

# PERKUATAN SAMBUNGAN PERPANJANGAN BATANG KAYU ULIN DENGAN KOMBINASI BAUT DAN PEREKAT EPOXY

Bambang Sugiarto<sup>1)</sup>, Fakhri<sup>2)</sup>, Alfian Kamaldi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus BinaWidya Jl. H.R. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email: [bambang.sugiarto5871@student.unri.ac.id](mailto:bambang.sugiarto5871@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*In this paper, to strengthen the connection between wood joints is conducted by the use of combination of bolt and epoxy adhesives. There where three variations of connection observed in this study e.g; U1, U2, U3. U1 was using a bolt connecting device. U2 was using a bolt connectors which is reinforced with epoxy adhesive on the bolt hole. U3 was using a bolt connectors which is reinforced with 40 MDGL epoxy adhesives in the joint slice plane. The result of this study indicates that the bolt connection yielding mode is theoretically as same as the yielding mode that occurs in the result of laboratory testing, named mode IIIs. The lateral resistance of bolt joints form laboratory tests result is 108% greater compared to the lateral resistance of bolt joints theoretically. The addition of epoxy adhesive to the bolt hole does not provide the real reinforcement of the joint extension of Ulin Woods with bolt connecting tools. The addition of epoxy adhesives with the amount of 40 MDGL in the joint slice plane, provides 16.6% reinforcement on the joint extension of Ulin Woods with bolt joint tools.*

**Keywords:** *reinforcement joints, bolt joints, epoxy adhesive joints, lateral resistance*

## A. PENDAHULUAN

Kayu Ulin (*Eusideroxylon zwageri teijsm & binn*) merupakan kayu kelas 1 (satu) dalam hal kekuatan dan keawetannya. Kayu Ulin sering digunakan masyarakat sebagai elemen struktur dalam konstruksi bangunan, dikarenakan kayu tersebut memiliki mutu yang baik dan wilayah penyebarannya yang cukup luas. Dalam pengaplikasian kayu Ulin sebagai elemen struktur di lapangan, sering ditemukan masalah keterbasan ukuran panjang kayu, sehingga perlu dilakukan penyambungan.

Menurut Wiryomartono (1976), sambungan merupakan titik terlemah dalam suatu konstruksi. Oleh karena itu sambungan harus direncanakan sekuat mungkin dengan memperhitungkan mekanisme gaya yang bekerja dan sistem sambungan yang akan digunakan.

Alat sambung pada konstruksi kayu yang umum digunakan di Indonesia adalah alat sambung baut dan paku. Sambungan kayu dengan baut memiliki kelebihan yaitu menunjukkan perilaku perlelehan sebelum mencapai keruntuhan (*daktail*). Namun sambungan baut juga memiliki kekurangan yaitu adanya perlemahan akibat luas tampang sekitar 25% - 30%. Alat sambung yang tidak melemahkan kayu akibat pengurangan luas tampang kayu pada sambungan adalah sambungan dengan perekat. Sambungan perekat juga memiliki kekakuan yang lebih besar. Perekat yang bagus untuk sambungan kayu diantaranya perekat epoxy. Namun sambungan dengan perekat juga memiliki kekurangan yaitu mengalami keruntuhan yang tiba-tiba saat melampaui batas layan (*getas*). Jika suatu sambungan perpanjang batang diharapkan memiliki kekuatan yang lebih besar dalam

menahan mekanisme gaya yang bekerja, perkuatan sambungan dapat dilakukan dengan mengkombinasikan penggunaan alat sambung baut dan perekat epoxy.

Kombinasi penggunaan alat sambung baut dan perekat epoxy dapat dilakukan dengan penempatan perekat epoxy pada bidang irisan sambungan dan baut yang dipasang tegak lurus sumbu batang di sambungan. Kombinasi ini diharapkan menambah nilai tahanan lateral sambungan akibat mekanisme gaya yang bekerja. Kombinasi lain yang akan dilakukan adalah penggunaan perekat epoxy pada lubang baut. Kombinasi ini diharapkan mampu mengurangi kerusakan pada lubang baut ketika menerima beban sehingga menambah kuat tumpu pada lubang baut.

Sambungan perpanjangan batang merupakan sambungan yang kerap dijumpai pada elemen struktur sautu bangunan. Umumnya suatu bangunan konstruksi kayu menggunakan kayu mutu tinggi sebagai elemen strukturnya. Hal ini menjadi alasan penulis memilih kayu Ulin sebagai media sambungan perpanjangan batang.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### B.1 Kayu Ulin

Kayu Ulin memiliki nama latin *Eusideroxylon zwageri teijsm & binn.* Berdasarkan Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI NI-5 1961), kayu Ulin termasuk ke dalam kayu kelas I (satu) dalam hal kekuatan dan keawetannya dengan berat kering udara rerata 1,04 gr/cm<sup>3</sup>. Oleh karena itu kayu Ulin memiliki ketahanan terhadap berbagai kondisi alam seperti pelapukan dan serangan serangga perusak kayu. Hal ini menjadikan kayu Ulin banyak diminati masyarakat sebagai konstruksi bangunan.

