

Penentuan Mode Kelelahan Sambungan Geser Ganda Dengan Alat Sambung Mekanis Baut

Jhonson Andar Harianja^{1*}, Lizaro Ade Putra Mendrofa¹, Agustina Enderwanti¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, INDONESIA

*Email: harianja_andar@ukrimuniversity.ac.id

ABSTRAK

Kayu merupakan bahan konstruksi yang ringan dan mudah dikerjakan. Namun ketersediaan bahan kayu memiliki keterbatasan dimensi, untuk memenuhi keterbatasan tersebut maka diperlukan sambungan kayu. Sambungan merupakan dua atau lebih buah kayu yang disatukan menjadi satu bidang atau dua dimensi. Kegagalan konstruksi kayu lebih sering terjadi pada sambungan kayu dibanding material kayu itu sendiri. Oleh karena itu diperlukan disain sambungan yang tepat. Prosedur pengujian Sifat fisis dan mekanis kayu mengacu pada SNI 8853-2015 sedangkan untuk disain sambungan mengacu pada SNI 7973-2019. Mode kelelahan sambungan diketahui setelah pengujian hancur kayu dan didapat nilai batas rusak kayu. Dari pengujian didapat kadar air kayu 19,311%, berat jenis kayu sebesar 0,871 dan kerapatan kayu sebesar 0,927 gr/cm³. Nilai modulus elastisitas kayu berdasar SNI didapat hasil sebesar 14857,119 MPa atau pada kode mutu E14-E15. Nilai kuat disain acuan kayu sebagai berikut: tekan//serat sebesar 12,043 MPa, tarik//serat sebesar 11,871 MPa dan geser//serat sebesar 1,6 MPa. Nilai kekuatan kayu berdasar pengujian sebagai berikut: tekan//serat sebesar 12,634 MPa, tarik//serat sebesar 62,551 MPa, geser//serat sebesar 6,519 MPa, kekerasan kayu arah radial sebesar 49,405 MPa, arah tangensial sebesar 46,154 MPa, dan arah longitudinal sebesar 47,917 MPa. Kuat tumpu baut dihitung berdasarkan persamaan dan didapat hasil 60,97 MPa. Nilai tahanan lateral sambungan kayu dihitung berdasarkan persamaan mode IV didapat nilai tahanan terfaktor sebesar 15,841 kN dan nilai hasil pengujian hancur sambungan sebesar 106,4 kN.

Kata kunci : Bengkirai, sambungan, geser ganda

ABSTRACT

Examples of reconstituted soil are soil samples that are recreated in the laboratory through the process Wood is a construction material that is light and easy to work with. However, the availability of wood material has limited dimensions, to meet these limitations, a wooden connection is needed. Connections are two or more pieces of wood that are united into one plane or two dimensions. Wood construction failures are more common in wood joints than the wood material itself. Therefore, proper connection design is required. The testing procedure for the physical and mechanical properties of wood refers to SNI 8853-2015, while for the design of the sambungan it refers to SNI 7973-2019. The yield mode of the connection is known after the wood crushing test and the wood damage limit value is obtained. From the test, the wood moisture content was 19.311%, the wood specific gravity was 0.871 and the wood density was 0.927 gr/cm³. The value of the modulus of elasticity of wood based on SNI obtained results of 14857,119 MPa or the quality code E14-E15. The value of the design strength of the wood reference is as follows: compression//fiber of 12.043 MPa, tensile//fiber of 11.871 MPa and shear//fiber of 1.6 MPa. The value of wood strength based on the following tests: compression//fiber of 12.634 MPa, tensile//fiber of 62.551 MPa, shear//fiber of 6.519 MPa, wood hardness in radial direction of 49.405 MPa, tangential direction of 46.154 MPa, and longitudinal direction of 47.917 MPa. The bearing strength of the bolt is calculated based on the equation and the result is 60.97 MPa. The value of the lateral resistance of the wood connection is calculated based on the mode IV equation, the factored resistance value is 15,841 kN and the result of the joint crushing test is 106.4 kN.

