

PERKUATAN SAMBUNGAN PERPANJANGAN BATANG KAYU RESAK DENGAN KOMBINASI BAUT DAN PEREKAT EPOXY

Yogi Saputra¹⁾, Fakhri²⁾, Alfian Kamaldi²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : yogi.saputra5861@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Resak is local wood originated from Indonesia, this wood is classified as class II for its strength and class III for its durability according to (PKKI 1961 NI-5). Three type of connections were observed in this study, they were U1, U2, and U3. U1 was the bolt connection, U2 was the combination of bolt with adhesive on the slice plane, while U3 was the combination of bolt with adhesive on the bolt hole. This study aims to study the shear strength of wood connection with respective connection models by being tested using a tool Universal Testing Machine (UTM). The test results showed that the shear strength of the combination of bolt with adhesive on the slice plane showed a strength increase of about + 31.02%. For the combination of bolt with adhesive on the bolt hole did not increase, even decreased by -13.86%. the connection bolt and adhesive connection in the slice plane show good gluing performance making it suitable for large capacity connection designs and increase connection reinforcement.

Keywords: Wood resak, reinforcement joints, extension joints, bolts, epoxy adhesives.

A. PENDAHULUAN

Kayu resak atau nama latinnya *Vatica Rassak* merupakan kayu asli Indonesia yang tumbuhnya tersebar diseluruh wilayah Indonesia. Terutama untuk wilayah Pekanbaru, kayu ini banyak digunakan pada konstruksi kuda-kuda dan kozen pintu jendela rumah. Pemakaian kayu pada konstruksi sangat mempertimbangkan kelebihan dan kekurangannya.

Kayu yang digunakan untuk pekerjaan konstruksi struktural harus memenuhi kekuatan, ketahanan, dan kestabilan tertentu terutama bagi kayu yang mempunyai sambungan. Sambungan adalah bagian dari konstruksi yang menghubungkan sejumlah elemen yang diperlukan dalam rangka mendapatkan dimensi kayu sesuai kebutuhan dan membentuk suatu sistem struktur dari beberapa elemen kayu (Herawati, 2018). Sambungan pada elemen struktur kayu

sangat diperlukan untuk memenuhi dimensi panjang perencanaan struktur kayu di lapangan, karena kayu yang ada dipasaran hanya mempunyai ukuran panjang 2m dan 4m.

Macam-macam sambungan konstruksi kayu pada dasarnya dapat dibedakan dengan sambungan titik pertemuan batang dan sambungan perpanjangan batang. Sambungan titik pertemuan batang dapat dilihat pada konstruksi kuda-kuda kayu, pertemuan antara balok tarik dengan kaki kuda-kuda serta tiang kuda-kuda dan pada sambungan perpanjangan batang dapat dilihat pada bentangan kayu yang melebihi panjang dari 4 meter atau panjang kayu tidak sampai untuk memenuhi panjang konstruksi.

Pemilihan jenis alat sambung konstruksi kayu yang tepat, sangat mempertimbangkan beban yang bekerja. Menurut (Brown, *et al.*, 1952), fungsi alat sambung adalah sebagai penyambung dan

penghantar gaya yang bekerja pada satu bagian kebagian lain dari sambungan, satu bagian kebagian lain tersebut masing masing merupakan satu kesatuan.

Alat sambung baut pada konstruksi kayu sangat umum digunakan di Indonesia karena penggunaan sambungan baut sangat praktis dan mudah diaplikasikan, tetapi memiliki kekurangan, deformasinya besar (bergesernya sambungan akibat beban), serta mengurangi volume kayu karena dilakukan pengeboran untuk lubang baut.

Alat sambung yang tidak mengurangi luas tampang/ volume kayu adalah alat sambung perekat. Menurut (Handayani, 2009), kelemahan alat sambung dengan perekat merupakan 0%, karena tidak mengurangi volume kayu sebagaimana penggunaan alat sambung yang lain. Perekat dipakai untuk mengikat kayu itu dengan sambungan yang telah dibuat, membuat kayu bertambah kaku dan pengaplikasiannya juga praktis, tetapi sambungan perekat juga mempunyai kekurangan yaitu lebih getas, akan mengalami keruntuhan tiba-tiba jika sudah mencapai batas beban layan yang diterima sambungan.

Pemakaian alat sambung baut dan alat sambung perekat mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing tersebut, maka dari itu pengujian ini dilakukan untuk menguji sambungan kayu tersebut dengan mengkombinasikan kedua alat sambung tersebut. Hal yang ingin diketahui adalah apakah dengan penggunaan kombinasi alat sambung baut dan alat sambung perekat diperoleh nilai kekuatan yang lebih dan juga membuat sambungan yang lebih kaku untuk mengurangi deformasi terhadap gaya yang diterima oleh sambungan kombinasi tersebut.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Kayu Resak

Kayu resak adalah salah satu tanaman asli Indonesia yang mempunyai nama latin

Vatica Rassak. Kayu ini tumbuh di daerah seluruh Sumatera kecuali Lampung, seluruh Kalimantan, Sulawesi, Jawa Barat, Maluku, Irian Jaya. Kayu resak cocok untuk tiang dalam tanah maupun air, dapat juga dipakai untuk balok, rusuk maupun papan pada bangunan, kayu pertambangan, lantai, balok gerbong, tiang listrik dan perkapalan. Berdasarkan berat jenis dan kelas kuat kayu resak digolongkan kayu kelas II dan mempunyai kelas keawetan III (PKKI NI-5 1961) dan (Martawijaya, *et al.* 2005).

B.2 Sambungan Kayu

Sambungan kayu adalah sebuah konstruksi untuk menyatukan dua atau lebih batang kayu untuk memenuhi kebutuhan panjang, lebar ataupun tinggi tertentu dengan bentuk konstruksi yang sesuai dengan gaya-gaya yang akan bekerja pada batang kayu.

Menurut Fakhri (2007) sambungan pada konstruksi kayu dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- a. Sambungan titik pertemuan batang.
- b. Sambungan perpanjangan batang.

Macam-macam sambungan di atas dapat disimpulkan bahwa penyambungan kayu merupakan bentuk struktur kayu yang akan direncanakan sesuai tujuan penyambungan. Sambungan titik pertemuan batang adalah dua batang kayu atau lebih yang disatukan dengan arah sumbu yang berbeda hingga membentuk satu kesatuan konstruksi bangunan. Sedangkan sambungan perpanjangan batang merupakan dua batang kayu yang disatukan dengan arah sumbu yang sejajar dan diapit dengan kayu yang disambung.

B.3 Sambungan Kayu dengan Baut

Pada (PKKI 1961 NI-5) dan (SNI 7973:2013), sambungan kayu dengan baut dibagi menjadi dua, yaitu sambungan dengan baut bertampang satu dan sambungan dengan baut bertampang dua serta diperhitungkan untuk menahan

beban yang sejajar serat, tegak lurus, dan membentuk sudut terhadap serat kayu.

Sambungan kayu menggunakan baut merupakan alat sambung yang praktis dikerjakan tetapi memiliki kekurangan deformasinya besar (bergesernya sambungan akibat beban), efisiensi rendah 30%, dan perlemahannya cukup besar.

Dalam (PKKI 1961 NI-5), syarat syarat sambungan baut berikut ini :

- Baut terbuat dari baja ST. 37 atau setara.
- Kelonggaran lobang baut tidak boleh lebih dari 1,5mm
- Diameter paling kecil 10mm (3/8"), dan untuk sambungan dengan tebal kayu lebih dari 8cm harus memakai baut diameter minimum 12,7mm (1/2").
- Baut harus dilengkapi dengan plat ikutan (ring penutup) tebal minimum 0,3D, maksimum 5mm, dan garis tengah 3D

B.3.1 Kuat Leleh Lentur Baut

Baut adalah suatu alat sambung mekanis atau pengencang yang digunakan pada sambungan konstruksi kayu, kekuatan sambungan baut ditentukan dengan tegangan lentur baut.

Berdasarkan penelitian menurut SNI 7973-2013 menunjukkan bahwa kuat leleh lentur untuk baut kira-kira ekuivalen dengan rata-rata kekuatan tarik dan kekuatan ultimit tarik, yaitu :

$$F_{yb} = \frac{F_y}{2} + \frac{F_u}{2} \quad (1)$$

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 *load-displacement* yang diperoleh pada pengujian lentur pengencang. Berikut rumus kekuatan leleh lentur sebagai berikut:

$$F_{yb} = \frac{M_y}{S} \quad (2)$$

Dimana :

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

M_y = Momen yang dihitung berdasarkan beban yang pada pengujian.

($M_y = \frac{P L}{4}$), P = Beban pada kurva beban-deformasi *offset* 5% diameter baut, L = Jarak tumpuan saat pengujian baut (mm).

S = Modulus penampang plastis efektif untuk sendi plastis penuh.

($S = D^3 / 6$, D = diameter baut)

B.3.2 Kuat Tumpu Pasak Sejajar Serat

Kuat tumpu pasak sejajar serat merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan kuat tumpu pasak dari kayu yang telah kita uji di laboratorium.

Cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan kuat tumpu pasak ada 2 yaitu dengan cara pengujian laboratorium dan berdasarkan berat jenis kayu yang kita pakai yang dapat dilihat pada (SNI 7973:2013).

Metode pengujian laboratorium merupakan kemampuan kayu menahan beban tekan maksimum secara vertikal sampai kayu terjadi kerusakan. Besarnya nilai tekan maksimum sejajar serat kayu dapat dihitung dengan rumus :

$$F_{e\parallel} = \frac{P}{D \times t} \quad (3)$$

Dimana :

$F_{e\parallel}$ = Kuat tekan sejajar serat (MPa)

P = Beban yang telah ditentukan dari kurva beban – deformasi dengan *offset* 5% diameter baut (N).

D = Diameter baut (mm).

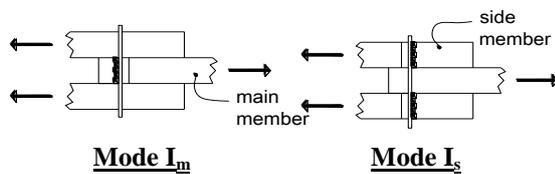
t = Tebal kayu penumpu (mm).

Pengujian kuat tumpu sejajar serat ini sesuai dengan ASTM D 5764-97a, dengan diatur dimensi benda uji yaitu 4D x 4D x 2D (D = diameter baut). Benda uji dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu dengan metode lubang penuh dan setengah lubang. Pada penelitian ini, penulis memakai metode setengah lubang

B.3.3 Kuat Tumpu Pasak Sejajar Serat

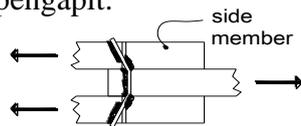
Sambungan kayu bertampang tunggal atau satu terdiri dari satu *side member* yang mengapit *main member* dan sambungan bertampang ganda atau dua terdiri dari dua *side member* yang mengapit *main member*. Pada penelitian ini penulis menggunakan sambungan kayu bertampang ganda.

Macam-macam mode kelelahan sambungan kayu dengan baut dan pasak yang mungkin terjadi pada sambungan berpenampang ganda adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Mode Kerusakan I_m dan I_s pada Sambungan Kayu Geser Ganda

Kerusakan mode I semata-mata terjadi pada kayu, baik pada *main member* ataupun *side member* dimana kerusakan mode ini dikategorikan sebagai kekuatan baut lebih besar dari kekuatan kayu. Mode I_m adalah kerusakan yang terjadi pada *main member* sedangkan mode I_s adalah kerusakan yang terjadi pada *side member* atau kayu pengapit.



Gambar 2. Mode Kerusakan IIIs pada Sambungan Kayu Geser Ganda.

Mode kerusakan IIIs adalah kerusakan yang terjadi pada kayu dan alat sambung yang leleh permanen. Pada mode kerusakan ini, kayu yang mengalami kerusakan pada *side member* dimana alat sambung baut leleh terhadap lentur dengan satu sendi plastis, tetapi tidak terjadi kerusakan pada *main member*.



Gambar 3. Mode Kerusakan IV pada Sambungan Kayu Geser Ganda.

Mode kerusakan IV adalah kerusakan yang terjadi hancurnya kayu dan pada alat sambung dimana baut leleh lentur dengan dua titik sendi plastis per bidang geser.

B.3.4 Faktor Koreksi Terhadap Nilai Desain Acuan

Faktor koreksi terhadap nilai desain acuan merupakan tahanan lateral acuan (Z) yang dikali dengan semua faktor koreksi yang berlaku untuk menentukan nilai desain terkoreksi. Beban yang bekerja pada suatu sambungan tidak boleh lebih dari nilai desain terkoreksi untuk sambungan. Macam-macam faktor koreksi yang dipakai untuk sambungan baut dengan komponen samping kayu berikut ini :

- Faktor Geometrik (C_{Δ}).
- Faktor Serat Ujung (C_{eg})
- Faktor Diafragma (C_{di})

B.4 Perekat

Bahan perekat berfungsi sebagai bahan penyambungan antara dua benda atau lebih, agar benda tersebut kembali ke keadaan semula ataupun menyambung benda tersebut karena keterbatasan dimensi benda tersebut.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan perekat jenis perekat epoksi. Menurut (Handayani, 2009) perekat epoksi merupakan produk sintetik termoset dari resin poliepoksi dengan zat curing/ pengeras (asam/ basa).

Lem epoksi yang dilabur atau dioleskan pada permukaan kayu mempunyai jumlah atau perhitungan. Jumlah perekat yang akan dilaburkan pada kayu sangat berbeda-beda karena ada sifat kayu yang mudah direkat dengan perekat dan ada juga yang susah direkat. Jumlah perekat terlabur sangat diperhitungkan jumlahnya agar kedua bagian yang telah direkatkan, setelah itu dipres, perekat tidak meluber keluar dengan begitu pemakaian perekat menjadi tidak ekonomis. Berikut ini rumus untuk menghitung jumlah perekat terlabur pada penelitian ini :

$$\text{GPU} = \frac{S \cdot A}{\text{Konstanta}} \quad (4)$$

Dimana :

- GPU = Gram pick up (gram)
 S = Jumlah perekat yang dilaburkan dalam pound/MSGGL atau pound /MDGL
 A = Luas bidang yang akan direkat (satu bidang irisan sambungan)
 Konstanta dipakai jika satuan luas dalam Inchi² = 317,5
 Konstanta dipakai jika satuan luas dalam l^{cm}² = 2.048,2
 MDGL = (10% MSGGL) + MSGGL
 MDGL = 1,1 MSGGL

B.5 Perkuatan Sambungan

(Awaludin, 2005) sambungan merupakan bagian yang paling lemah sehingga banyak kegagalan atau kerusakan struktur sering disebabkan oleh gagalnya sambungan, maka pada sambungan dibuat sekuat mungkin dengan memperhitungkan alat sambungannya. Selain dari pemilihan alat sambung, perkuatan sambungan harus dapat menambah kekuatan pada sambungan.

Penambahan kekuatan sambungan merupakan pencegahan agar sambungan tidak terjadi kegagalan struktur, maka dilakukan perkuatan dan kombinasi baut dengan perekat agar dapat lebih memikul gaya yang bekerja dan membuat konstruksi tahan lama.

Kombinasi yang dilakukan dengan kayu dan dimensi yang sama, sambungan kayu diberi perekat dan penambahan perekat pada lubang baut tersebut. Pertimbangan untuk menambah kekuatan sambungan itu karena, tidak mungkin lagi untuk mengganti jenis kayu ataupun memperbesar penampang kayu. Pertimbangan tersebut cukup rasional, mengingat bahwa sambungan dengan menggunakan baut saja tidak cukup kuat untuk memikul beban lebih jauh besar dari pada kayu yang ada.

C. METODELOGI PENELITIAN

C.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Universal Testing Machine* (UTM) merk HUNG TA HT – 8503 dengan kapasitas alat 20.000 N. Alat ini berfungsi sebagai alat uji kuat tekan dan tarik. Alat ini yang akan melakukan semua pengujian pada penelitian ini.



Gambar 4. *Universal Testing Material* (UTM)

2. Tumpuan tempat bertumpu sampel uji kuat lentur baut.



Gambar 5. Tumpuan Sampel Kuat Lentur Baut.

3. Timbangan Digital dengan ketelitian 0,1 gr, timbangan ini digunakan untuk menimbang perekat yang akan dilaburkan pada sambungan.



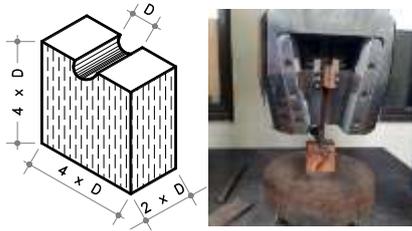
Gambar 6. Timbangan Digital

4. Bahannya yaitu kayu resak, baut diameter ½ inchi dan lem epoxy.

C.2 Kuat Tumpu Pasak Sejajar Serat

Pengujian ini sesuai ASTM D 5764 – 97a, dengan tujuan untuk mendapatkan

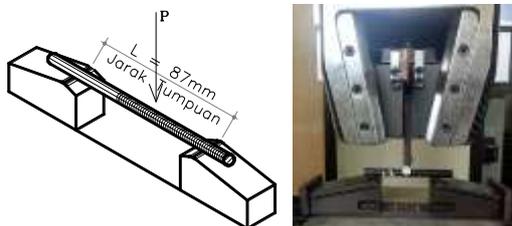
nilai kuat tumpu pasak yang akan dipakai pada perhitungan perencanaan sambungan. Benda uji yang digunakan untuk pengujian ini mempunyai dimensi kayu yaitu $4D \times 4D \times 2D$ (D =diameter baut).



Gambar 7. Dimensi Benda Uji dan Skema Pengujian

C.3 Kuat Lentur Baut

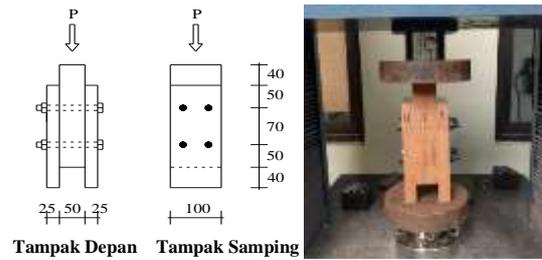
Pengujian kuat lentur baut mengacu pada standar ASTM F1575-03 (ASTM 2013) dengan tujuan untuk mendapatkan nilai F_{yb} baut sebagai data pendukung untuk menghitung atau mendesain besaran tahanan lateral secara teoritis. Baut yang dipakai pada pengujian ini yaitu baut besi mutu biasa dengan diameter $\frac{1}{2}$ inchi atau 12,7mm yang ada dipasaran,



Gambar 8. Skema dan Pengujian Kuat Lentur Baut

C.4 Sambungan dengan Alat Sambung Baut

Pengujian kuat geser sambungan perpanjangan batang kayu resak dengan alat sambung baut berdasarkan SNI 7973-2013, dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kekuatan sambungan menggunakan baut dan mendapatkan nilai acuan untuk mendesain sambungan kayu. Benda uji yang digunakan mempunyai dimensi yang telah diatur oleh SNI 7973-2013 dengan ditentukan syarat jarak ujung aktual, jarak baut dalam satu baris, jarak tepi, dan jarak baris antar baut.

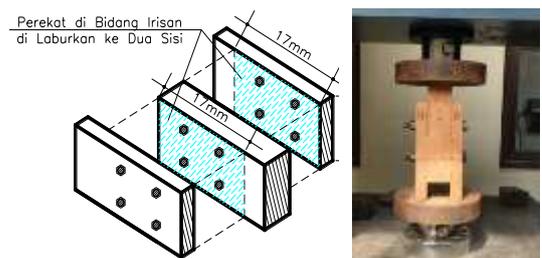


Gambar 9. Dimensi Benda Uji dan Pengujian Sambungan dengan Alat Sambung Baut

C.5 Sambungan Baut dan Perekat pada Bidang

Pengujian kuat geser sambungan perpanjangan batang dengan alat sambung baut dan perekat pada bidang irisan sambungan ini berdasarkan SNI 7973-2013, dimaksudkan untuk mendapatkan pertambahan nilai kekuatan sambungan menggunakan baut jika dikombinasikan dengan perekat pada bidang irisan.

Benda uji yang digunakan sama dengan benda uji sambungan perpanjangan batang kayu resak dengan alat sambung baut tetapi bedanya benda uji ini ditambah perekat pada bidang irisan. Jumlah perekat yang dilaburkan per satuan luas permukaan bidang rekat 50 MDGL. Jumlah perekat yang dilaburkan atau dioleskan memiliki jumlah tepat agar tercapai garis perekat peja yang kuat dan masuk kepori-pori kayu tersebut.



Gambar 10. Skema Pengujian Sambungan Baut dan Perekat pada Bidang Irisan

C.6 Sambungan dengan Alat Sambung Baut dan Perekat pada Lubang

Pengujian kuat geser sambungan perpanjangan batang dengan alat sambung baut dan perekat pada lubang baut ini berdasarkan SNI 7973-2013, dimaksudkan untuk mendapatkan pertambahan nilai

kekuatan sambungan baut jika dikombinasikan dengan perekat pada lubang baut.

Benda uji yang digunakan sama dengan benda uji sambungan dengan alat sambung baut tetapi bedanya benda uji ini ditambah perekat pada lubang baut. Diameter baut untuk benda uji ini diperbesar diameter lubang baut dengan memperkirakan baut masuk secara lancar dan tidak sempit, setelah penulis coba untuk menakar perekat dengan jumlah perekat terlabur 50 MDGL, didapatkan 2gram untuk empat buah lubang, ternyata jumlah tersebut sangat kurang sampai tidak terisi kelubang baut, maka penulis menambahkan perekat tersebut sampai 14gram untuk ke empat buah lubang. Tujuannya menambahkan perekat kelubang baut merupakan agar lubang tidak terjadi geser dan membuat lubang kayu menjadi kaku dengan baut.



Gambar 11. Skema dan Pengujian Sambungan Baut dan Perekat pada Lubang

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Kuat Tumpu Pasak Sejajar Serat

Pengujian kuat tumpu pasak sejajar serat pada kayu resak bertujuan untuk

mendapatkan nilai kuat tumpu pasak dari kayu yang dilubangi setengah, setelah itu diberi beban tekan pada baut yang ditumpukan ke kayu yang telah dilubangi setengah tersebut. Hasil dari uji kuat tumpu pasak sejajar serat didapat berupa nilai beban maksimum serta kurva *load-displacement* yang dapat dikalkulasikan dan dapat dipakai sebagai data perhitungan perencanaan sambungan perpanjangan batang kayu resak sebelum membuat benda uji sambungan untuk penelitian ini.

Selain dari uji laboratorium, untuk mendapatkan nilai kuat tumpu pasak sejajar serat tanpa melakukan pengujian laboratorium, dapat juga ditentukan dengan berdasarkan nilai berat jenis kayu itu sendiri. Berat jenis kayu resak menurut (PKKI NI-5 1961) yaitu 0,70, setelah itu dilihat pada tabel lampiran kuat tumpu pasak, dengan berat jenis 0,70, berada pada F_e sejajar serat dengan diameter baut lebih dari $>6,35\text{mm}$, maka dapat ditentukan nilai kuat tumpu pasak sejajar serat tanpa melakukan pengujian laboratorium.

Kekuatan tumpu pasak sejajar serat ditentukan dari beban *offset* 5% diameter baut pada kurva *load-displacement* kemudian dibagi dengan luasan kayu penumpu. Beban *offset* 5% diameter merupakan metode untuk menentukan momen leleh lentur kayu pada kurva *load-displacement* dari hasil pengujian laboratorium.

Tabel 1. Hasil Perhitungan dari Kuat Tumpu Pasak Sejajar Serat

No.	Kode Benda Uji	Diameter Baut (mm)	Luas Area (mm^2)	P_{\max} (N)	$P_{\text{offset } 5\%}$ (N)	$F_e \parallel$ (MPa)
1	KT 1	12,7	322,58	23.562,80	23.560,00	73,036
2	KT 2	12,7	322,58	21.435,70	21.080,00	65,348
3	KT 3	12,7	322,58	24.298,90	23.320,00	72,292
Rata-rata				23.099,13		70,225

Jadi pada penelitian ini, didapat nilai kuat tumpu pasak sejajar serat pada kayu

resak berdasarkan pengujian laboratorium dengan nilai rata-rata 70,225 MPa yang

dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan teoritis, nilai kuat tumpu pasak didapat dengan menentukan berat jenis kayu resak. Nilai berat jenis kayu resak 0,70, posisi benda uji saat diuji sejajar serat, diameter >6,35 mm, maka didapatkan kuat tumpu pasak 49 MPa. Terbukti selisihnya beda jauh pengujian laboratorium dengan teoritis, selisihnya sekitar ±21,236 MPa, pengujian laboratorium lebih akurat karena pengujian dilakukan dengan material kayu yang sesuai diujikan.

D.2 Kuat Leleh Lentur Baut

Kuat leleh lentur baut dengan pengujian laboratorium merupakan pengujian menggunakan alat uji kuat tekan, dengan cara menekan benda uji baut ditengah-tengah bentang. Beban vertikal diberikan secara terus-menerus sampai baut melentur mencapai kondisi plastis atau baut tidak kembali lagi seperti semula dan alat uji mulai dihentikan ketika hasil kurva *load-displacement* mulai turun.

Kuat leleh lentur baut bertujuan untuk mendapatkan nilai F_{yb} baut sebagai data pendukung untuk menghitung besaran tahanan lateral baut secara teoritis. Beban yang digunakan untuk menghitung kekuatan leleh lentur baut ditentukan dengan metoda *offset 5%* diameter sesuai standar pengujian (ASTM F1575).

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kuat Leleh Lentur Baut

No.	Kode Benda Uji	Diameter Baut (mm)	Jarak Tumpuan (L) (mm)	Beban Leleh ($P_{offset 5\%}$) (N)
1	L 1	12,7	87	4.110
2	L 2	12,7	87	4.700
3	L 3	12,7	87	4.750
Rata-rata				4.520

$$\begin{aligned} \Rightarrow M_y &= \frac{P_{Offset 5\%} L}{4} \\ &= \frac{4.520 \text{ N} * 87 \text{ mm}}{4} \\ &= 98.31 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow S = \frac{D^3}{6}$$

$$= \frac{12,7^3}{6}$$

$$= 341,40 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow F_{yb} &= \frac{M_y}{S} \\ &= \frac{98.310 \text{ N.mm}}{341,40 \text{ mm}^3} \\ &= 287,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan pengujian laboratorium didapat nilai leleh kuat lentur baut yaitu 287,96 MPa. Terbatasnya data spesifikasi baut dari toko, maka dari itu penulis melakukan pengujian secara langsung agar mendapatkan nilai yang sesuai.

Berbeda halnya menurut SNI 7973-2013, untuk mendapatkan nilai kuat lentur baut dengan merata-ratakan nilai F_y dan F_u . Maka SNI 7973-2013 mengindikasikan nilai kuat leleh lentur baut dari hasil riset terdahulu yaitu 310 MPa. Selisih cukup jauh dengan pengujian laboratorium dengan SNI, tetapi nilai yang diindikasikan oleh SNI tersebut dapat menjadi nilai acuan dan prediksi.

D.3 Perhitungan Sambungan Teoritis

Perhitungan kuat sambungan secara teoritis merupakan perhitungan dasar untuk mendesain sambungan. Perhitungan ini didasarkan pada mode kelelahan sambungan yang paling kecil dari semua hitungan mode kelelahan sambungan yang dipersyaratkan untuk menentukan nilai kuat sambungan yang akan direncanakan.

Batas leleh pada penelitian ini menggunakan mode kelelahan tampang ganda. Berikut ini adalah perhitungan analisis keempat mode kelelahan sambungan yang dipersyaratkan SNI 7073-2013.

1. Mode kelelahan Im

$$\begin{aligned} Z &= \frac{D l_m F_{em}}{R_d} \\ &= \frac{12,7 \text{ mm} * 50 \text{ mm} * 70,24 \text{ MPa}}{4} \end{aligned}$$

$$= 11.150,60 \text{ N}$$

2. Mode kelelahan Is

$$Z = \frac{2D l_s F_{es}}{R_d}$$

$$= \frac{2 \times 12,7 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 70,24 \text{ MPa}}{4}$$

$$= 11.150,60 \text{ N}$$

3. Mode kelelahan IIIs

$$Z = \frac{2K_3 D l_s F_{em}}{(2+R_e) R_d}$$

$$= \frac{2 \times 1,470 \times 12,7 \times 25 \times 70,24 \text{ MPa}}{(2+1) \times 3,2}$$

$$= 6.829,74 \text{ N}$$

4. Mode kelelahan IV

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

$$= \frac{2 \times (12,7 \text{ mm})^2}{3,2} \sqrt{\frac{2 \times 70,24 \text{ MPa} \times 287,96 \text{ MPa}}{3 (1+1)}}$$

$$= 8.277,051 \text{ N}$$

Dari ke empat hasil perhitungan mode kelelahan tampang ganda tersebut, maka diambil nilai mode kelelahan yang terkecil, karena dari nilai paling terkecil adalah yang lebih dahulu rusak karena beban. Beban yang terkecil pada hitungan analisis berada pada mode kelelahan IIIs yaitu 6.843,636 N untuk 1 baut, penelitian ini menggunakan 4 baut, maka :

$$\text{Kapasitas (Z)} = 6.829,74 \text{ N} \times 4 \text{ Buah Baut}$$

$$= 27.318,96 \text{ N}$$

Nilai tahanan lateral didapat 27.318,96 N, nilai faktor koreksi terhadap jarak ujung ada karena jarak ujung benda uji kurang dari yang dipersyaratkan, maka:

$$Z \text{ Terkoreksi} = 27.318,96 \text{ N} \times 0,98$$

$$= 26.772,58 \text{ N}$$

Jadi pada penelitian ini, sambungan bertampang ganda dengan alat sambung baut menggunakan kayu resak dapat menahan beban 26.772,58 N. Mode kerusakan IIIs adalah kerusakan terjadi

pada kayu dan alat sambung yang leleh permanen. Pada mode kerusakan ini, kayu mengalami kerusakan pada *side member* dimana alat sambung baut leleh terhadap lentur dengan satu sendi plastis, tetapi tidak terjadi kerusakan pada *main member*.

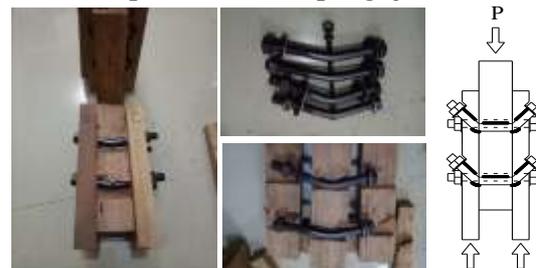
D.4 Uji Kuat Geser Sambungan Perpanjangan Batang

Uji kuat geser sambungan perpanjangan batang menggunakan alat sambung baut merupakan uji ketahanan sambungan dalam menerima beban yang diberikan. Hasil dari pengujian didapatkan kurva *load-displacement* yang dapat dianalisis kerusakannya



Gambar 12. Benda Uji Sambungan Baut Setelah Dilakukan Pengujian.

Penentuan mode kelelahan sambungan hasil pengujian dilakukan dengan cara pengamatan visual, serta dokumentasi pada Gambar 12, benda uji sambungan baut terbukti pada mode kelelahan IIIs, bahwa kerusakan terjadi pada *side member* dimana alat sambung baut leleh terhadap lentur dengan satu sendi plastis tetapi tidak terjadi kerusakan pada *main member*, sedangkan terlihat pada Gambar 12. kayu pada *main member* mengalami kerusakan karena mesin terus berjalan menekan. Dapat dilihat pada Gambar 13. kondisi baut mengalami lentur satu sendi plastis setelah pengujian.



Gambar 13. Kondisi Baut Setelah Pengujian dan Mode Kelelahan IIIs

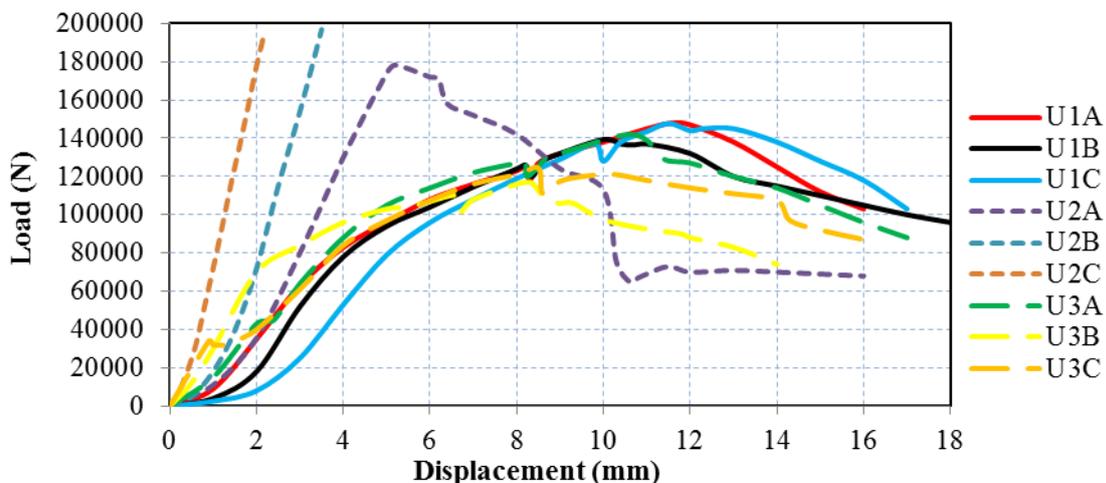
Sambungan perpanjangan batang dengan alat sambung baut merupakan alat sambung umum dipakai, berbeda halnya pada alat sambung baut yang dikombinasikan dengan perekat pada bidang irisan, berikut ini hasil pengujian sambungan baut dan perekat pada bidang irisan didapat kurva *load-displacement* yang dapat dianalisis kerusakannya.



Gambar 14. Benda Uji Sambungan Baut dan Perekat di Bidang Irisan Setelah Dilakukan Pengujian.

Terlihat pada Gambar 14. benda uji U2A rusak pada kayu samping sementara perekat masih bekerja sempurna, terjadi kegagalan pada kayu samping yang tidak mampu menahan beban yang diberikan. Untuk benda uji U2B dan U2C tampak benda uji utuh tetapi perekat pada bidang irisan getas yang membuat senso mesin memberhentikan langsung pengujian.

Berbeda halnya pada alat sambung baut yang dikombinasikan dengan perekat pada lubang baut, berikut ini hasil dari pengujian sambungan alat sambung baut dan perekat pada lubang baut didapat



Gambar 16. Benda Uji Sambungan Baut dan Perekat di Lubang Baut Setelah Dilakukan Pengujian.

kurva *load-displacement* yang dapat dianalisis kerusakannya.



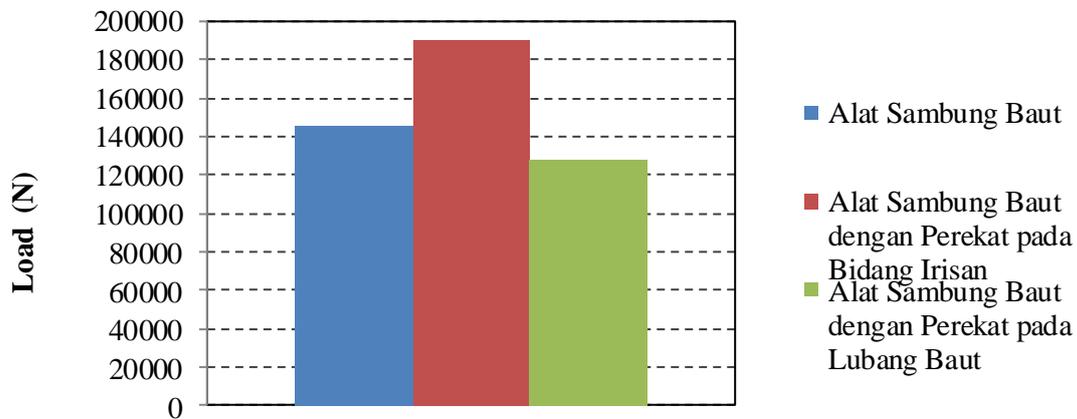
Gambar 15. Benda Uji Sambungan Baut dan Perekat di Lubang Baut Setelah Dilakukan Pengujian.

Terlihat pada Gambar 15. Benda uji semuanya rusak, dimulai dengan rusaknya perekat pada lubang baut yang membuat baut tidak ditahan oleh perekat lagi, setelah itu beban terus menekan, baut mulai melentur sampai batas dimana kepala dan reng baut menahan dan kayu samping belah barulah kurva mulai terjadi penurunan karena benda uji telah belah. Untuk kayu utama atau tengah ikut belah karena mesin terus dijalankan.

Setelah dianalisis kerusakan berdasarkan kurva *load-displacement* dan gambar/ foto dokumentasi setelah benda uji dilakukan pengujian, berikut ini penulis tampilkan kurva *load-displacement* gabungan semua kombinasi alat sambung terlihat pada Gambar 16. Perbandingan nilai kekuatan sambungan kombinasi yang dapat dilihat pada Tabel 3. berikut ini :

Tabel 3. Beban Maksimum Hasil Uji Sambungan Kombinasi Alat Sambung

No.	Alat Sambung Baut		Alat Sambung Baut dengan Perikat pada Bidang Irisan		Alat Sambung Baut dengan Perikat pada Lubang Baut	
	Kode Benda Uji	P_{max} (N)	Kode Benda Uji	P_{max} (N)	Kode Benda Uji	P_{max} (N)
1	U1A	149.082,90	U2A	178.297,60	U3A	141.793,70
2	U1B	139383,40	U2B	196.805,50	U3B	117.006,60
3	U1C	147.680,90	U2C	196.522,40	U3C	124.403,90
	Rata-rata	145.382,40		190.541,83		127.734,73



Gambar 17. Grafik Nilai Beban Maksimum yang Diterima Benda Uji.

Terlihat pada Tabel 3. nilai rata-rata alat sambung baut mendapatkan beban maksimum 145.382,40 N, berbeda dengan hasil analisis teoritis yaitu nilai tahanan lateral teoritis $Z = 26.772,58$ N.

Hasil dari tahanan lateral pengujian dengan hasil secara teoritis cukup besar, selisihnya $\pm 81,58\%$, hal ini dapat diindikasikan nilai *safety factor* sambungan pada teoritis sangat tinggi dan hasil pengujian merupakan hasil tahanan lateral maksimum yang diterima sambungan tanpa ada direduksi.

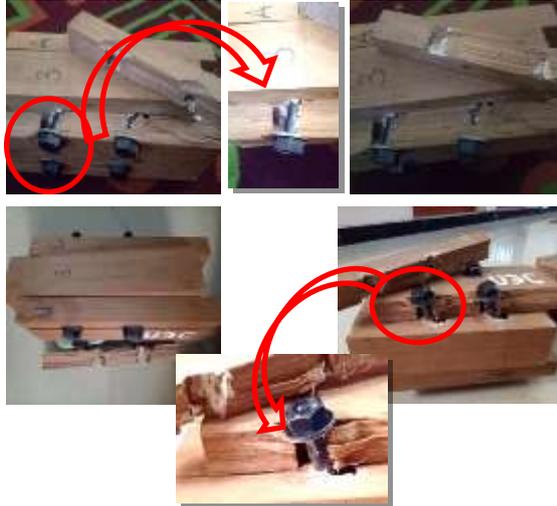
Berdasarkan Tabel 3. dan Gambar 16. dapat dibedakan antara alat sambung baut dan alat sambung baut dengan perikat pada bidang irisan terjadi pertambahan kekuatan yang sampai $+31,06\%$. Pertambahan kekuatan sambungan ini tak luput dengan jumlah perikat terlabur yang sangat mempengaruhi kekuatan sambungan dengan pori-pori kayu, dengan

pori-pori besar pada kayu, perikat dapat masuk kepori dan membuat perikat lebih kuat jika masuk kedalam pori-pori kayu. Jadi keberhasilan sambungan perikat berada pada jumlah takaran perikat terlabur yang ideal

Dibedakan sambungan antara alat sambung baut dan alat sambung baut dengan perikat pada lubang baut tidak mengalami pertambahan kekuatan, terlihat dari nilai rata-rata beban maksimum alat sambung baut dengan perikat pada lubang baut lebih turun nilainya sampai $-12,14\%$ dari pada alat sambung baut saja.

Pada saat aplikasi proses perekatan, lubang baut dibesarkan sampai baut bisa masuk tanpa dipaksakan masuk menggunakan kunci-kunci. Pembesaran lubang baut yang dilakukan membuat perlemahan pada kayu karena volume kayu dikurangi lebih besar dari pada benda uji alat sambung baut saja.

Dapat diindikasikan, kinerja perekat pada lubang baut tidak mempunyai pengaruh besar terhadap pertambahan kekuatan sambungan perpanjangan kayu resak yang dapat dilihat pada gambar 18. berikut ini :



Gambar 18. Benda Uji Sambungan dengan Alat Sambung Baut dan Perekat Dilubang Baut.

Terlihat pada Gambar 18, perekat yang diberikan pada lubang baut masih merekat pada kayu, sedangkan pada baut tidak, karena itu fungsi perekat pada lubang hanya bekerja sebagai tahanan atau landasan tumpuan baut agar lubang baut tidak rusak. Pengaruh dari pembesaran lubang baut juga terlihat, perekat tidak sepenuhnya mengisi kekosongan pada lubang baut. Pengaplikasian perekat yang dimasukkan ke lubang baut harus cepat dilakukan karena perekat mempunyai batas waktu saat kedua bahan perekat dicampurkan.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan teoritis pada penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai kuat tumpu pasak sejajar serat pada kayu resak berdasarkan pengujian laboratorium yaitu 70,236 MPa. Berdasarkan teoritis, nilai kuat tumpu pasak didapat 49 MPa

(terlampir pada lampiran), selisihnya sekitar $\pm 21,236$ MPa.

2. Nilai kuat lentur baut berdasarkan pengujian laboratorium yaitu 287,96 MPa. Menurut SNI 7973-2013, mengindikasikan nilai kuat lentur baut dengan merata-ratakan nilai F_y dan F_u dari hasil beberapa riset terdahulu yaitu 310 MPa. Selisih cukup jauh pengujian laboratorium dengan SNI 7973-2013 indikasikan.
3. Beban yang dapat diterima oleh sambungan perpanjangan batang dengan alat sambung baut yaitu 145.382,40 N, dengan mode kelelahan sambungan dilakukan secara pengamatan visual yaitu mode kerusakan IIIs.
4. Alat sambung baut dan alat sambung baut dengan perekat pada bidang irisan terjadi pertambahan kekuatan sampai +31,06%. Dapat disimpulkan bahwa alat sambung baut dengan perekat pada bidang irisan dapat menjadi bahan pertimbangan ketika perencana mendesain sambungan.
5. Alat sambung baut dan alat sambung baut dengan perekat pada lubang baut tidak mengalami pertambahan kekuatan bahkan mengalami penurunan, selisihnya -12,14%. Maka, diindikasikan perekat pada lubang baut tidak sepenuhnya bekerja pada sambungan.

E.1 Saran

Berdasarkan hasil pengalaman pada penelitian ini, maka dapat dikemukakan beberapa hasil saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya :

1. Dalam pemotongan benda uji, benda uji harus dipotong simetris dan ketelitian yang tepat agar benda uji kayu lebih maksimal bekerja menahan sambungan
2. Memilih kayu untuk pengujian kualitas baik dan tanpa ada mata kayu untuk menghemat pemakaian kayu saat pengerjaan benda uji.

3. Dalam menentukan ukuran serta jarak baut ketepi dan lain-lain pada benda uji sambungan perpanjangan, jangan sampai dikoreksi dengan faktor geometri sambungan. Hal itu dapat memengaruhi kekuatan dari kayu tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Agussalim. 2010. Desain Kekuatan Sambungan Geser Ganda Berpelat Baja dengan Baut pada Lima Jenis Kayu Indonesia. [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Aji S. 2013. Alternatif Sambungan Finger Joint Pada Balok Kayu Terhadap Pengujian Kuat Lentur. *Majalah Ilmiah*. Edisi 2/th XVIII/2013.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) 2002, "Standard Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength for Wood and Wood-Based Product." ASTM Standard D5764-97a. *Annual Book of ASTM Standards v4.10*. ASTM, Philadelphia, PA.
- American Society for Testing and Materials, 2008, *ASTM F1575 Standard Test Method for Determining Binding Yield Moment of Nail*, American Society for Testing and Materials
- Ardelina A. 2011. Penyusunan Tabel Volume Lokal Kelompok Jenis Dipterocarpaceae (Anisoptera spp. Dan Vatica spp.) di Areal Kerja IUPHHK-HA PT.Mamberamo Alasmandiri Provinsi Papua. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Awaludin A. 2005. *Dasar-dasar Perencanaan Sambungan Kayu*. Yogyakarta (ID): UGM Pr.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 7973:2013 tentang Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Brown. HP., Panshin, A.J., Forsaith, C.C. 1952. *Textbook of Wood Technology*. Vol. II. New York: Mc Graw-Hill Book CO.
- Fakhri. 2007. *Konstruksi Kayu*. Pusat Pengembangan Pendidikan Universitas Riau: Pekanbaru.
- Frick H. 1981. *Ilmu Konstruksi Bangunan Kayu*. Kansius: Yogyakarta.
- Handayani S. 2009. Metoda Perekatan Dengan lem Pada Sambungan Pelebaran Kayu. *Jurnal Rekayasa*. Nomor 1 Volume 11.
- Herawati E. 2018. Analisis Sambungan Geser pada Sambungan Kayu dengan Baut Tunggal Akibat Beban Uni-Aksial Tarik. [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Herawati E, Sadiyo S, Nugroho S, Karlinasari L, Yoresta F S. 2017. Karakteristik Kekuatan Leleh Lentur Baut Besi dengan Beberapa Variasi Diameter Baut; *Jurnal Teknik Sipil*. ISSN 0853-2982
- Martawijaya A, Kartsujana I, Y. I. Mandang, Prawira SA, Kadir K. 2005. *Atlas Kayu Indonesia*; Jilid II. Department Kehutanan: Jakarta.
- PKKI (1961) NI-5. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia*
- Sucahyo. 2010. Perilaku Kekuatan Sambungan Geser Ganda Batang Kayu Dengan Paku Majemuk Berpelat Sisi Baja Akibat Beban Uni-Aksial Tekan. [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sulistiyawati I. 2004. Pengaruh Konektor Geser Terhadap Sambungan Laminasi Kayu Akibat Gaya Tekan Aksial. *Jurnal Rekayasa*. ISSN 1411-2213
- Yani A. 2013. Keteguhan Sambungan Kayu Resak (Vatica Rassak BI) Berdasarkan Bentuk Sambungan dan Jumlah Paku . *Jurnal Rekayasa*. ISSN 1693-9085