### B.2 Epoxy Resin

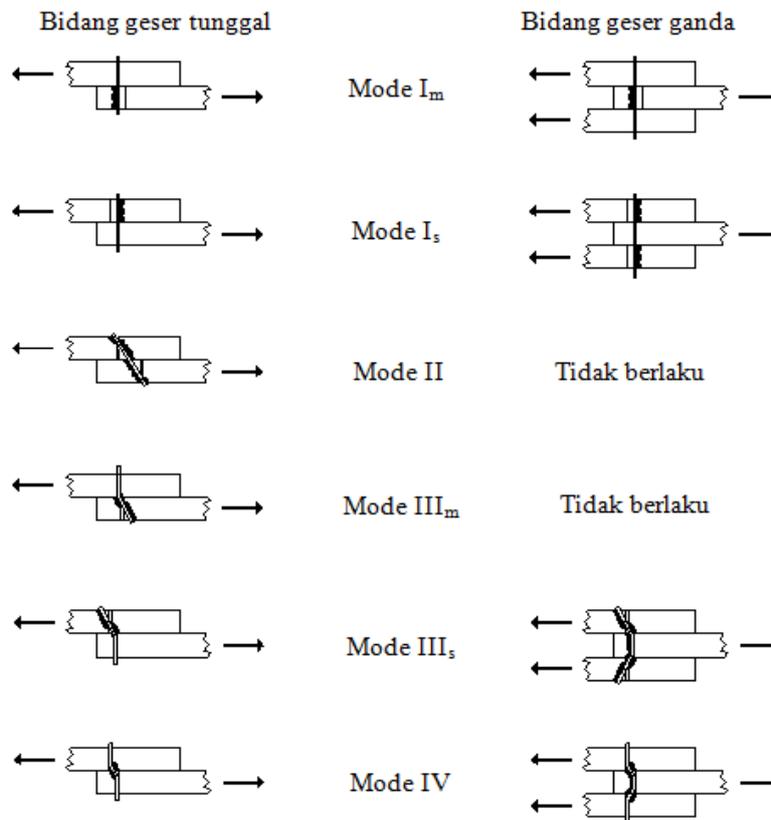
Perekat epoxy merupakan produk sintetik termoset dari resin poliepoкси dengan zat *hardener*/ pengeras (asam/basa). Perekat epoxy dapat diperoleh dalam bentuk sistem satu atau dua komponen. Sistem satu komponen meliputi resin cair bebas pelarut, larutan, pasta resin cair, bubuk, pallet dan pasta. Sistem dua komponen terdiri atas resin dan zat *hardener* yang dicampur pada saat akan digunakan. *Hardener* dilakukan pada suhu kamar (sehari) atau dengan pemanasan 60<sup>0</sup>C selama tiga jam, atau 20 menit pada suhu 100<sup>0</sup>C. Suhu-suhu tersebut tergantung pada zat *hardener* yang digunakan (Handayani. 2009).

### B.3 Sambungan

Pada dasarnya sambungan pada konstruksi kayu dibedakan menjadi dua macam yaitu sambungan titik pertemuan batang, dan sambungan perpanjangan batang. Sambungan titik pertemuan batang bertujuan untuk menyatukan kedua ujung batang atau lebih dengan arah sumbu batang yang tidak sama pada suatu titik pertemuan sehingga membentuk satu kesatuan dalam struktur bangunan. Sambungan titik pertemuan batang biasa dijumpai pada pertemuan *bracing* struktur kuda-kuda kayu, atau pada pertemuan antar balok dan kolom. Sambungan perpanjangan batang bertujuan untuk menyatukan kedua ujung batang dalam arah sumbu batang yang sama. Sambungan perpanjangan batang biasa dijumpai pada perpanjangan balok, dimana jika suatu bangunan memiliki bentang yang panjang sehingga diperlukan penyambungan.

#### B.3.1 Sambungan Baut

Terdapat empat ragam moda kelelahan sambungan dengan pasak/baut yang mungkin terjadi pada sambungan. Mode ragam kelelahan disajikan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Ragam-ragam Leleh Sambungan  
Sumber: SNI 7973-2013

1. Ragam leleh I: kayu hancur baik pada struktur samping maupun struktur utama dengan kekuatan baut lebih besar dari kekuatan kayu. Mode Im kayu utama yang hancur, sedangkan mode Is kayu sekunder yang hancur.
2. Ragam leleh II: kayu hancur lokal dekat muka balok kayu karena *pivoting*/berputarnya baut kaku terhadap bidang geser.
3. Ragam leleh III: baut leleh terhadap lentur dengan suatu titik sendi plastis per bidang geser dan dengan hancurnya kayu. Ragam kelelahan III<sub>m</sub> kayu utama yang hancur dan sendi baut plastis di kayu sekunder, sedangkan ragam III<sub>s</sub> kayu sekunder yang hancur dan sendi baut plastis di kayu utama.
4. Ragam leleh IV: baut leleh terhadap lentur dengan dua titik sendi plastis per bidang geser dan dengan hancurnya kayu.

Tabel 1. Persamaan Batas Leleh Sambungan Baut Bidang Geser Ganda.

Mode Kelelahan	Nilai Desain Lateral Acuan
Im	$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$ [1]
Is	$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$ [2]
II	
III <sub>m</sub>	
III <sub>s</sub>	$Z = \frac{2 K_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$ [3]
IV	$Z = \frac{2 D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}}$ [4]

Sumber: SNI 7973-2013

Catatan:

$$K_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1+R_e)}{R_e} + \frac{2 F_{yb} (2+R_e) D^2}{3 F_{em} \ell_s^2}} \dots [5]$$

- D = diameter baut, mm
- F<sub>yb</sub> = kekuatan leleh lentur pasak, MPa
- ℓ<sub>m</sub> = panjang tumpu pasak pada komponen struktur utama, mm
- ℓ<sub>s</sub> = panjang tumpu pasak pada komponen struktur samping, mm

- F<sub>em</sub> = kekuatan tumpu pasak pada komponen struktur utama, MPa
- F<sub>es</sub> = kekuatan tumpu pasak pada komponen struktur samping, MPa
- Re = F<sub>em</sub>/F<sub>es</sub>
- Rt = ℓ<sub>m</sub>/ℓ<sub>s</sub>
- Rd = syarat reduksi (lihat Tabel 2)

Tabel 2. Syarat Reduksi, Rd

Ukuran Pengencang	Ragam Kelelahan	Nilai Reduksi, Rd
6,35 mm ≤ D ≤ 25,4 mm	Im, Is	4 K <sub>θ</sub>
	II	3,6 K <sub>θ</sub>
	III <sub>m</sub> , III <sub>s</sub> , IV	3,2 K <sub>θ</sub>
D < 6,35 mm	Im, Is, II, III <sub>m</sub> , III <sub>s</sub> , IV	K <sub>D</sub> * <sup>1</sup>

dengan:

$$K_{\theta} = 1 + 0,25 (\theta/90)$$

θ = Sudut pembebanan maksimum terhadap serat (0 ≤ θ ≤ 90) untuk seluruh komponen struktur dalam satu sambungan

D = Diameter, mm

$$K_D = 2,2 \quad \text{untuk } D \leq 4,318 \text{ mm}$$

$$K_D = 10D + 0,5 \quad \text{untuk } 4,318 \text{ mm} < D < 6,35 \text{ mm}$$

Sumber: SNI 7973-2013

\*1. Untuk pengencang berulir dimana diameter nominal lebih dari atau sama dengan 6,35 mm dan diameter ujung kurang dari 6,35 mm, Rd = K<sub>D</sub> \* K<sub>θ</sub>

Nilai desain lateral acuan, Z, untuk sambungan perpanjangan batang dengan dua bidang geser simetri menggunakan pengencang tipe pasak harus diambil yang terkecil dari perhitungan nilai ragam kelelahan menggunakan persamaan pada Tabel 1. Parameter yang mempengaruhi nilai desain lateral acuan diantaranya adalah kuat tumpu pasak (F<sub>e</sub>), dan kuat leleh lentur baut (F<sub>yb</sub>).

### B.3.1.1 Kuat Tumpu Pasak

Berdasarkan SNI 7973-2013 tentang Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu, kuat tumpu pasak (F<sub>e</sub>) untuk komponen struktur kayu ditentukan sesuai ASTM D 5764. ASTM D 5764 – 97a menetapkan ukuran benda uji adalah 4D x 4D x 2D, (D= diameter baut). Berdasarkan SNI 7973-2013, nilai kuat tumpu pasak secara

teoritis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{e\parallel} = 100 G^{1,84}, D < 6,35 \text{ mm} \quad \dots [6]$$

$$F_{e\parallel} = 70 G, D > 6,35 \text{ mm} \quad \dots [7]$$

$$F_{e\perp} = 185 G^{1,45} \sqrt{D} \quad \dots [8]$$

Dimana :

F<sub>e∥</sub> = kuat tumpu pasak sejajar serat

F<sub>e⊥</sub> = kuat tumpu pasak tegak lurus serat

G = berat jenis kayu dihitung Berdasarkan berat dan volume kering

Untuk pengujian di laboratorium, benda uji kuat tumpu pasak dapat dibuat dalam dua model, yaitu model lubang penuh dan model lubang setengah. Kuat tumpu pasak pada komponen struktur kayu hasil pengujian laboratorium dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_e = \frac{P}{A} \quad \dots[9]$$

Dimana :

- $F_e$  = kuat tumpu pasak
- $P$  = beban *offset* 5% D yang ditentukan dari kurva *load-displacement*
- $A$  = luas bidang tekan =  $D \cdot 2D$
- $D$  = diameter baut

### B.3.1.2 Kuat Leleh Lentur Baut

Alat sambung baut pada umumnya digunakan pada sambungan dengan pembebanan secara lateral. SNI 7973-2013 (Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu) menerangkan bahwa kuat leleh lentur baut ( $F_{yb}$ ) untuk baut kira-kira ekuivalen dengan rata-rata kekuatan tarik dan kekuatan ultimit tarik,  $F_{yb} = F_y / 2 + F_u / 2$ . Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, SNI 7973-2013 juga mencantumkan nilai kuat leleh lentur baut, sekrup kunci (diameter  $\geq 9,25$  mm), dan pin dorong (SAE J429) adalah 310 MPa. Nilai tersebut tidak bergantung pada diameter baut.

SNI 7973-2013 (Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu) menerangkan bahwa standar pengujian leleh lentur pengencang mengacu pada ASTM F 1575 (*Standard Test Method for Determining Bending Yield Moment of Nails*) dengan metode *offset* 5% diameter (0,05D) dari kurva beban-deformasi yang diperoleh pada pengujian lentur pengencang. Kekuatan leleh lentur baut dihitung dengan rumus berikut:

$$F_{yb} = \frac{M_y}{S} \quad \dots[10]$$

Dimana :

- $F_{yb}$  = kekuatan leleh lentur baut
- $M_y$  = momen yang dihitung berdasarkan beban yang diperoleh pada pengujian,  $M_y = \frac{P L}{4}$
- $P$  = beban *offset* 5% D yang ditentukan dari kurva beban-deformasi
- $L$  = jarak tumpuan
- $S$  = modulus penampang efektif

untuk sendi plastis penuh,  
 $S = D^3 / 6$

$D$  = diameter baut

### B.3.2 Sambungan Perekat

Kekuatan pada sambungan perekat sangat dipengaruhi oleh jumlah perekat terlabur dan tekanan kempa. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan I Putu Eddy, perekatan paling optimum dan dapat dikatakan tercapai secara sempurna adalah saat kayu rusak 100% yaitu pada perekat terlabur 40 MDGL (Wicaksono, *et al.* 2017). Sedangkan besarnya tekanan yang diberikan menurut Tsoumis (1991) adalah sebesar 0,7 MPa untuk kayu-kayu lunak dan 1 MPa untuk kayu keras.

