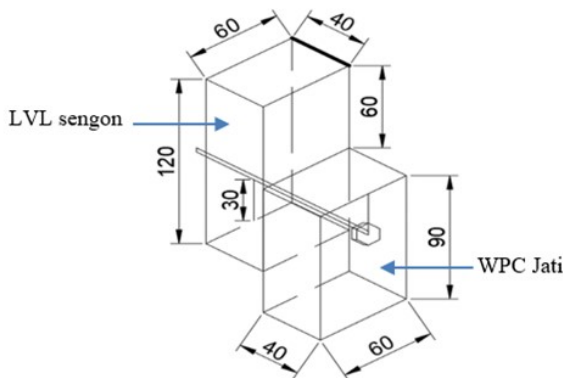
3. Metodologi Penelitian

Benda uji penelitian adalah balok WPC dan LVL sengan yang disambung dengan baut. Dimensi WPC adalah 40 x 60 x 90 mm sedangkan dimensi LVL adalah 40 x 60 x 120 mm. WPC disambung dengan LVL menggunakan baut pada jarak 30 cm dari sisi terluar sambungan seperti pada **Gambar 1**. Pertimbangan jarak pelubangan telah didasarkan ASTM D 5652-95 (*Standard Test Methods for Bolted Connection in Wood and Wood-Base Products*). Pertimbangan panjang terbebani dan panjang tidak terbebani didasarkan pada ASTM D 5764-97a (*Standard Test Method for Evaluating Dowel Bearing Strength of Wood*). Baut yang dipakai dalam penelitian ini mempunyai variasi diameter 6 mm, 8 mm, 10 mm, dan 12 mm. Lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Jumlah benda uji setiap variasi sebanyak 5 buah. Keterangan jumlah benda uji dapat dilihat pada **Tabel 6**. Setting pengujian dapat dilihat pada **Gambar 2**.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa diameter baut berpengaruh terhadap kenaikan kapasitas sambungan. Semakin besar diameter baut, kapasitas sambungan yang dapat ditumpu juga semakin tinggi. Secara menyeluruh terjadi kenaikan kuat sambungan baut



Gambar 1. Detail penyambungan

Tabel 5. Detail ukuran penyambungan

Diameter baut	Parameter dimensi	Syarat minimal	Ukuran LVL (mm)	Ukuran WPC (mm)
6, 8, 10, 12	Tebal	24	40	40
	Lebar	50	60	60
	Panjang tepi terbebani	50	90	60
	Panjang tepi tidak terbebani	25	30	30

Tabel 7. Kapasitas sambungan

Diameter baut (mm)	Kapasitas sambungan (N)					
	BU-1	BU-2	BU-3	BU-4	BU-5	Rata-rata
6	5.915	5.436	6.886	5.381	4.811	5.686
8	6.637	6.563	6.286	5.792	5.784	6.212
10	7.319	11.719	8.299	8.015	12.996	9.670
12	10.536	10.064	9.970	10.496	10.891	10.391