Key words: Bengkirai, joint, double shear

1. PENDAHULUAN

Kayu merupakan bahan material yang sering digunakan oleh masyarakat Indonesia. Keunggulan bahan ini yaitu beratnya yang ringan dan mudah dikerjakan. Kayu juga merupakan satu satunya bahan konstruksi yang tidak menimbulkan limbah. Kayu memiliki kelemahan yaitu nilai kembang susut yang tinggi sehingga kadang tidak awet. (Direja, 2018).

Berdasarkan PKKI 1961 Kayu Bengkirai termasuk dalam kelas kuat I, sedangkan berdasarkan kode mutu termasuk dalam E12-E13 dengan berat jenis sekitar 0,68-0,80 (Sutandar, Juniardi, & Syahrudin, 2021).

Kayu di Indonesia sebagian besar masih merupakan kayu alami sehingga memiliki keterbatasan dimensi. Oleh karena itu diperlukannya sambungan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Sambungan kayu merupakan penggabungan dua atau lebih kayu menjadi satu dalam satu bidang datar atau dua dimensi. (Awaludin, 2005).

Alat sambung mekanis yang banyak digunakan yaitu baut. Baut pada umumnya memiliki kekuatan yang besar dibanding alat sambung lain seperti paku. Penggunaan baut sebagai alat sambung biasanya digunakan untuk menahan beban lateral (Herawati, Sadiyo, Nugroho, Karlinasari, & Yoresta, Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol.24).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis kayu Bangkirai melalui pengujian di Laboratorium, mengetahui mode kelelahan dan besarnya tegangan lateral sambungan geser ganda yang dibebani searah serat kayu dengan menggunakan alat sambung mekanis berupa empat buah baut berdasarkan hasil uji di laboratorium, menghitung hasil analisa tegangan lateral geser ganda berdasarkan perhitungan model batas leleh Berdasarkan SNI, dan mengetahui batas hancur dari sambungan kayu.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Maret sampai Mei 2022. Di Laboratorium Bahan bangunan Universitas Atma Jaya Yogyakarta untuk pengujian sifat mekanis kayu dan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta untuk pengujian tahanan lateral sambungan kayu geser ganda.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya penanda kayu, bor listrik,udukan bor, gerinda listrik, amplas kayu, kaliper, timbangan, tungku, UTM Tensilon dan alat uji press digital kapasitas 2000 kN.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kayu Bangkirai (*Shorea leavis Ridl*) dan alat sambung mekanis berupa baut berukuran diameter 10 mm.

2.1. Persiapan Bahan

Untuk pengujian kayu geser ganda disiapkan balok kayu berukuran 80×120×3000 mm yang selanjutnya dipotong menjadi beberapa balok yang berukuran lebih kecil dan dihaluskan menggunakan amplas. Alat sambung baut yang digunakan menggunakan ukuran diameter 10 mm dengan panjang 200 mm.

2.2. Pengujian Sifat Fisis Kayu

Pengujian sifat fisis kayu menggunakan benda uji berukuran 25 × 25 × 25 mm. Benda uji disiapkan dalam kondisi kering udara yang kemudian di timbang beratnya (B_{KU}) dan diukur volumenya (V_{KU}), kemudian dimasukan kedalam tungku pada suhu (105 ± 2) °C sampai benda uji mencapai berat yang tetap. Benda uji dalam kondisi kering oven ditimbang (B_{KT}) dan diukur volumenya (V_{KT}).

$$KA (\%) = \frac{B_{KU} - B_{KT}}{B_{KT}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Berat Jenis (BJ)} = \frac{B_{KT} - V_{KT}}{\rho_{air}} \quad (2)$$

$$\text{Kerapatan} = \frac{B_{KU}}{V_{KU}} \quad (3)$$

dengan :

KA : Kadar air (%)

ρ : Massa jenis (g/cm^3)

B_{KU} : Berat kering udara (g)

B_{KT} : Berat kering tungku (g)

V_{KU} : Volume kering udara (cm^3)

V_{KT} : Volume kering tungku (cm^3)

2.3. Pengujian Sifat Mekanis Kayu

Sifat mekanis kayu yang diuji yaitu kuat tekan sejajar serat, kuat tarik sejajar serat, kekerasan kayu dan kuat geser sejajar serat kayu yang mengacu pada SNI 8853:2019 menggunakan UTM Tensilon.

Pengujian kekuatan tekan sejajar serat dilakukan dengan memberikan beban vertikal pada benda uji berukuran 50 mm x 50 mm x 200 mm untuk pengujian primer dan 25 mm x 25 mm x 100 mm untuk pengujian sekunder secara perlahan hingga kayu mengalami kerusakan.

$$\text{Tekan}_{//\text{serat}} = \frac{P_{Max}}{A} \quad (4)$$

dengan :

Tekan/Serat : Kuat tekan sejajar serat (kgf/cm^2)

P_{Max} : Beban tekan maksimum (kgf)
 A : Luas penampang benda uji (cm^2)

Pengujian tarik sejajar serat dilakukan dengan meletakkan benda uji berukuran 25 mm x 25 mm x 46 mm pada penjepit dari alat uji sebelum diberi beban, kemudian benda uji diberi beban tarik sampai bagian tengah benda uji mengalami kerusakan.

$$\text{Tarik}_{//\text{serat}} = \frac{P_{Max}}{A} \quad (5)$$

dengan :

$\text{Tarik}_{//\text{Serat}}$: Kuat tarik sejajar serat (kgf/cm^2)
 P_{Max} : Beban tekan maksimum (kgf)
 A : Luas penampang benda uji (cm^2)

Pengujian geser sejajar serat dilakukan dengan meletakkan benda uji bertakik berukuran 50 mm x 50 mm x 63 mm pada alat geser sebelum diberi beban, kemudian benda uji dibebani dengan alat pembebanan sampai permukaan 50 mm x 50 mm mengalami kerusakan.

$$\text{Geser}_{//\text{serat}} = \frac{P_{Max}}{A} \quad (6)$$

dengan :

$\text{Geser}_{//\text{Serat}}$: Kuat geser sejajar serat (kgf/cm^2)
 P_{Max} : Beban tekan maksimum (kgf)
 A : Luas penampang benda uji (cm^2)

Pengujian kekerasan kayu dilakukan dengan meletakkan benda uji berukuran 50 mm x 50 mm x 150 mm, kemudian alat pembebanan berupa bola berdiameter 12 mm dipasang lalu dipenetrasi kedalam kayu sampai bola menembus setengah diameternya. Penetrasi dilakukan pada permukaan longitudinal, tangensial dan radial

$$\text{Kekerasan} = \frac{P_{Max}}{A} \quad (7)$$

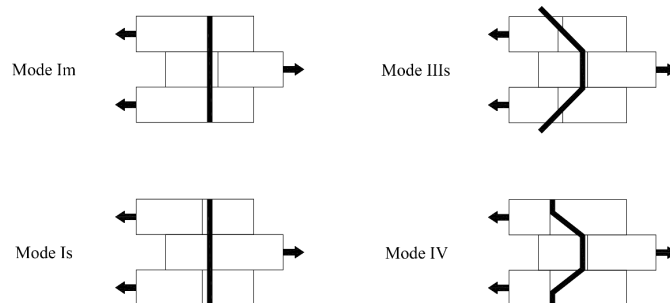
dengan :

kekerasan: Nilai kekerasan kayu (kgf/cm^2)
 P_{Max} : Beban tekan maksimum (kgf)
 A : Luas penampang benda uji (cm^2)

2.4. Pengujian Sambungan Geser Ganda

Pengujian benda uji sambungan kayu dibuat menggunakan kayu berukuran panjang 240mm dan lebar 120mm. Untuk kayu samping memiliki ketebalan 40mm dan kayu utama setebal 80mm. Sambungan dibuat sebanyak 5 (lima) buah benda uji. Sebelum digunakan benda uji di haluskan terlebih dahulu dan diberi tanda dengan 4 (empat) titik sebagai tempat baut.

Setelah semua balok kayu dipasang baut. Sambungan kayu kemudian dimasukan kedalam alat uji press digital dengan kecepatan pembebanan yang rendah. Pengujian dihentikan ketika telah mencapai beban maksimum yang ditandai dengan rusaknya kayu pada sambungan. Pengamatan terhadap tipe kerusakan masing masing sambungan dapat dilakukan setelah pengujian. Tipe kerusakan disesuaikan dengan model leleh sambungan geser ganda tipe pasak.



Gambar 1. Mode kelelahan sambungan geser ganda

2.5. Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis deskriptif dan korelatif. Analisis deskriptif digunakan untuk menyajikan data nilai sifat fisis dan niali sifat mekanis serta penyajian standar deviasi nilai berdasarkan hasil uji eksperimental.

Analisis korelatif atau analisis korelasional merupakan analisis statik yang berusaha mencari hubungan atau pengaruh dua buah variabel atau lebih. Dalam Penelitian ini yang menjadi variabel bebas yaitu nilai hasil pengujian benda uji

yang berasal dari hasil uji ekperimental dan data yang diambil dari penelitian sebelumnya. Selanjutnya yang menjadi variabel terikat dalam penelitian ini yaitu hasil perhitungan tahanan lateral berdasarkan persamaan batas leleh yang dianalisis menggunakan nilai hasil pengujian kekuatan kayu sebagai variabel bebasnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sifat Fisis Kayu Bengkirai

1. Pengujian Kadar Air

Tabel 1 Hasil pengujian kadar air kayu

No	Kode Kayu	Berat Kering Udara (gr)	Berat Kering Tungku (gr)	Kadar air (%)
1	4	15,550	13,040	19,248
2	5	15,250	12,770	19,421
3	6	15,750	13,160	19,681
4	8	15,250	12,740	19,702
5	9	15,010	12,640	18,750
6	10	15,300	12,850	19,066
Rata-rata		15,352	12,867	19,311

Sumber: Hasil pengujian

Berdasarkan pengujian kadar air yang dilakukan didapat nilai rata rata kadar air kayu bengkirai pada penelitian ini yaitu 19,311 %. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kadar air kayu bengkirai sudah mencapai nilai kadar air kering udara alami (SSD) yaitu sebesar 14 – 20 % (Setiawan, 2017)

2. Pengujian Berat Jenis

Tabel 2 Nilai hasil pengujian berat jenis

Kayu	Berat Kering Oven (gr)	Dimensi Kering Oven			Volume Kering Oven (mm ³)	Berat Jenis
		P (mm)	L (mm)	T (mm)		
4	13,040	2,39	2,43	2,55	14,799	0,881
5	12,770	2,43	2,39	2,53	14,706	0,868
6	13,160	2,40	2,45	2,59	15,218	0,865
8	12,740	2,43	2,40	2,51	14,604	0,872
9	12,640	2,40	2,44	2,51	14,735	0,858
10	12,850	2,43	2,40	2,50	14,615	0,879
Rata	12,778	2,41	2,41	2,52	14,621	0,871

Sumber: Hasil pengujian

Dari perhitungan berat jenis benda uji didapat nilai rata rata berat jenis kayu bengkirai yaitu 0,871. Nilai berat jenis 0,871 masuk kedalam rentang berat jenis kayu yang dicantumkan dalam atlas kayu Indonesia yaitu berkisar antara 0,60 – 1,16.

3. Pengujian Kerapatan

Tabel 3 Hasil Pengujian Kerapatan

Kayu	Berat Kering Oven (gr)	Dimensi Kering Oven			Volume Kering Oven (mm ³)	Berat Jenis
		P (mm)	L (mm)	T (mm)		
4	15,550	2,56	2,55	2,55	16,620	0,936
5	15,250	2,55	2,55	2,53	16,464	0,926
6	15,750	2,56	2,59	2,59	17,186	0,916
8	15,250	2,55	2,57	2,50	16,397	0,930
9	15,010	2,52	2,57	2,51	16,256	0,923
10	15,300	2,55	2,57	2,51	16,449	0,930
Rata	15,323	2,55	2,56	2,53	16,438	0,927

Sumber: Hasil pengujian

Dari perhitungan nilai kerapatan kayu terhadap benda uji didapat nilai kerapatan kayu berada pada interval 0,916 – 0,936 gr/cm³ dengan rata rata 0,927 gr/cm³.

4. Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisis

Tabel 4 Rekapitulasi sifat fisis

Ulangan	Kadar Air (%)	Berat Jenis	Kerapatan (gr/cm ³)
1	19,248	0,881	0,936
2	19,421	0,868	0,926
3	19,681	0,865	0,916
4	19,702	0,872	0,930
5	18,750	0,858	0,923
6	19,066	0,879	0,930
Rata rata	19,311	0,871	0,927

Sumber: Hasil pengujian

5. Modulus Elastisitas Kayu

Tabel 5 Hasil perhitungan modulus elastisitas

Kode Kayu	Kadar Air (%)	Berat Jenis	Gb	G15	Ew
4	19,248	0,88	0,81	0,912	14983,599
5	19,421	0,87	0,80	0,899	14838,140
6	19,681	0,87	0,80	0,897	14814,308
8	19,702	0,87	0,81	0,906	14912,182
9	18,750	0,86	0,79	0,883	14650,552
10	19,066	0,88	0,81	0,908	14943,934
Rata	19,311	0,87	0,80	0,901	14857,119

Sumber: Hasil pengujian

Dari perhitungan modulus elastisitas yang ditabelkan didapat nilai modulus elastisitas kayu Bengkirai berada pada interval 14650,552 – 14983,599 MPa dengan rata rata 14857,119 Mpa.

3.2. Sifat Mekanis Kayu Bengkirai

Berdasarkan pengujian sifat mekanis kayu yang telah dilakukan didapat data nilai kapasitas kayu berupa beban maksimum yang dapat ditahan kayu. Data beban tersebut yang kemudian diolah menjadi nilai kuat kayu pada masing masing pengujian.

1. Kuat Tekan Sejajar Serat

Tabel 6 Hasil kuat tekan primer sejajar serat

Kode	Luas Penampang	P _{max} (kgf)	Tekan (kgf/cm ²)	Tekan (MPa)
Tp.1	101,411	11200	110,441	10,831
Tp.2	101,771	11850	116,438	11,419
Tp.3	102,140	10600	103,779	10,177
Rata	101,774	11216,67	110,219	10,809

Sumber: Hasil pengujian

Tabel 7 Hasil kuat tekan sekunder sejajar serat

Kode	Luas Penampang	P _{max} (Kgf)	Tekan (Kgf/cm ²)	Tekan (MPa)
Ts.1	26,268	3890	148,092	14,523
Ts.2	25,267	3610	142,875	14,011
Ts.3	25,041	3790	151,353	14,843
Rata	25,525	3763,333	147,440	14,459

Sumber: Hasil pengujian

Dari hasil perhitungan didapat nilai hasil kuat tekan primer dan kuat tekan sejajar sekunder kayu sejajar serat berturut turut sebesar 10,809 MPa dan 14,459 MPa. Bila dirata rata maka kuat tekan sejajar serat kayu didapat sebesar 12,634 MPa.

2. Kuat Terik Sejajar Serat

Tabel 8 Hasil kuat tarik sejajar serat

Kode	Luas Penampang	P _{max} (Kgf)	Tarik (Kgf/cm ²)	Tarik (Mpa)
T.1	0,423	270	637,845	62,551
T.2	0,465	490	1054,330	103,394
T.3	0,398	775	1949,318	191,163
Rata	0,429	511,67	1213,831	119,036

Sumber: Hasil pengujian

Pada saat pelaksanaan pengujian benda uji hanya terdapat 1 (satu) benda uji yang mengalami kerusakan pada bagian langsung dari kayu yaitu benda uji T1. Jadi pada pengujian kuat tarik sejajar serat kayu hanya memiliki satu data pengujian yaitu benda uji T.1 dengan beban tarik sebesar 62,551 MPa.

3. Kuat Geser Sejajar Serat

Tabel 9 Nilai kuat geser sejajar serat kayu

Kode	Luas Penampang	P _{max} (Kgf)	Geser (Kgf/cm ²)
G.1	24,400	1510	61,885
G.2	24,696	1520	61,548
G.3	25,397	1930	75,994
Rata	24,831	1653,33	66,476

Sumber: Hasil pengujian

Berdasarkan perhitungan nilai kuat geser sejajar serat kayu didapat nilai kuat geser sebesar 6,036 – 7,452 MPa dengan rata rata 6,519 MPa

4. Kekerasan Kayu

Tabel 10 Hasil kekerasan kayu arah radial

No	Kode Kayu	A _{bola baja} (cm ²)	Arah Radial		
			P _{Max} (kgf)	Kekerasan (kgf/cm ²)	Kekerasan (Mpa)
1	K1	1,131	540	477,273	46,804
2	K2	1,131	505	446,338	43,771
3	K3	1,131	665	587,753	57,639
Rata-rata		1,131	570	503,788	49,405

Sumber: Hasil pengujian

Tabel 11 Hasil kekerasan kayu arah tangensial

No	Kode Kayu	A _{bola baja} (cm ²)	Arah Tangensial		
			P _{Max} (kgf)	Kekerasan (kgf/cm ²)	Kekerasan (Mpa)
1	K1	1,131	625,0	552,399	54,172
2	K2	1,131	407,5	360,164	35,320
3	K3	1,131	565,0	499,369	48,971
Rata-rata		1,131	532,5	470,644	46,154

Sumber: Hasil pengujian

Tabel 12 Hasil kekerasan kayu arah longitudinal

No	Kode Kayu	A _{bola baja} (cm ²)	Arah Longitudinal		
			P _{Max} (kgf)	Kekerasan (kgf/cm ²)	Kekerasan (Mpa)
1	K1	1,131	648,5	573,169	56,209
2	K2	1,131	490,0	433,081	42,471
3	K3	1,131	520,0	459,596	45,071
Rata-rata		1,131	552,8	488,615	47,917

Sumber: Hasil pengujian

Dari hasil perhitungan didapat nilai hasil kekerasan kayu arah radial sebesar 49,405 Mpa, pada arah tangensial sebesar 46,154 Mpa dan pada arah longitudinal sebesar 47,917 MPa. Nilai kekerasan kayu terbesar berada pada arah radialnya sedangkan terlemah terdapat pada arah tangensialnya.

5. Rekapitulasi Pengujian Sifat Mekanis

Tabel 13 Rekapitulasi pengujian mekanis

Ulangan	Tek. pr/(MPa)	Tek. sek/(MPa)	Tar /(MPa)	Ges/(MPa)
1	10,831	14,523	62,551	6,069
2	11,419	14,011	103,394	6,036
3	10,177	14,843	191,163	7,452
Rata rata	10,809	14,459	119,036	6,519

Sumber: Hasil pengujian

3.3. Data Baut

Baut yang digunakan untuk membuat sambungan memiliki diameter 10mm. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Pranata & Suryatmono, 2014) diketahui sifat mekanis kuat leleh lentur baut 10mm seperti yang tercantum dalam tabel:

Tabel 14 Data kuat leleh lentur baut

Sampel	F _{yb} (MPa)
1	616,94
2	631,90
3	655,97
4	704,95
5	642,33
6	651,50
7	602,33
8	631,59
Rata – rata	643,19

Sumber: Hasil pengujian

3.4. Sambungan Kayu

Sambungan kayu yang dibuat dalam penelitian ini merupakan sambungan perpanjangan kayu dengan jenis geser ganda.

1. Perhitungan Nilai Tahanan Lateral

Nilai tahanan lateral geser ganda kayu bengkirai dihitung berdasarkan SNI 7973-2013 sesuai dengan mode IV batas leleh sambungan. Variabel yang digunakan dalam perhitungan sambungan merupakan nilai yang aktual sehingga dapat disandingkan dengan nilai pengujian di laboratorium.

Tabel 15 Data dimensi kayu sambungan

Kode	No. batang	Dimensi Kayu (cm)		
		P	L	T
D3C2E1	D3	23,725	11,702	3,250
	C2	23,810	11,843	7,377
	E1	23,848	11,743	3,337
B1B2C1	B1	23,630	11,793	3,568
	B2	23,958	11,840	7,352
	C1	23,742	11,783	3,697
C3D2B3	C3	23,703	11,770	3,550
	D2	24,067	11,837	7,437
	B3	23,717	11,715	3,473
E3E2A3	E3	23,477	11,803	3,500
	E2	23,710	11,803	7,387
	A3	23,818	11,700	3,565
D1A2A1	D1	23,823	11,692	3,553
	A2	23,910	11,847	7,318
	A1	23,902	11,765	3,383

Sumber: Hasil pengujian

Mode kelelahan sambungan dapat dilihat setelah dilakukan pengujian berupa pemberian beban terhadap sambungan. Batas pemberian beban pada sambungan ialah saat terjadi kerusakan pertama pada kayu. Pada kelima benda uji sambungan kayu memiliki mode kelelahan tipe IV yang ditandai dengan terdapatnya dua sendi plastis pada bidang geser sambungan kayu dengan keruntuhan didekitar lubang baut.

Dari perhitungan diperoleh nilai tahanan lateral acuan (Z) untuk satu alat sambung pada mode kelelahan IV sebesar 7,146 kN

2. Hasil faktor koreksi sambungan:

Tabel 16 Nilai faktor aksi kelompok

Kode Samb.	R_{EA}	U	m	C_g
D3C2E1	0,442	1,009	0,875	0,457
B1B2C1	0,492	1,008	0,880	0,460
C3D2B3	0,468	1,008	0,880	0,459
E3E2A3	0,476	1,008	0,879	0,459
D1A2A1	0,469	1,009	0,876	0,458

Sumber: Hasil pengujian

C_A merupakan nilai faktor geometri sambungan, pada alat sambung tipe pasak g dengan diameter $\geq 6,35$ mm, nilai C_A dihitung berdasarkan nilai terkecil dari 3 (tiga) kondisi berikut :

Tabel 17 Data dimensi sambungan (cm)

Kode	Kode Balok	L	Letak	Jarak Ujung	Spasi baris
D3C2E1	D3	11,70	Baris 1	5,945	5,06
	E1	11,74	Baris 2	5,895	4,88
	rata	11,76	Rerata	5,920	4,970
B1B2C1	B1	11,79	Baris 1	5,928	5,11
	C1	11,78	Baris 2	5,9	4,913
	rata	11,81	Rerata	5,914	5,011
C3D2B3	C3	11,77	Baris 1	5,910	5,16
	B3	11,72	Baris 2	5,905	4,945
	rata	11,77	Rerata	5,908	5,053
E3E2A3	E3	11,81	Baris 1	5,883	5,078
	A3	11,70	Baris 2	5,905	5,0225,000
	rata	11,77	Rerata	5,894	5,050
D1A2A1	D1	11,70	Baris 1	5,855	4,995
	A1	11,76	Baris 2	5,905	5,100
	rata	11,77	Rerata	5,880	5,048

Sumber: Hasil pengujian

Tabel 18 Nilai tahanan lateral terfaktor

Kode Sambungan	Z kN	n buah	Z' kN
D3C2E1	7,146	4	15,786
B1B2C1	7,146	4	15,890
C3D2B3	7,146	4	15,855
E3E2A3	7,146	4	15,855
D1A2A1	7,146	4	15,821

Sumber: Hasil pengujian

3. Pengujian Desak Sambungan Geser Ganda

Benda uji sambungan geser ganda diuji desak menggunakan mesin uji tekan digital. Pembebanan ini dilakukan sampai sambungan kayu mengalami kerusakan yang nampak pada balok kayu sambungan. Nilai didapat pada saat rusaknya sambungan kayu melalui pengamatan visual berupa retaknya balok kayu.

Tabel 19 Nilai batas rusak

Kode Sambungan	Z (KN)
D3C2E1	105
B1B2C1	109
C3D2B3	123
E3E2A3	92
D1A2A1	103
Rata rata	106,4

Sumber: Hasil pengujian

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan serta pembahasan terhadap hasil-hasil penelitian, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kayu Bengkirai yang digunakan sebagai benda uji sifat fisis kayu dalam penelitian ini telah mencapai kondisi kering udara alami dengan rata rata kadar air kayu sebesar 19,31%. Berat jenis rata rata kayu bengkirai dalam pengujian ini sebesar 0,87.
2. Pengujian sifat mekanis kayu di laboratorium memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kuat acuan kayu yang diinterpolasi berdasar kode mutu kayu. Sehingga bila tidak memungkinkan dilakukannya pengujian bahan untuk perencanaan struktur, nilai kuat acuan tersebut masih tetap dalam kondisi aman bila digunakan.
3. Mode kelelahan yang terjadi pada sambungan kayu merupakan mode kelelahan IV yaitu terjadinya dua sendi plastis alat sambung pada bagain geser kayu. Nilai tegangan lateral geser pada sambungan kayu yang dihitung berdasarkan persamaan mode kelelahan IV sebesar 7,146 kN untuk satu buah baut. Nilai tersebut bila dikalikan dengan jumlah baut dan faktor faktor yang berpengaruh didapat nilai 15,821 kN. Nilai batas rusak sambungan kayu yang diuji rata rata 106,4kN. Pada nilai inilah sambungan kayu sudah mengalami pecah dan dianggap tidak mampu memberikan kekuatan.
4. Dari pengujian sifat fisis dan mekanis kayu di laboratorium dapat diketahui bahwa nilai kuat acuan yang terdapat pada SNI merupakan nilai yang sangat aman digunakan untuk merencanakan suatu struktur bila tidak memiliki waktu yang cukup untuk melakukan pengujian. Namun disisi yang lain nilai keamanan yang diberikan oleh kuat acuan SNI dapat mengakibatkan penggunaan material yang kurang efisien, sehingga pada saat pelaksanaannya biaya yang digunakan untuk penerapan dilapangan akan menjadi lebih besar. Oleh karena itu tetap disarankan untuk dilakukan pengujian terhadap material kayu yang akan digunakan agar perencanaan yang dibuat dapat sesuai dengan kapasitas material kayu.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin, A. (2005). Dasar Dasar Perencanaan Sambungan Kayu. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- Direja, N. V. (2018, September). Kajian Perbandingan Kuat Tumpu Baut Sejajar Serat Hasil Uji Eksperimental dan SNI 7973:2013. Reka Racana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Vol. XX, hal. 40-47.
- Herawati, E., Sadiyo, S., Nugroho, N., Karlinasari, L., & Yoresta, F. S. (Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol.24). Karakteristik Kekuatan Leleh Lentur Baut Besi dengan Beberapa Variasi Diameter Baut. 2017: 217-222.
- Pranata, Y. A., & Suryoatmono, B. (2014). Kekuatan Tekan Sejajar Serat dan Tegak Lurus Serat Kayu Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*). Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol. 21, 13-22.
- Setiawan, B. (2017). Pembuatan Modul Pengujian Sifat-Sifat Fisis, Mekanis dan Pengawetan Kayu dengan Metode Rendaman Dingin. Semarang: Skripsi Strata 1, Universitas Negeri Semarang.
- Sutandar, E., Juniardi, F., & Syahrudin. (2021). Sifat Fisis dan Mekanis Kayu Bengkirai. Jurnal Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak, 1-8.