Satuan luas permukaan rekat ditentukan dengan satuan Inggris yaitu seribu kaki persegi (1.000 *square feet*) dengan sebutan MSGL (untuk perekatan satu sisi) dan MDGL (untuk perekatan dua sisi). Untuk perekatan dua sisi, jumlah perekat terlabur ditambah 10%. Dalam pengaplikasiannya, satuan perekat dikonversikan menjadi lebih sederhana yang disebut GPU (*gram pick up*) dengan formula sebagai berikut:

$$GPU = \frac{S A}{\text{konversi}} \quad \dots[11]$$

Keterangan:

- GPU = *gram pick up* (gram)
- $S$  = jumlah perekat yang dilaburkan dalam pound/ MSGL atau pound/ MDGL
- $A$  = luas bidang yang akan direkat (satu bidang irisan sambungan)

Konversi digunakan untuk mengonversi ke satuan luas yang akan digunakan.

$$\text{Inch}^2 = 317,5$$

$$\text{cm}^2 = 2.048,2$$

### B.3.3 Perkuatan Sambungan

Perkuatan sambungan pada konstruksi kayu merupakan suatu upaya untuk meningkatkan kemampuan sistem sambungan tertentu dalam melayani beban yang bekerja. Hal ini dilakukan mengingat sambungan merupakan titik terlemah dalam suatu konstruksi. Perkuatan

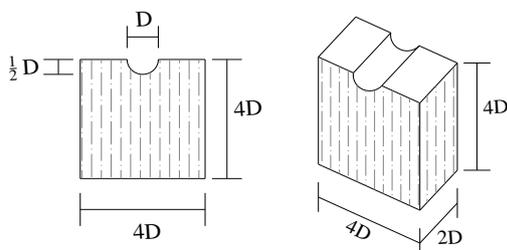
sambungan dapat dilakukan dengan melakukan kombinasi alat sambung yang digunakan dalam suatu sambungan maupun tata letak alat sambung dan panjang sambungannya.

### C. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan metode eksperimental laboratorium. Penelitian dilakukan di Laboratorium Konstruksi Kayu D3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau, dan Laboratorium *Quality Control* Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin Politeknik Kampar. Pengujian meliputi uji kuat tumpu pasak, uji kuat leleh lentur baut, dan uji kuat geser sambungan. Pengujian menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) merek HUANG TA HT-8503 kapasitas 20 ton.

#### C.1 Uji Kuat Tumpu Pasak

Benda uji kuat tumpu pasak dalam penelitian ini adalah model lubang setengah dengan pembebanan sejajar arah serat. Benda uji dibuat sebanyak 3 (tiga) buah. Diameter baut yang digunakan adalah 1/2", sehingga dimensi benda uji dibuat  $4(12,7) \times 4(12,7) \times 2(12,7) = 50,8 \text{ mm} \times 50,8 \text{ mm} \times 25,4 \text{ mm}$ . Kekuatan tumpu pasak ditentukan berdasarkan beban *offset* 5%D pada kurva *load-displacement* kemudian dibagi dengan luasan bidang kayu yang tertekan baut.



Gambar 2. Skema Benda Uji Kuat Tumpu Pasak Sejajar Serat untuk Komponen Struktur Kayu



Gambar 3. Benda Uji Kuat Tumpu Pasak Sejajar Arah Serat



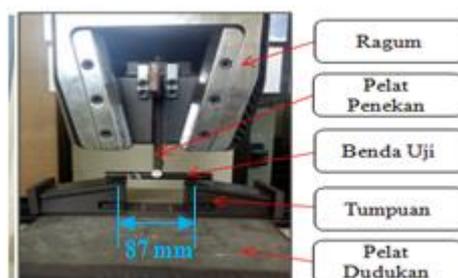
Gambar 4. *Set Up* Instrumentasi Pengujian Kuat Tumpu Pasak dengan Alat UTM

#### C.2 Uji Kuat Leleh Lentur Baut

Baut yang digunakan dalam penelitian ini adalah baut mutu biasa dengan diameter 1/2". Benda uji dibuat sebanyak 3 (tiga) batang baut. Bagian kepala baut dipotong agar memudahkan saat diletakkan di atas tumpuan. Jarak tumpuan ditentukan 87 mm.



Gambar 5. Benda Uji Kuat Leleh Lentur Baut



Gambar 6. *Set Up* Instrumentasi Pengujian Kuat Leleh Lentur Baut

#### C.3 Geomterik Sambungan

Sambungan perpanjangan batang kayu Ulin terdiri dari tiga variabel bebas

yaitu U1, U2, dan U3 yang diuraikan secara berurut sebagai berikut:

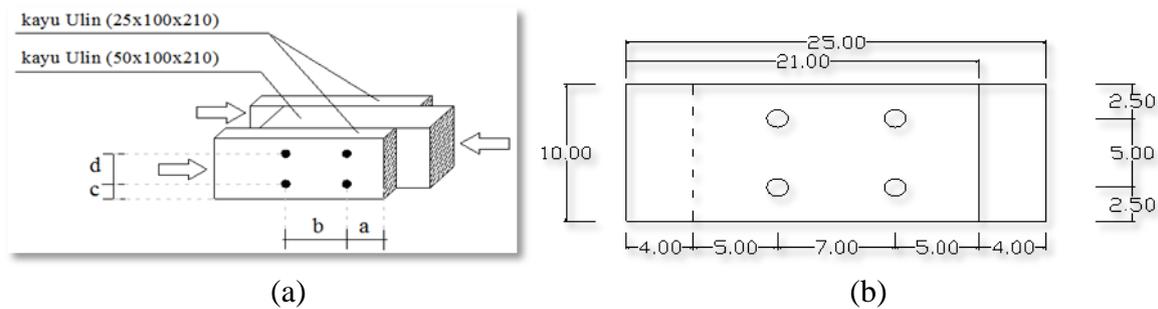
1. U1 yaitu sambungan perpanjangan batang kayu Ulin dengan alat sambung baut.
2. U2 yaitu sambungan perpanjangan batang kayu Ulin dengan kombinasi alat sambung baut dan perekat epoxy pada lubang baut.
3. U3 yaitu sambungan perpanjangan batang kayu Ulin dengan dengan

kombinasi alat sambung baut dan perekat epoxy pada bidang irisan sambungan.

Jumlah benda uji untuk masing-masing variabel dalam pengujian ini dibuat sebanyak 3 (tiga) buah. Geometrik dan ukuran baut pada masing-masing variabel sambungan adalah sama. Geometrik sambungan disajikan pada Tabel 3. Bentuk dan ukuran disajikan pada Gambar 7.

Tabel 3. Geometrik Sambungan Baut

No.	Jarak yang Diatur	Arah Pembebanan	Jarak Minimum <sup>1</sup> untuk $C_{\Delta}=1$	Jarak Aktual
1.	Jarak ujung (a)	Tekan sejajar serat	$4D= 50,8 \text{ mm}$	50 mm
2.	Jarak pengencang dalam satu baris (b)	Sejajar serat	$4D= 50,8 \text{ mm}$	70 mm
3.	Jarak tepi (c)	Sejajar serat, $L_m/D \leq 6$ , atau $L_s/D \leq 6$	$1,5D= 19,1 \text{ mm}$	25 mm
4.	Jarak minimum antar baris (d)	Paralel terhadap serat	$1,5D= 19,1 \text{ mm}$	50 mm



Gambar 7. Geometrik Sambungan Baut

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa jarak ujung aktual lebih kecil dari jarak ujung minimal untuk  $C_{\Delta} = 1$ . Oleh karena itu maka pada point a (jarak ujung), faktor geometrik harus ditentukan sebagai berikut:

$$C_{\Delta} = \frac{\text{Jarak Ujung Aktual}}{\text{Jarak Ujung Minimum untuk } C_{\Delta}=1}$$

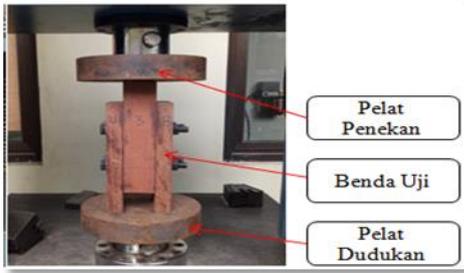
$$C_{\Delta} = \frac{50 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}}$$

$$= 0,98$$

Dengan demikian, nilai tahanan lateral acuan teoritis sambungan perpanjangan batang kayu Ulin harus dikalikan dengan faktor geometrik  $C_{\Delta} = 0,98$ .

#### C.4 Uji Kuat Geser Sambungan

Pengujian sambungan dilakukan dalam skala penuh/ skala prototipe. *Set up* instrumentasi pengujian disajikan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 3.8 Set Up Instrumentasi Pengujian Sambungan

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### D.1 Kuat Tumpu Pasak

Kuat tumpu pasak ( $F_{e\parallel}$ ) merupakan salah satu parameter yang menentukan

Tabel 4. Nilai Kuat Tumpu Pasak Kayu Ulin

No.	Kode Benda Uji	Diameter Baut (mm)	$P_{max}$ (N)	$P_{offset\ 5\%}$ (N)	$F_{e\parallel}$ (MPa)
1	KT1	12,7	15.727,5	15.125	46,88
2	KT2	12,7	14.853,2	14.300	44,33
3	KT3	12,7	15.432,5	14.600	45,26
Rerata			15.337,7	14.675	45,49

Berdasarkan Tabel 4 diketahui nilai kuat tumpu pasak sejajar serat kayu Ulin hasil pengujian di laboratorium adalah 45,49 MPa. Berat jenis (G) rerata kayu Ulin berdasarkan PKKI 1961 adalah 1,04. Nilai kuat tumpu pasak sejajar arah serat kayu Ulin secara teoritis adalah:

$$\begin{aligned}
 F_{e\parallel} &= 70 G \\
 &= 70 * 1,04 \\
 &= 72,8 \text{ MPa.}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diketahui bahwa nilai kuat tumpu pasak sejajar arah serat kayu Ulin hasil pengujian laboratorium lebih kecil 37,5 % dari nilai yang diperoleh secara teoritis. Perbedaan ini bisa disebabkan karena sifat non-homogen kayu, sehingga suatu jenis kayu yang sama

nilai tahanan lateral (Z) pada sambungan. Mekanisme gaya yang bekerja pada sambungan perpanjangan batang yang di desain dalam penelitian ini adalah sejajar arah serat. Benda uji dalam penelitian ini dibuat sebanyak tiga ulangan yaitu KT1, KT2 dan KT3. Nilai kuat tumpu pasak kayu Ulin ditentukan berdasarkan beban *offset* 5% D dari kurva *load-displacement*. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, diperoleh data sebagai berikut.

memiliki berat jenis yang berbeda. Hal ini tentu mempengaruhi nilai kuat tumpu kayu.

### D.2 Kuat Leleh Lentur Baut

Parameter lain yang menentukan nilai tahanan lateral (Z) pada sambungan kayu dengan baut adalah nilai kuat leleh lentur baut ( $F_{yb}$ ). Dalam penelitian ini, benda uji kuat leleh lentur baut dibuat sebanyak tiga ulangan yaitu L1, L2 dan L3. Nilai kuat leleh lentur baut ( $F_{yb}$ ) ditentukan berdasarkan beban *offset* 5%D dari kurva *load-displacement*. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 5. Beban Maksimum dan Beban *Offset* 5%D Kuat Leleh Lentur Baut

No.	Kode Benda Uji	Diameter Baut (mm)	Jarak Tumpuan (mm)	$P_{max}$ (N)	$P_{offset\ 5\%}$ (N)	$F_{yb}$ (MPa)
1	L1	12,7	87	5.462,7	4.110	261,84
2	L2	12,7	87	6.062,9	4.700	299,43
3	L3	12,7	87	6.090,7	4.750	302,62
Rerata				5.872,1	4.520	287,69

Berdasarkan Tabel 5 di atas diketahui nilai kuat leleh lentur baut yang digunakan dalam penelitian ini adalah 287,96 MPa. Kuat leleh lentur baut hasil pengujian dalam penelitian ini lebih kecil dari yang tercantum dalam SNI 7973:2013 yaitu 310 MPa.

### D.3 Tahanan Lateral Teoritis Sambungan Baut

Nilai tahanan lateral teoritis sambungan baut untuk satu buah baut dihitung berdasarkan persamaan pada Tabel 1. Selanjutnya nilai tahanan lateral harus diambil yang terkecil dari perhitungan nilai ragam kelelahan menggunakan persamaan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan pada Tabel 1 diketahui bahwa nilai terkecil ada pada ragam kelelahan IIIs yaitu 5.102,743 N. Dengan demikian tahanan lateral acuan sambungan perpanjangan batang kayu Ulin dengan alat sambung empat buah baut adalah:

$$Z = 5.102,743 \text{ N} * 4 \\ = 20.410,972 \text{ N}$$

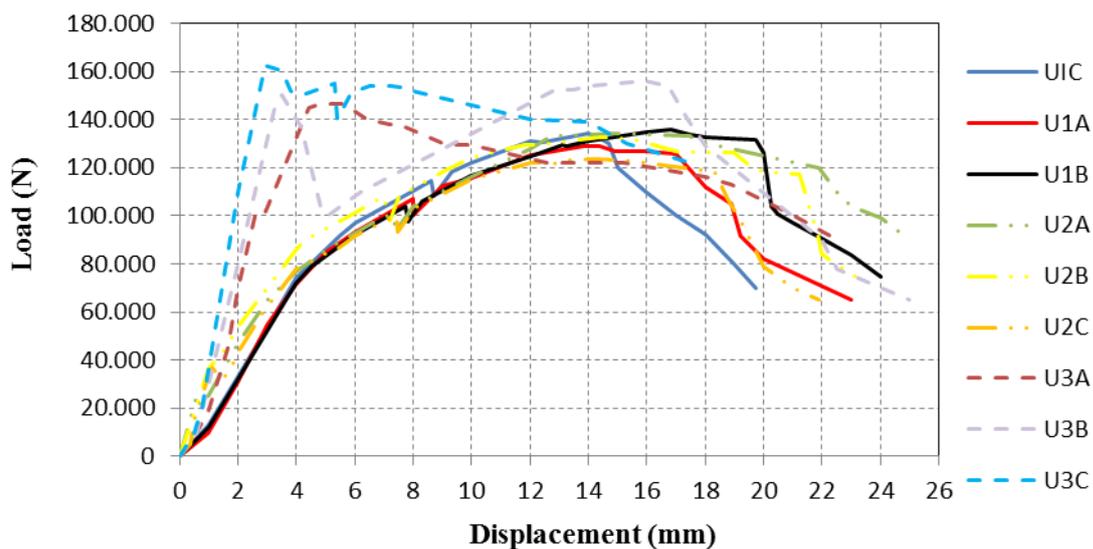
Nilai tahanan lateral acuan tersebut perlu dikalikan dengan faktor koreksi. Berdasarkan desain awal yang dibahas dalam point C.3, nilai tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan faktor geometrik  $C_{\Delta} = 0,98$ . Dengan demikian nilai tahanan lateral (geser) acuan teoritis terkoreksi sambungan perpanjangan batang kayu Ulin dengan alat sambung baut adalah:

$$Z = 20.410,972 \text{ N} * 0,98 \\ = 20.002,8 \text{ N}$$

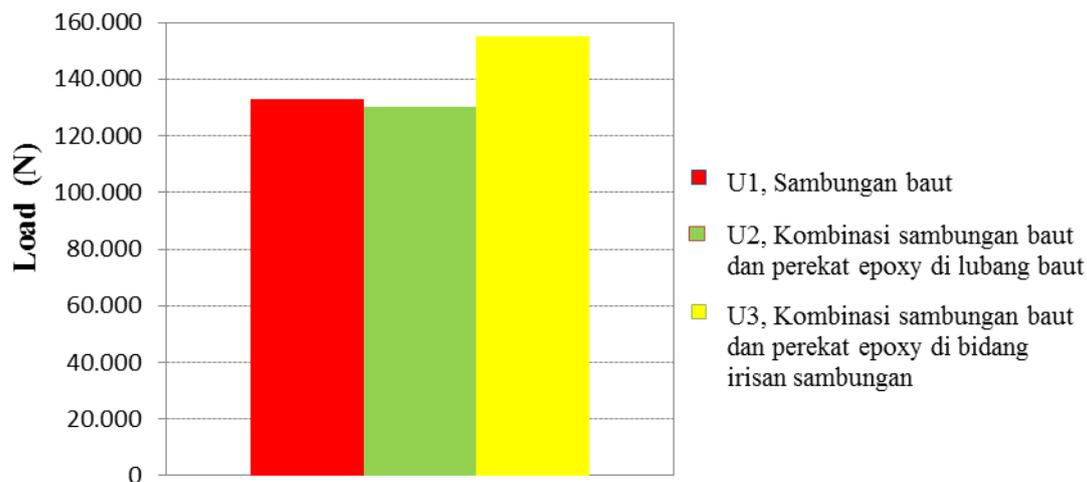
Mode kelelahan sambungan yang diketahui berdasarkan perhitungan teoritis adalah IIIs. Pada mode kelelahan IIIs baut leleh terhadap lentur dengan suatu titik sendi plastis per bidang geser pada kayu utama, dan diikuti hancurnya kayu sekunder.

### D.4 Tahanan Lateral Sambungan Baut Uji Laboratorium

Berdasarkan hasil pengujian kuat geser sambungan perpanjangan batang kayu Ulin di laboratorium, diperoleh kurva *load-displacement* gabungan masing-masing variabel sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik Gabungan Kuat Geser Sambungan



Gambar 10. Beban Maksimum Rerata pada Masing-Masing Variabel Sambungan

#### D.4.1 Sambungan Baut

Berdasarkan bentuk dari ketiga kurva hasil pengujian pada sambungan baut (U1), terdapat patahan pada deformasi 1 mm pertama dengan beban berkisar pada 10.000 N. Kondisi ini dikarenakan adanya penyesuaian lubang baut. Pada kondisi ini beban awal yang diterima benda uji tidak langsung diterima secara sempurna oleh tumpuan baut. Adanya celah antara lubang baut dengan baut memberikan deformasi yang lebih panjang sementara penambahan beban sedikit pada deformasi 1 mm pertama. Setelah baut tertumpu pada kayu, maka kayu dapat menahan gaya yang disalurkan oleh baut secara sempurna. Sehingga setiap peningkatan beban, deformasi yang terjadi cenderung lebih pendek hingga sampai pada titik leleh.

Berdasarkan perhitungan tahanan lateral sambungan secara teoritis, ragam kelelahan yang terjadi pada sambungan baut adalah mode IIIs. Kondisi ini sama dengan uji laboratorium. Pada saat pengujian baut mengalami lentur akibat desakan dari kayu utama. Selanjutnya pada saat kondisi plastis dimana beban

maksimum bekerja, kayu samping pecah dimulai dari kerusakan pada lubang baut serta pada bagian kepala baut dan reng mur baut pada kayu samping. Retak pertama yang terjadi pada lubang baut memberi bentuk lekukan pada kurva di *displacement*  $\pm$  8 mm. Pembebanan tetap dilanjutkan sampai benda uji rusak.



Gambar 11. Benda Uji Variabel 1 Setelah Pengujian

#### D.4.2 Kombinasi Sambungan Baut dan Perekat Epoxy di Lubang Baut

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan perekat epoxy pada lubang baut mampu menahan beban yang lebih tinggi pada pembebanan awal. Hal ini dapat dilihat pada deformasi 1 mm pertama, sambungan mampu menahan

beban berkisar 25.000 N sampai dengan 32.000 N. Hal ini dikarenakan pada saat pembebanan awal, gaya yang mendesak baut selanjutnya ditahan langsung oleh perekat pada celah lubang baut. Namun penambahan perekat epoxy pada lubang baut tidak dapat bekerja dengan baik guna mencegah rusaknya kayu pada lubang baut untuk menambah kekuatan sambungan. Hal ini dikarenakan perekat epoxy yang ditempatkan pada lubang baut tidak mengisi celah antara baut dan kayu dengan sempurna. Penambahan jumlah perekat pada lubang baut juga tidak bisa mengatasi kendala tersebut. Hal ini dikarenakan perekat yang sudah ditempatkan pada lubang baut, sebagian akan terdorong keluar oleh ulir baut saat baut dipasang.



Gambar 12. Benda Uji Variabel 2 Setelah Pengujian

#### D.4.3 Kombinasi Sambungan Baut dan Perekat Epoxy di Bidang Irisan Sambungan

Kelelahan yang terjadi pada sambungan variabel 3 (U3), diawali dengan kerusakan yang terjadi pada permukaan bidang irisan kayu samping. Dimana pada bidang irisan sambungan yang diperkuat dengan perekat, sebagian terbentuk garis perekat pejal. Perekat menunjukkan mampu menahan beban yang diberi dari desakan kayu utama. Setelah menerima beban maksimum, selanjutnya kayu samping rusak. Baut mengalami lentur akibat desakan dari kayu utama. Selanjutnya pada saat kondisi plastis dimana beban maksimum bekerja, kayu samping

pecah dimulai dari kerusakan pada lubang baut serta pada bagian kepala baut dan reng mur baut pada kayu samping. Kondisi ini menunjukkan ragam kelelahan IIIs.

Kerusakan pada kayu samping tidak semuanya menunjukkan garis perekat pejal pada bidang rekatan. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya jumlah perekat terlabur yang digunakan, atau tingkat kemudahan kayu Ulin untuk direkat. Kurva *load-displacement* untuk variabel 3 (U3) pada Gambar 9, bisa dilihat bahwa beban puncak yang ditahan sambungan baut yang diperkuat dengan perekat pada bidang irisan, berada pada *displacement* 3-5 mm. Dengan beban puncak lebih tinggi dan deformasi yang lebih pendek dibandingkan pada sambungan baut, keruntuhan sambungan variabel 3 dinyatakan getas.



Gambar 13. Benda Uji Variabel 3 Setelah Pengujian

Beban puncak merata pada masing-masing variabel hasil uji laboratorium adalah nilai tahanan lateral ultimit. Untuk mendapatkan tahanan lateral izin, maka tahanan lateral hasil uji lab perlu dibagi dengan syarat reduksi ( $R_d$ ) untuk mode IIIs. Perhitungan diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_d &= 3,2 K_\theta \\ &= 3,2 [1 + 0,25 (\theta/90^\circ)] \\ &= 3,2 [1 + 0,25 (0^\circ/90^\circ)] \\ &= 3,2 \end{aligned}$$

Ringkasan hasil pengujian kuat geser sambungan perpanjangan batang kayu Ulin pada masing-masing variabel disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Laboratorium Kuat Geser Sambungan

Kode Benda Uji	$P_{max}$ (N)	$P_{max}$ Rerata (N)	$P_{izin} = P_{max}$ Rerata/ $R_d$ (N)	Keterangan
U1A	128.924,2			Sambungan baut
U1B	135.828,0	132.981,80	41.556,81	
U1C	134.193,2			
U2A	134.167,0			Sambungan baut dan perekat epoxy di lubang baut
U2B	132.648,8	130.069,93	40.646,85	
U2C	123.394,0			
U3A	146.630,8			Sambungan baut dan perekat epoxy di bidang irisan
U3B	156.244,3	155.075,83	48.461,20	
U3C	162.352,4			

Berdasarkan Tabel 6, diketahui tahanan lateran izin rerata untuk sambungan baut (U1) hasil uji laboratorium adalah 41.556,81 N. Nilai tersebut lebih besar 108% dari tahanan lateral sambungan baut secara teoritis yaitu  $Z=20.002,8$  N.

Tahanan lateral izin rerata sambungan baut yang diperkuat dengan perekat epoxy pada lubang baut (U2), tidak berbeda nyata dengan tahanan lateral izin rerata sambungan baut (U1). Tahanan lateral izin rerata sambungan baut yang diperkuat dengan perekat epoxy pada bidang irisan (U3), lebih besar 108% terhadap tahanan lateral izin rerata sambungan baut (U1).

## E. PENUTUP

### E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan pembahasan dalam penelitian ini, penulis menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Mode kelelahan secara teoritis yang terjadi pada sambungan perpanjangan batang kayu Ulin dengan alat sambung baut, sama dengan mode kelelahan yang terjadi pada hasil pengujian laboratorium, yaitu mode IIIs.
2. Tahanan lateral izin sambungan baut hasil uji laboratorium lebih besar 108 % dibandingkan tahanan lateral izin sambungan baut secara teoritis.

3. Penambahan perekat epoxy pada lubang baut tidak memberikan perkuatan yang nyata pada sambungan perpanjangan batang kayu Ulin dengan alat sambung baut.
4. Penambahan perekat epoxy dengan jumlah 40 MDGL pada bidang irisan sambungan, memberikan perkuatan sebesar 16,6% pada sambungan perpanjangan batang kayu Ulin dengan alat sambung baut.

### E.2 Saran

Berdasarkan proses dan hasil bahasan dalam penelitian ini, untuk kesempurnaan penelitian selanjutnya penulis ingin mengemukakan saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan pengujian sambungan dengan perekat epoxy pada bidang irisan. Hal ini bertujuan untuk membandingkan dengan sambungan baut yang diperkuat dengan perekat epoxy pada bidang irisan.
2. Penggunaan sambungan perekat dalam konstruksi perlu dipertimbangkan karena sifatnya yang getas.
3. Perlunya kecermatan dalam pemilihan secara visual terhadap kayu yang akan digunakan untuk penelitian.
4. Perlunya ketelitian dalam pembuatan benda uji sambungan meliputi ukuran potongan kayu, ketebalan kayu, geometrik lubang baut, dan perakitan.

Hal ini bertujuan agar sambungan dapat menerima beban yang bekerja secara kompak.

5. Perlunya memeriksa kondisi peralatan yang akan digunakan.
6. Mempelajari tata cara penggunaan peralatan penelitian secara seksama.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2003. Annual Book of ASTM Standard Volume 0301. Wood. F1575-03 (Reapproved 2002): Standard Test Method for Determining Bending Yield Moment of Nails. USA.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2010. Annual Book of ASTM Standars. Section Four: Construction. Volume 0410. Wood. D-5764-10 (Reapproved 2010): Standard Test Methods for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products. Philadelphia (PA) : ASTM.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2013, SNI-7973:2013 *Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu*: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2000, SNI-03:2000 *Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu untuk Bangunan Gedung*: Bandung.
- Basuki, *et al*, 2015, *Sambungan Batang Tekan dan Momen Lentur Laminated Veneer Lumber (LVL) Kayu Sengon (Paraserianthes falcataria) dengan Alat Pengencang Baut*, e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, Maret 2015.
- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Ciptakarya, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1961, PKKI NI-5:1961. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia*.
- Handayani, S., 2009, *Metoda Perekatan Dengan Lem Pada Sambungan Pelebaran Kayu*. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan, Nomor 1 Volume 11.
- Herawati, E., Sadiyo, S., Nugroho, N., Karlinasari, L., Yoresta, S. F., 2017, *Karakteristik Kekuatan Leleh Lentur Baut Besi dengan Beberapa Variasi Diameter Baut*, Jurnal Teoritis dan Terapan Rekayasa Sipil, ISSN 0853-2982.
- Fakhri, 2007, *Konstruksi Kayu*. Pusat Pengembangan Pendidikan Universitas Riau: Pekanbaru.
- Frick, H., 1982. *Ilmu Konstruksi Bangunan Kayu*. Kansius: Yogyakarta.
- Martawijaya A, Kartasujana I, Mandang YI, Prawira SA, Kadir K, 1989, *Atlas Kayu Indonesia; Jilid II*, Departemen Kehutanan: Jakarta.
- Setiasih, K., 2018, *Kekuatan Sambungan Geser Tunggal Kayu Keruing (Dipterocarpus spp.) dan Meranti (Shorea spp.) Menurut Diameter dan Jenis Paku* [Skripsi], Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sulistiyawati, I., 2004, *Pengaruh Konektor Geser Terhadap Sambungan Laminasi Kayu Akibat Gaya Tekan Aksial*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan 2004, ISSN 1411-2213: Serpong.
- Sadiyo, S., Susanto, D., Pratiwi, N. E. S., 2017, *Nilai Kekuatan Kuat Tumpu Baut pada Empat Jenis Kayu Rakyat Indonesia*, Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol.24 No.2 Agustus 2017
- Tsouis, G., 1991, *Science and Technology of Wood*, Vannostrand Reinhold: Newyork.
- Wicaksono, T. M., Awaludin, A., Siswosukarto, S., 2017, *Analisis Perkuatan Lentur Balok Kayu Sengon dengan Sistem Komposit Balok Sandwich (Lamina dan Plate)*, INERSIA, Vol. XIII No. 2, Desember 2017.

Widyawati, R., 2009, *Perbandingan Kekuatan Butt Joint dan Scarf Joint pada Kayu dengan Alat Sambung Perekat*, Jurnal Rekayasa Vol.13 No.1, April 2009.

Wirjomartono, Suwarno, 1976, *Konstruksi Kayu*, Yogyakarta: UGM

Zumarlin, A., 2011, *Keawetan Alami Kayu Ulin (Eusideroxylon zwageri T. etB.) pada Umur yang Berbeda dari Hutan Tanaman di Kalimantan Selatan* [Skripsi], Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor