

Prediksi Tipe Kerusakan pada Sambungan Kayu Galam dengan Pasak Kayu Ulin

Muhammad Kamaluddin¹, Basyaruddin², Nuur Asih³, Muhammad Ichsani Qusairy⁴

^{1, 2, 3, 4}Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan 76127
E-mail : 07161055@student.itk.ac.id

ABSTRAK

Kayu menjadi salah satu bahan konstruksi yang telah lama ada. Bahkan sampai saat ini, masyarakat banyak menggunakannya sebagai elemen struktur, baik untuk keperluan bangunan gedung, rumah tinggal, jembatan dan lain-lain. Dikarenakan kayu memiliki batasan panjang, maka dibutuhkan sambungan untuk menyambung antara kayu satu dengan yang lain. Sambungan kayu untuk keperluan struktural harus memenuhi tingkat kekuatan, kekakuan dan kestabilan pada komponen penyusunnya (yaitu pada kayu yang disambung dan alat sambungnya). Hal ini dikarenakan sambungan dan alat sambung merupakan faktor kritis dalam desain struktur karena kekuatan dan stabilitasnya. Selain itu, pada suatu alat sambung juga membutuhkan faktor kelestarian (*sustainability*). Hal ini dapat dijumpai pada alat sambung jenis pasak kayu. Pasak kayu memiliki konsumsi energi yang rendah dan aman terhadap kondensasi dan korosi dibandingkan berbahan logam. Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi tipe kerusakan dari sambungan kayu dengan pasak kayu ulin menggunakan metode analisis deskriptif dan korelatif dari pendekatan data sekunder yang didapatkan. Berdasarkan hasil analisis tipe kerusakan yang berlaku pada sambungan termasuk ke dalam moda kegagalan IV yaitu alat sambung yang terletak pada kayu utama dan kayu samping mulai gagal dengan prediksi nilai tahanan lateral rata-rata pasak berdiameter 12mm, 16mm dan 20mm secara berturut-turut yaitu 1210,2N, 1863,2N dan 2603,8N.

Kata Kunci

Kayu, pasak, prediksi, sambungan, tipe kerusakan

1. PENDAHULUAN

Kayu merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah digunakan sejak awal peradaban manusia. Bahkan saat ini sangat banyak masyarakat yang menggunakan kayu sebagai elemen struktur, baik untuk keperluan bangunan gedung, rumah tinggal, jembatan dan lain-lain. Hal ini dikarenakan penggunaan material lain seperti beton dan baja sebagai bahan bangunan tidak dapat menggantikan pemakaian kayu sepenuhnya dalam segi ramah lingkungan. Dimana kayu memiliki banyak karakteristik yang positif, diantaranya memiliki energi terkandung (*embodied energy*) dan dampak karbon (*carbon impact*) yang rendah serta kelestarian (*sustainability*) [18].

Sambungan kayu untuk keperluan struktural harus memenuhi tingkat kekuatan, kekakuan, dan kestabilan pada komponen penyusunnya (yaitu pada kayu yang disambung dan alat sambungnya). Penggunaan sambungan sangat dibutuhkan dalam dunia konstruksi, hal ini dikarenakan kayu memiliki batasan panjang. Selain itu, sambungan juga termasuk faktor kritis dalam desain struktur karena kekuatan dan stabilitas struktur umumnya ditentukan oleh kekuatan

sambungan [12]. Desain sambungan yang tepat memegang peran penting dalam kinerja struktur kayu keseluruhan, karena kejadian gempa bumi dan badai merupakan penyebab utama kerusakan pada konstruksi kayu dengan kegagalan struktur sering terjadi akibat desain dan pemasangan sambungan yang tidak memadai [8]. Kayu galam memiliki potensi untuk dijadikan struktur utama seperti sambungan, karena termasuk kelas kuat II dan kelas awet III [13]. Meskipun pada kenyataannya kayu galam kebanyakan hanya digunakan sebagai perancah konstruksi.

Dalam menyambung kayu, dibutuhkan suatu pengencang sebagai alat sambung. Berbagai macam alat sambung dengan beragam tipe detail penyambungannya dapat digunakan pada sambungan kayu diantaranya kayu, paku, baut dan baut *lag* (*lag bolt*), dimana semua alat sambung ini termasuk ke dalam tipe pasak (pengencang berbentuk silinder) [6]. Namun, pada umumnya konstruksi tradisional kayu di Indonesia menggunakan alat sambung berupa pasak kayu. Penggunaan alat sambung berupa pasak kayu memiliki manfaat yaitu konsumsi energi yang rendah dan aman terhadap kondensasi dan korosi dibandingkan berbahan logam [9]. Salah satu jenis

kayu yang tepat untuk dijadikan alat sambung pasak kayu yaitu kayu ulin. Selain dikarenakan termasuk kelas kuat I dan kelas awet I [13], kayu ulin bekas juga sangat banyak ditemukan di Indonesia khususnya di Pulau Kalimantan.

Suatu struktur kayu dikategorikan baik apabila mengalami kerusakan dengan tipe kerusakan yang melibatkan elemen yang disambung dan penyambung (pengencangnya) [6]. Dimana tipe kerusakan ini dapat diprediksi berdasarkan model batas leleh dan tingkat daktilitas elemen struktur kayu tersebut. Berdasarkan model batas leleh, kekuatan sambungan sangat dipengaruhi oleh kekuatan tumpu dan kekuatan leleh lentur pasak serta faktor geometri. Kekuatan tumpu pasak dipengaruhi banyak faktor antara lain berat jenis kayu, diameter pasak, arah pembebanan, arah serat dan kadar air [4].

Sejauh ini penelitian mengenai sambungan kayu galam dengan pasak dari kayu ulin dengan mempertimbangkan kuat tumpu pasak, kekuatan leleh lentur pasak dan faktor geometri secara khusus masih terbatas. Demikian juga kajian mengenai nilai desain sambungan kayu, tipe kerusakan dan daktilitasnya. Oleh karena itu, mencermati dari apa yang telah dijabarkan di atas dan didukung oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka hal ini lah yang menjadi latar belakang diangkatnya penelitian dengan judul “PREDIKSI TIPE KERUSAKAN SAMBUNGAN KAYU GALAM DENGAN PASAK KAYU ULIN”.

2. METODE PELAKSANAAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu analisis deskriptif dan korelatif melalui pendekatan kajian pustaka dengan subjek penelitian yaitu sambungan kayu galam dan pasak kayu ulin.

2.1 Studi Literatur

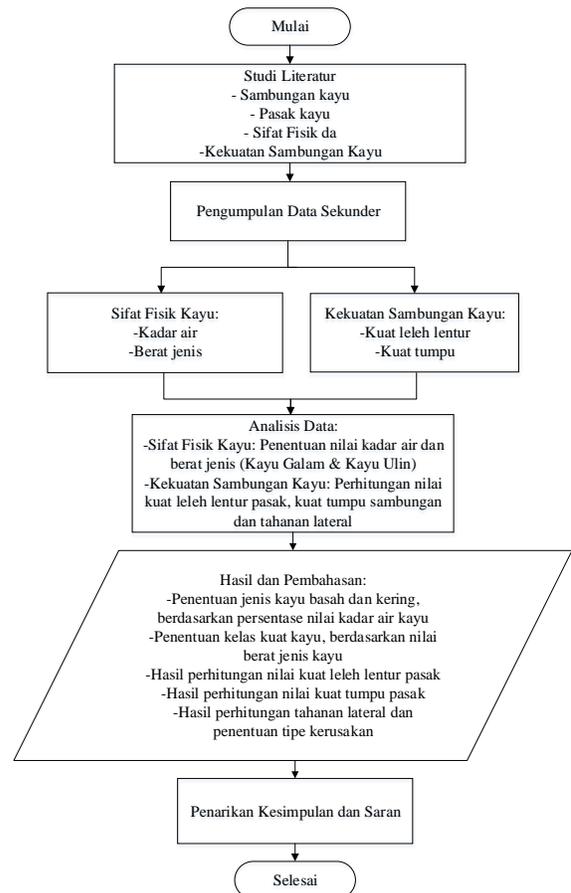
Studi literatur dilakukan baik dari jurnal nasional maupun jurnal internasional, skripsi, thesis dan disertasi untuk mencari materi mengenai karakteristik kayu galam dan kayu ulin, sambungan kayu, alat sambung kayu, tata cara perencanaan konstruksi kayu Indonesia, sifat fisik kayu dan sifat mekanik kayu.

2.2 Metode Pengumpulan Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan data sekunder yang berasal dari jurnal nasional maupun jurnal internasional, skripsi, thesis dan disertasi.

2.3 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis deskriptif dan korelatif yang bertujuan untuk menentukan nilai desain lateral acuan prediksi dan tipe kerusakan sambungan kayu terhadap pasak kayu ulin dengan variasi diameter (12mm, 16 mm dan 20 mm). Adapun diagram alir penelitian terlihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

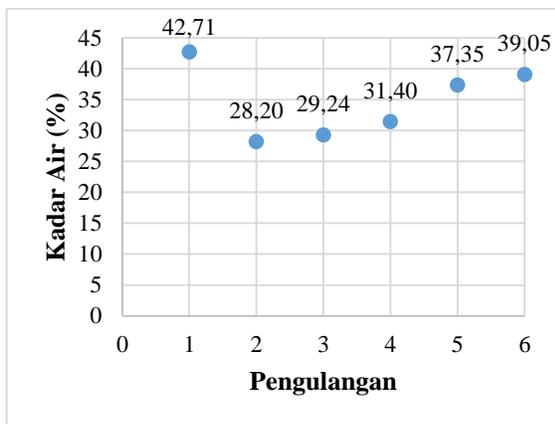
3.1 Sifat Fisik Kayu

3.1.1 Kadar Air

Kadar air kayu adalah perbandingan antara berat air kayu dengan berat kering tanur kayu, setelah dikeringkan dengan oven, yang dapat dinyatakan dalam persen [10]. Sedangkan, definisi lain menyebutkan bahwa kadar air adalah besar persentase air yang terkandung di dalam sebuah kayu, yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering ovennya dan sangat dipengaruhi oleh sifat higroskopis kayu [11]. Air yang berada pada sebuah kayu terdiri

atas air bebas dan air terikat, dimana kedua air ini secara bersamaan dapat menentukan kadar air dari kayu tersebut. Air bebas (*free water*) adalah air yang terdapat dalam rongga sel kayu. Sedangkan, air terikat (*bound water*) adalah air yang terdapat di dalam dinding sel kayu. Kadar air maksimum terjadi ketika seluruh rongga sel penuh berisi dengan air bebas dan pada dinding sel jenuh air.

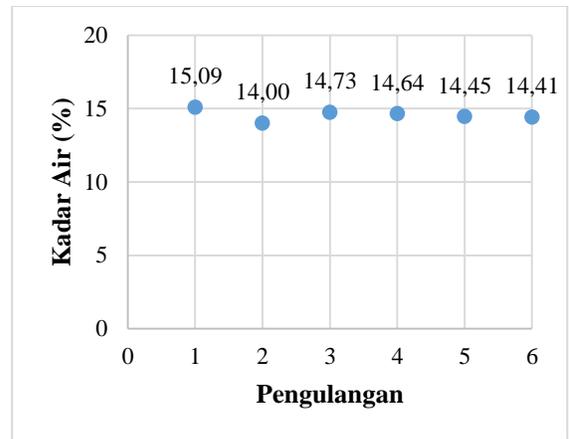
Kayu galam memiliki kadar air rata-rata sebesar 34,66% dengan standar deviasi sebesar 5,88 [5]. Nilai varian kadar air pada kayu galam sangat beragam, dengan varian terkecil memiliki nilai 7.26 dan varian terbesar memiliki nilai 64.76. Sehingga, standar deviasi dari data tersebut cukup besar dari nilai rata-rata data tersebut seperti ditunjukkan pada grafik di Gambar 2.



Gambar 2. Grafik nilai kadar air kayu galam

Nilai kadar air yang mencapai 34,66% membuktikan bahwa kayu galam tergolong ke dalam jenis kayu basah karena memenuhi kriteria yaitu berkisar 30-400% [17]. Kadar air pada sebuah kayu berpengaruh besar terhadap kekuatan kayu tersebut dalam menopang beban. Apabila kayu memiliki kadar air yang sedikit, maka kayu akan memiliki kekuatan yang besar. Untuk menghasilkan kayu dengan kuat dan awet yang besar, maka kayu harus dikeringkan terlebih dahulu [2] [17].

Kayu ulin memiliki kadar air rata-rata sebesar 51,86% dengan standar deviasi sebesar 0,36 [16]. Nilai varian kadar air pada kayu ulin tidak beragam, dengan varian terkecil memiliki nilai 0,01 dan varian terbesar memiliki nilai 0,30. Sehingga, standar deviasi dari data tersebut sangat kecil dari nilai rata-rata data tersebut seperti ditunjukkan pada grafik di Gambar 3.



Gambar 3. Nilai kadar air kayu ulin

Nilai kadar air yang mencapai 14,55% membuktikan bahwa kayu ulin tergolong ke dalam jenis kayu kering karena memenuhi kriteria yaitu berkisar <24% [17].

3.1.2 Berat Jenis

Berat jenis pada kayu adalah perbandingan nilai kerapatan kayu tersebut terhadap kerapatan benda dalam keadaan standar (dalam hal ini yaitu air murni pada suhu 4°C). Adapun kayu galam, memiliki nilai berat jenis berkisar 0,91 [5]. Sedangkan, kayu ulin memiliki nilai berat jenis yang lebih tinggi yaitu berkisar 0,98 [16]. Berat jenis kayu dapat menjadi salah satu faktor untuk mengetahui ketahanan dan kekuatan kayu dalam menerima beban atau gaya dari luar [20]. Perbedaan berat jenis pada sebuah kayu dapat disebabkan oleh tingkat porositas dan kerapatan dinding selnya [1], karena kayu dengan berat jenis yang tinggi biasanya memiliki dinding sel yang lebih tebal dan mampu menahan beban yang lebih besar. Berdasarkan evaluasi berat jenis dari data sekunder yang didapatkan dengan mengacu pada PKKI NI 5 1961 kayu ulin dan kayu galam tergolong kelas kuat I yang umumnya digunakan sebagai bahan konstruksi berat [17].

3.2 Kekuatan Sambungan Kayu

3.2.1 Kuat Leleh Lentur

Kuat leleh lentur menjadi parameter dalam menentukan kualitas alat sambung [22]. Untuk pengujian lentur pasak dilakukan dengan pembebanan satu titik beban pada benda uji pasak. Adapun sketsa pengujian kekuatan leleh lentur pasak kayu dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sketsa pengujian kuat leleh lentur

Adapun nilai prediksi kuat leleh lentur dari pasak kayu ulin didapatkan melalui persamaan regresi dari Pendekatan Momen Leleh Lentur [16]

$$\text{Persamaan: } M_y = 1,82 \times D^{3,34} \times G^{1,49} \quad (1)$$

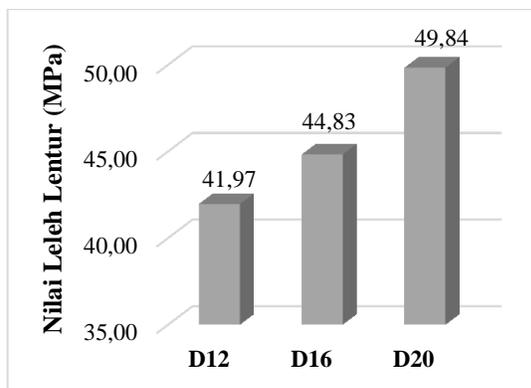
keterangan:

M_y = Momen Leleh Lentur (Nmm)

D = Diameter Pasak (mm)

G = Berat Jenis Pasak

Hasil dari analisis leleh lentur dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai leleh lentur pasak

Adapun nilai leleh lentur prediksi kayu ulin melalui pendekatan menggunakan persamaan Momen Leleh Lentur seperti pada Gambar 5 didapatkan prediksi bahwa nilai leleh lentur semakin meningkat seiring dengan pertambahan variasi diameter dari kayu tersebut. Dimana didapatkan nilai prediksi leleh lentur dari kayu ulin pada diameter 12 mm, 16 mm dan 20 mm secara berturut-turut yaitu 41,97 MPa, 44,83 MPa dan 49,84 MPa.

3.2.2 Kuat Tumpu

Kuat tumpu digunakan untuk menentukan besarnya kekuatan kayu dan pengencangnya dalam menahan beban [22] Pengujian kuat tumpu dilakukan dengan memberikan tekanan di sepanjang batang pasak kayu yang diletakkan di permukaan bidang kayu pada arah sejajar ataupun tegak lurus serat sampai pasak kayu terbenam minimal setengah dari diameternya [3].

Sketsa dan *set up* pengujian kuat tumpu dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sketsa pengujian kuat leleh lentur

Adapun nilai prediksi kuat tumpu didapatkan melalui persamaan nilai kuat tumpu tegak lurus [19]

$$F_e = \frac{185G^{1,45}}{\sqrt{D}} \quad (2)$$

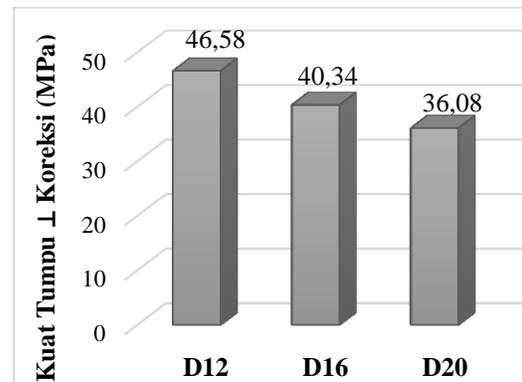
Keterangan:

F_e = Kuat Tumpu (MPa)

D = Diameter Pasak (mm)

G = Berat Jenis Pasak

Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan nilai prediksi kuat tumpu tegak lurus serat yang dapat dilihat pada Gambar 7.



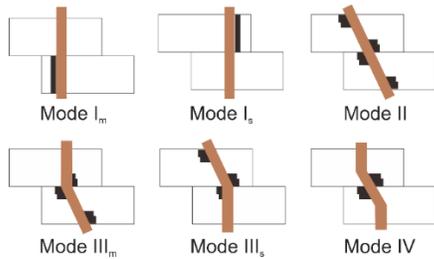
Gambar 7. Nilai kuat tumpu

Prediksi nilai kuat tumpu kayu galam bervariasi terlihat pada Gambar 7. Hal itu dikarenakan kuat tumpu kayu dipengaruhi oleh kerapatan, diameter dan berat jenis kayu [7] [14] [15] [21].

3.3 Tipe Kerusakan Sambungan

Tipe kerusakan sambungan berdasarkan model batas leleh dikategorikan menjadi enam tipe pada sambungan geser tunggal dan empat tipe pada sambungan geser ganda. Hal ini, didasarkan pada kondisi kerusakan yang terjadi baik pada kayu yang disambung maupun pengencangnya (*dowel*) seperti pada Gambar 8. Adapun tipe kerusakan sambungan

kayu yang diharapkan terjadi yaitu kerusakan yang melibatkan pada elemen yang disambung dan pengencangnya (*dowel*) [6].



Gambar 8. Tipe kerusakan sambungan

Adapun nilai tahanan lateral berdasarkan tipe kerusakan pada pasak kayu terlihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Persamaan tahanan lateral

Mode	Persamaan Tahanan Lateral (SNI)
I_m	$\frac{Dl_m F_{em}}{R_d}$
I_s	$\frac{Dl_s F_{es}}{R_d}$
II	$\frac{k1Dl_s F_{es}}{R_d}$
III_m	$\frac{k2Dl_m F_{em}}{(1 + 2R_e)R_d}$
III_s	$\frac{k3Dl_s F_{em}}{(2 + R_e)R_d}$
IV	$\frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$

Berdasarkan Tabel 1. Mode Im mengalami tipe kegagalan yaitu pada kayu utama mengalami kerusakan dan tipe sambungan terjadi satu dan dua bidang geser, Mode Is mengalami tipe kegagalan yaitu kayu samping mengalami kerusakan dan tipe sambungan terjadi satu dan dua bidang geser. Mode II mengalami tipe kegagalan yaitu kayu utama dan samping mengalami kerusakan dan tipe sambungan terjadi satu bidang geser. Mode III_m mengalami tipe kegagalan yaitu kayu utama mengalami kerusakan dan alat sambung yang terletak pada kayu samping mulai gagal dan tipe sambungan terjadi satu bidang geser. Mode III_s mengalami tipe kegagalan yaitu kayu utama

mengalami kerusakan dan alat sambung yang terletak pada kayu samping mulai gagal dan tipe sambungan terjadi satu dan dua bidang geser. Mode IV mengalami tipe kegagalan yaitu alat sambung yang terletak pada kayu utama dan kayu samping mulai gagal dan tipe sambungan terjadi satu dan dua bidang geser.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan nilai Tahanan Lateral seperti pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Nilai tahanan lateral sambungan

Mode	Nilai Tahanan Lateral		
	D12	D16	D20
I_m	6987N	8068N	9020N
I_s	6987N	8068N	9020N
II	449359N	599161N	748902N
III_m	527767N	703710N	879584N
III_s	2986,3N	3550,3N	4162,8N
IV	1210,2N	1863,2N	2603,8N

Setelah moda kegagalan dapat diprediksi seperti Tabel 2, maka tipe Kerusakan pada sambungan kayu galam dengan pasak kayu ulin termasuk ke dalam moda kegagalan IV yaitu alat sambung yang terletak pada kayu utama dan kayu samping mulai gagal, kerusakan terjadi pada alat sambung dimana pasak leleh terhadap lentur dengan dua titik sendi plastis dan dengan hancurnya kayu. Tipe ini sesuai dengan hasil pengujian eksperimental yang telah dilakukan sebelumnya [16] terlihat pada Gambar 9, dimana pada hasil pengujian tekan sambungan sejajar serat dan tegak lurus serat secara keseluruhan didapatkan bahwa kerusakan yang terjadi diawali pada bagian pasak pada kayu utama yang melengkung terlebih dahulu setelah itu mengalami rusak pada alat sambung pasaknya dan diikuti dengan mulai rusaknya kayu samping.



Gambar 9. Tipe kerusakan pasak kayu ulin berdasarkan penelitian sebelumnya
Sumber: Palaeowati, 2013

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis tipe kerusakan yang berlaku pada sambungan kayu galam dengan pasak kayu ulin termasuk ke dalam moda kegagalan IV yaitu alat sambung yang terletak pada kayu utama dan kayu samping mulai gagal, dengan prediksi nilai tahanan lateral rata-rata pasak berdiameter 12mm, 16 mm dan 20mm secara berturut-turut yaitu 1210,2N, 1863,2N dan 2603,8N.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agussalim, "Desain Kekuatan Sambungan Kayu Geser Ganda Berpelat Baja dengan Baut pada Lima Jenis Kayu Indonesia", Thesis, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2010.
- [2] ASTM D4442-92, "Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials", USA, (Reapproved 2003).
- [3] ASTM D5764-97a-1997, "Standard Test Methods for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products", USA, (Reapproved 2002).
- [4] A. B. Garcia, N. Itagaki, "Evaluation of embedding strength on Uruguayan wood to apply the European yield theory for double shear bolted joint". *J Wood Sci.* 60: 86-95.doi: 10.1007/s10086-013-1372-0., in press, 2014.
- [5] A. Suryaningsih, "Studi Kuat Lentur Balok Laminasi Gabungan antara Kayu Gelam dengan Kayu Sengon dan Aplikasinya Pada Perencanaan Rumah Sederhana", Skripsi, Balikpapan: Institut Teknologi Kalimantan, 2019.
- [6] D. E. Breyer, K. J. Fridley, K. E. Cobeen, D. G. Pollock, "Design of Wood Structures ASD/LRFD Sixth Edition", New York (US): McGraw-Hill, 2007.
- [7] D. Susanto, "Kekuatan Sambungan Geser Tunggal pada Kayu Manii (*Maesopsis eminii*) dan Kayu Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) dengan Baut Tunggal", Skripsi, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2017.
- [8] E. Herawati, "Analisis Sambungan Geser pada Kayu dengan Baut Tunggal Akibat Beban Uni-Aksial Tarik", Disertasi, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2018.
- [9] H. Fukuyama, "Shear Characteristics of Wood Dowel Shear Joint and Practical Application Example", *Proceedings of the Tenth World Conference on Timber Engineering, Japan.*, in press, 2008
- [10] I. Wahyudi, T. Priadi, I. S. Rahayu, "Karakteristik Dan Sifat-Sifat Unggul Kayu Jati Umur 4 dan 5 Tahun Asal Jawa Barat", *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia.*, in press, vol. 19, no. 1, 2014.
- [11] J. L. Bowyer, R. Shmulsky, J. G. Haygreen, "Forest Products and Wood Science An Introduction", IOWA (US): IOWA State University Pr, 2003.
- [12] J. Porteous, A. Kermani, "Structural Timber Design to Eurocode 5 Ed ke-2", *Oxford (GB): Blackwell Publishing.*, in press, 2007.
- [13] Kementerian Kehutanan, "Atlas Kayu IV". Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengelolaan Hasil Hutan, 2013.
- [14] M. Z. Jumaat, F. M. Razali, A. H. A. Rahim, "Development of limit state design method for Malaysian bolted timber joints". *Proceeding WCTE 2008-10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan.*, in press, 2008
- [15] N. E. S. Pratiwi, "Kekuatan sambungan kayu geser tunggal pada kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan jabon (*Anthrocephalus cadamba*) dengan baut tunggal", Skripsi, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2017.
- [16] N. Palaeowati, "Tahanan Lateral Sambungan Kayu LVL Sengon dengan Alat Sambung Pasak Kayu", Thesis, Yogyakarta: Universitas Gajah Mada, 2013.
- [17] Peraturan Kontruksi Kayu Indonesia, "Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan", NI-5, Bandung: Yayasan Normalisasi Penyelidikan Masalah Bangunan, 1961.
- [18] R. H. Falk, "Wood as a Sustainable Building Material, in Wood Handbook-Wood as an Engineering Material", Madison (US): Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture, pp. 1-1-1-6, 2010.
- [19] SNI 7973:2013, "Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu", Bandung: Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- [20] S. Sadiyo, N. Nugroho, Surjokusumo, I. Wahyudi, "Nilai Desain Acuan Sambungan Kayu Geser Ganda dengan Paku Berpelat Sisi Baja Akibat Beban Uni-Aksial Tekan Menurut Berbagai Analisis Pendekatan", *Jurnal Perennial*, vol. 6 no. 1, pp. 1-10, 2009.
- [21] S. Sadiyo, S. Dwi S, E. S. P. Nanda ESPX, "Nilai Kekuatan Tumpu Baut pada Empat Jenis Kayu Rakyat Indonesia". *Jurnal Teknik Sipil ITB.*, in press, vol. 24, no. 2, 2017.
- [22] Yaniyar, "Analisis Kuat Tumpu dan Kuat Leleh Lentur Baut pada Tiga Jenis Kayu Indonesia", Skripsi, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2017.