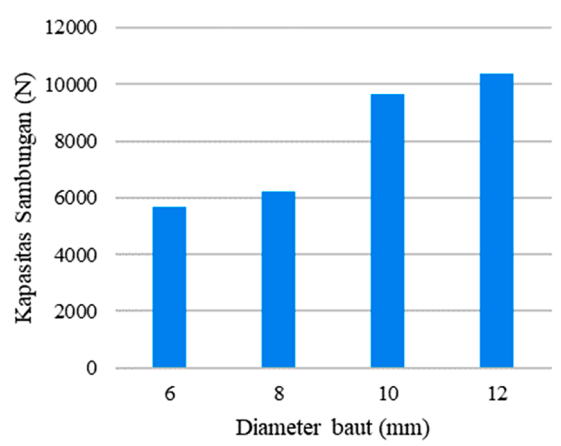
Gambar 2. Setting pengujian

Tabel 6. Keterangan dan kode benda uji

Diameter baut (mm)	Jumlah benda uji
6	5
8	5
10	5
12	5

mulai dari diameter 6 mm, 8 mm, 10 mm sampai 12 mm pada benda uji ke 1 (BU-1), benda uji ke 2 (BU-2), benda uji ke 3 (BU-3), benda uji ke 4 (BU-4) dan benda uji ke 5 (BU-5). Kapasitas sambungan dipresentasikan dalam **Tabel 7**.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara diameter baut dan kapasitas sambungan. Terjadi kenaikan rata-rata kapasitas sambungan dari diameter 6 mm, 8 mm, 10 mm sampai 12 mm. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa peningkatan diameter baut terhadap kapasitas sambungan tidaklah linear. **Tabel 8** menunjukkan prosentase peningkatan kapasitas sambungan baut. Peningkatan kapasitas terbesar terjadi pada sambungan baut berdiameter 10mm. Dibandingkan dengan sambungan baut berdiameter 6mm peningkatannya sebesar 56%.



Gambar 3. Peningkatan kapasitas sambungan terhadap diameter baut.

Tabel 8. Prosentase peningkatan kapasitas sambungan terhadap diameter baut.

Diameter baut (mm)	Kapasitas sambungan (N)	Prosentase kenaikan
6	5686	
8	6212	9%
10	9670	56%
12	10391	7%





Kegagalan pada sambungan dipengaruhi kuat tumpu kayu dan kuat leleh baut. sambungan dapat terjadi pada kayu, baut maupun keduanya. Kegagalan yang dialami oleh kayu terjadi akibat dari kuat tumpu baut yang lebih tinggi dari kayu sehingga merusak kayu tersebut. Kegagalan dapat terjadi pada kayu utama atau kayu samping, bisa juga terjadi pada keduanya. Sebaliknya, kegagalan pada baut dapat terjadi karena sambungan tidak bekerja secara optimal dan atau kuat tumpu baut lebih rendah dari kayu sehingga mengalami kegagalan berupa bengkok. Kegagalan sambungan dapat dilihat dari mode kegagalan yang terjadi. Benda uji berdiameter sama rata-rata mengalami mode kegagalan sambungan yang sama pula. **Tabel 9** memberikan gambaran kegagalan sambungan dari masing-masing benda uji berdasarkan diameter baut penyambung. Dibandingkan dengan hasil perhitungan analitis, terdapat kesamaan hasil antara sambungan baut diameter 6mm, 8mm dan 10 mm. Perbedaan hasil hanya terjadi pada sambungan baut diameter 12 mm. Hal ini disebabkan karena pada saat pengujian posisi benda uji mengalami pergeseran dan mengakibatkan baut terlebih dahulu mengalami deformasi. Perbandingan mode kegagalan berdasarkan hasil perhitungan secara analitis dengan hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 11. Tahanan lateral pengujian

Diameter baut (mm)	Tahanan lateral (N)					
	BU-1	BU-2	BU-3	BU-4	BU-5	Rata-rata
6	2.667	2.431	2.451	2.824	2.437	2.562
8	3.530	3.824	3.481	3.579	3.186	3.520
10	4.140	4.608	4.780	4.780	4.412	4.544
12	8.008	7.191	7.681	7.436	7.634	7.590

Tahanan lateral pengujian didapatkan berdasarkan teori EYM. Tahanan lateral pengujian dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 9. Mode kegagalan sambungan

Diameter baut (mm)	Bentuk kerusakan baut penyambung	Mode kegagalan
6		IV
8		IIIs
10		IIIs
12		IIIs

Tabel 10. Perbandingan mode kegagalan berdasarkan hasil perhitungan secara analitis dengan hasil pengujian.

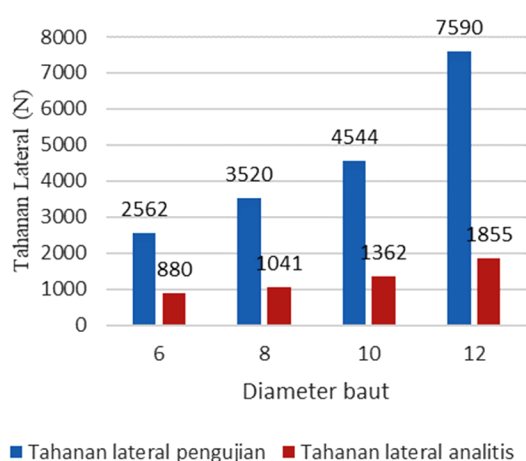
Diameter baut (mm)	Mode kegagalan	
	Analitis	Pengujian
6	IV	IV
8	IIIs	IIIs
10	IIIs	IIIs
12	II	IIIs

Tabel 12 menunjukkan prosentase peningkatan tahanan lateral hasil pengujian. Peningkatan tahanan lateral terbesar terjadi pada sambungan baut berdiameter 12mm. Dibandingkan dengan sambungan baut berdiameter 10 mm peningkatannya sebesar 67%.

Gambar 4 menunjukkan perbandingan nilai tahanan lateral secara analitis dan pengujian. Nilai tahanan lateral secara analitis lebih kecil dibandingkan nilai tahanan lateral pengujian.

Tabel 12. Prosentase peningkatan tahanan lateral terhadap diameter baut.

Diameter baut (mm)	Tahanan Lateral (N)	Prosentase kenaikan
6	2.562	
8	3.520	37%
10	4.544	29%
12	7.590	67%



Gambar 4. Perbandingan nilai tahanan lateral secara analitis dan pengujian

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Diameter baut berpengaruh terhadap kuat sambungan, tahanan lateral dan pola kegagalan sambungan. Semakin besar diameter baut maka kuat sambungan dan tahanan lateral juga semakin besar.
2. Pola kegagalan pada baut diameter 6 adalah kegagalan pada alat sambung yang terletak pada kayu utama dan kayu samping (IV) sedangkan pola kegagalan baut diameter 8, 10 dan 12 berturut-turut adalah pada satu maupun dua bidang geser akibat kerusakan terjadi pada kayu samping dan alat sambung yang terletak pada kayu utama (IIIs).
3. Tahanan lateral hasil pengujian lebih tinggi dari pada hasil pengujian secara teoritis.

Daftar Pustaka

- Arnandha, Y., Satyarno, I., Awaludin, A., Fardhani, A., 2016, *Evaluasi Kuat Tumpu Alat Sambung Baut pada Papan WPC dari Limbah Sengon dan Plastik HDPE*, Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol 22, No.2, Yogyakarta
- Ashori, A., 2008. *Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries*. Bioresource Technology Volume 99, Issue 11, July 2008, Pages 4661-4667.
- Awaludin A., 2005. *Dasar-dasar Perencanaan Sambungan Kayu*, Biro Penerbit Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Awaludin, A., Basuki, A., Shahidan, S., Zuki, S., S., M., 2018, *Laminated Veneer Lumber (LVL) sengon: An Innovation Sustainable Building Material in Indonesia*, International Journal of Integrated Engineering, 10(1), 17-22.
- Balma, D. A., 1999. *Evaluation of Bolted Connections in Wood Plastic Composites*. Washington State University.
- Ma'ali, M., R., Basuki, A., Sunarmasto., 2014, *Analisis Perilaku Prototip Struktur Rangka Kuda-Kuda Laminated Veneers Lumber (LVL) Kayu Sengon*, eJurnal Matriks Teknik Sipil 2(1), Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Soltis, L. A., 1991, *European Yield Model For Wood Connections, Structures congress '91 compact papers; 9th structures congress proceedings; 1991 April 29-May 1; Indianapolis, IN*. New York: American Society of Civil Engineers: 60-63; 1991
- Stark, N.M., Cai, Z., and Carll, C., 2010. *Wood-Based Composite Materials Panel Products, Glued Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood-Nonwood Composite Materials (Chapter 11)*, in: Wood handbook, Wood as an engineering material - Centennial Edition, Forest Products Laboratory - United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Sudrajad, I., 2020, *Uji Kekuatan Papan Wood Plastic Composite (WPC) Limbah Serbuk Kayu Jati Dan Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Sebagai Persyaratan Struktur*, Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Wijanarko, F., B., 2016, *Studi Penggunaan Baut pada Wood Plastic Composite (WPC) dengan Metode Geser Dua Irisan (Double Shear Connections)*, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta