

## ANALISIS KEKUATAN DAN KEGAGALAN SAMBUNGAN SEKRUP DENGAN PERKUATAN PELAT SIKU PADA DINDING TEGAK LURUS CLT AKASIA

Yaladita Alya Kuncara<sup>1</sup>, Achmad Basuki<sup>2</sup> dan Halwan Alfisa Saifullah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta  
Email: yaladita.alyakuncara@student.uns.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta  
Email: achmadbasuki@staff.uns.ac.id

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta  
Email: halwan@ft.uns.ac.id

### ABSTRAK

Konstruksi berbasis kayu mengalami perkembangan pesat dengan munculnya *Cross Laminated Timber* (CLT), material inovatif yang menawarkan kekuatan tinggi, stabilitas dimensi, dan keberlanjutan. Salah satu aspek penting dalam penerapan CLT adalah desain sambungan dinding tegak lurus. Penelitian bertujuan menganalisis kapasitas geser dan modulus keruntuhan sambungan CLT yang menggunakan sekrup dengan jenis yang berbeda, yaitu *tapping screw* dan *lag screw* dengan diameter 5 mm. Sambungan ini dipasang dengan menghubungkan 3 panel CLT secara tegak lurus dan diperkuat dengan pelat siku. Sambungan CLT *lag screw* memiliki kapasitas geser maksimum yang lebih besar dibandingkan sambungan CLT *tapping screw* dengan rata-rata 31,77 kN, dan sambungan CLT *tapping screw* 28,02 kN. Rata-rata deformasi terbesar pada sambungan CLT *tapping screw* sebesar 23,49 mm dan *lag screw* 21,07 mm. Pelat siku memiliki kapasitas tarik sebesar 560 MPa. Modulus keruntuhan diambil dari nilai terkecil yaitu pada mode kelelahan III<sub>m</sub> sebesar 0,0989 kN. Rasio perbandingan kapasitas geser eksperimental dengan kapasitas geser estimasi untuk sambungan CLT *tapping screw* sebesar 17,7 dan *lag screw* 20,07.

Kata kunci: Sambungan sekrup, *Cross Laminated Timber*, uji geser, pelat siku

### 1. PENDAHULUAN

Kayu adalah salah satu jenis material struktural tertua yang digunakan dalam dunia konstruksi. Konstruksi berbasis kayu mengalami perkembangan pesat dengan munculnya *Cross Laminated Timber* (CLT), material inovatif yang menawarkan kekuatan tinggi, stabilitas dimensi, dan keberlanjutan. *Cross Laminated Timber* (CLT) adalah produk hasil olahan kayu dari hutan industri yang dipotong dengan ukuran tertentu dan disusun menjadi beberapa *layer* yang ditumpuk tegak lurus antara *layer*-nya agar memiliki kekuatan dan properti mekanikal yang lebih baik untuk menjadi struktur di dinding dan lantai tanpa membutuhkan balok. Studi oleh Santoso (2021) menunjukkan bahwa kayu Akasia memiliki kekuatan yang cukup baik dan mampu menahan beban yang signifikan. Salah satu aspek penting dalam penerapan CLT adalah desain sambungan dinding tegak lurus, yang berperan krusial dalam menghubungkan panel – panel CLT pada sudut 90° untuk menciptakan struktur yang kaku dan tahan terhadap berbagai jenis beban. Sambungan dinding tegak lurus dapat menyebabkan konsentrasi tegangan pada titik pertemuan sudut. Oleh karena itu, sambungan ini berfungsi untuk mendistribusikan gaya secara merata, mencegah konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan kegagalan struktural. Sekrup sering digunakan sebagai elemen pengikat utama dalam sambungan CLT karena kemampuannya untuk memberikan kekuatan tarik dan geser yang tinggi, serta kemudahan instalasi. Namun, desain sambungan sekrup harus mempertimbangkan risiko kegagalan mekanis, seperti retak pada kayu, deformasi sekrup, atau kegagalan kombinasi.

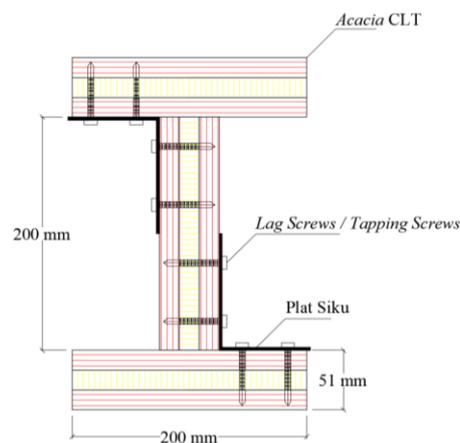
Salah satu jenis sekrup yang sering digunakan sebagai sambungan CLT adalah *tapping screw*. *Tapping screw* dirancang untuk dapat memotong ulirnya sendiri saat diputar ke dalam kayu. Sekrup ini sering digunakan dalam aplikasi CLT untuk sambungan dinding – dinding karena kemampuannya menciptakan sambungan yang kuat dan menghemat waktu dalam proses instalasi. Jenis sekrup lainnya yang umum digunakan pada sambungan CLT adalah *lag screw*. Sekrup ini lebih besar dan lebih kuat dibandingkan dengan sekrup kayu biasa, dengan ulir yang lebih kasar. *Lag screw* sering digunakan untuk sambungan yang membutuhkan kekuatan tinggi, seperti sambungan antara bagian struktur besar dalam CLT atau sambungan yang menahan beban berat. Penggunaan *angle bracket* (pelat siku) juga umum digunakan dalam sambungan antara dinding – dinding CLT. Pelat ini berfungsi untuk memberikan dukungan tambahan yang mendistribusikan beban dengan lebih merata dan mengurangi deformasi pada titik sambungan.

Penelitian mengenai kayu CLT Akasia dan sambungan pada CLT Akasia masih sangat terbatas. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut untuk menganalisis kapasitas dan modulus keruntuhan sambungan sekrup dengan perkuatan plat siku pada dinding tegak lurus CLT Akasia. Analisis ini penting untuk menentukan performa struktural sambungan tersebut, khususnya dalam menahan beban – beban yang mungkin terjadi pada bangunan, seperti beban gempa dan angin. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh data yang lebih akurat tentang kapasitas dan modulus keruntuhan sambungan sekrup dengan perkuatan plat siku pada CLT Akasia, yang dapat menjadi referensi dalam pengembangan material CLT berbahan lokal di Indonesia serta dalam menentukan standar desain sambungan yang aman dan efisien.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan uji geser untuk mengukur kapasitas sambungan sekrup dalam menahan beban aksial yang bekerja pada dinding tegak lurus. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban bertahap hingga sambungan mengalami kegagalan. Parameter yang akan dianalisis meliputi kapasitas beban maksimum dan mode kegagalan yang terjadi pada sambungan sekrup dengan perkuatan plat siku. Pengujian geser sambungan CLT dilaksanakan di Laboratorium Kayu, Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret.

Benda uji adalah CLT Akasia tiga lapis yang disambungkan dengan sekrup dan ditambah dengan perkuatan pelat siku. Sekrup yang digunakan sebagai sambungan adalah tapping screw dan lag screw dengan diameter 5 mm. Benda uji dipasang secara tegak lurus menggunakan tiga panel CLT Akasia dengan panjang untuk setiap panelnya adalah 200 mm. Ketebalan CLT Akasia yakni 51 mm dengan tebal setiap lapisannya yaitu 17 mm. Untuk setiap benda uji membutuhkan delapan buah sekrup dan dua buah pelat siku.



Gambar 1. Tampak atas benda uji

Setelah tahap pengujian selesai, kegagalan yang muncul pada

dilakukan analisis terhadap pola masing-masing sambungan.

Analisis ini mencakup evaluasi visual terhadap kondisi sambungan setelah pengujian serta pengolahan data kuantitatif untuk menentukan kapasitas beban dan deformasi maksimum. Hasil analisis kemudian dibandingkan antar jenis sekrup untuk mengidentifikasi sambungan mana yang memberikan performa struktural paling optimal. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan referensi yang berguna dalam pemilihan dan desain sambungan CLT yang efektif dan efisien dalam aplikasi konstruksi.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

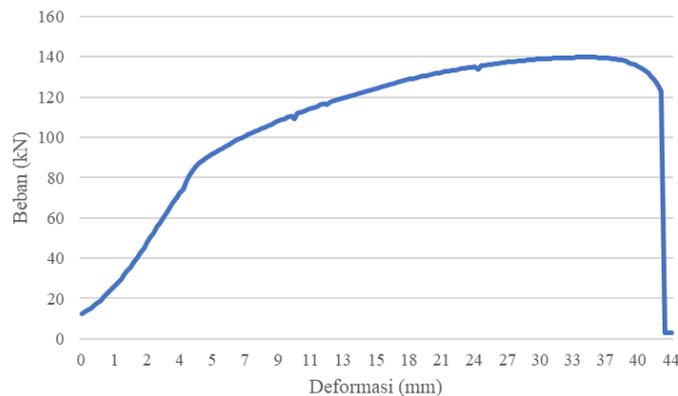
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas geser sambungan *Cross Laminated Timber* (CLT) Akasia pada masing-masing jenis sekrup sebagai elemen penyambungannya. Dalam pengujian ini, berbagai parameter seperti kapasitas geser maksimum, deformasi, dan mode kegagalan akan diamati guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik sambungan.

### Pengujian Tarik Pelat Siku

Pengujian tarik pelat siku dilakukan untuk mengetahui kapasitas tarik dari pelat siku yang digunakan sebagai perkuatan sambungan sekrup CLT. Pengujian ini dilakukan dengan menguji tarik menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).



Gambar 2. *Setting up* uji tarik pelat siku



Gambar 3. Grafik beban-deformasi pelat siku pada uji tarik

Berikut merupakan hasil rekapitulasi pengujian tarik pelat siku.

Tabel 1. Rekapitulasi uji tarik pelat siku

<b>a</b>	<b>au</b>	<b>b</b>	<b>bu</b>	<b>L<sub>o</sub></b>	<b>L<sub>u</sub></b>	<b>S<sub>o</sub></b>	<b>S<sub>u</sub></b>	<b>R<sub>eH</sub></b>	<b>R<sub>m</sub></b>	<b>F<sub>m</sub></b>
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[Mpa]	[MPa]	[kN]
5		50		200		250		385	560	139,75

Gambar 3 menunjukkan bahwa selama pengujian tarik, pelat mengalami kenaikan beban secara linier seiring bertambahnya deformasi. Hal ini menunjukkan bahwa pelat masih berada dalam keadaan elastis, di mana jika beban dilepas pada tahap ini maka pelat akan kembali ke bentuk semula. Kemudian beban mencapai titik tertentu lalu menurun sedikit atau menjadi landai. Hal ini menunjukkan bahwa pelat mulai mengalami deformasi plastis atau biasa disebut sebagai *yield point*. Seiring bertambahnya beban dengan laju yang lebih lambat, pelat mulai meregang secara plastis dengan penambahan deformasi menghasilkan peningkatan beban yang tidak signifikan. Titik tertinggi dari grafik tersebut adalah titik maksimum beban (*ultimate load*) yang bisa ditahan oleh pelat sebelum mengalami kerusakan, yaitu sebesar 139,75 kN pada deformasi 38,9 mm. Setelah titik maksimum, grafik mengalami penurunan drastis yang menunjukkan bahwa pelat mulai gagal. Penurunan beban yang cepat dengan penambahan deformasi menunjukkan terjadinya retak atau pecahnya pelat.

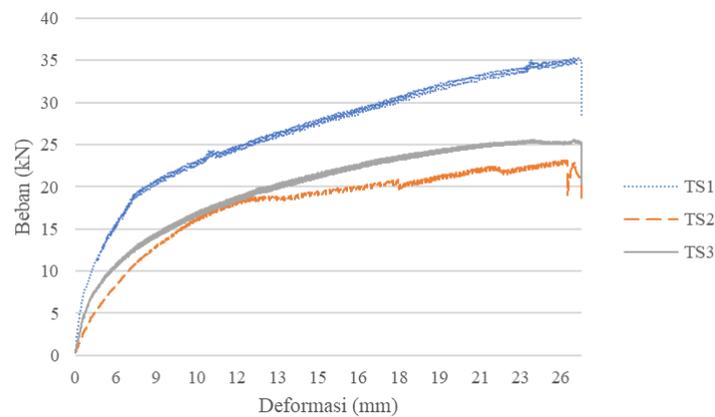
### Pengujian Geser CLT Sambungan Tapping Screw

Dari pengujian geser CLT sambungan *tapping screw* didapatkan nilai beban maksimum yang dapat diterima oleh sambungan CLT *tapping screw*. Beban maksimum pada *tapping screw* 1, 2, dan 3 secara berurut sebesar 35,31 kN; 23,14 kN; dan 25,60 kN. Dari ketiga pengujian didapatkan nilai rata-rata beban maksimum sambungan CLT *tapping*

screw yaitu sebesar 28,02 kN. Hasil rekapitulasi uji geser CLT sambungan *tapping screw* dapat dilihat pada Tabel 2. dan grafik hubungan beban-deformasi uji geser sambungan CLT *tapping screw* dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Rekapitulasi uji geser CLT sambungan *tapping screw*

Benda Uji	Beban (kN)	Deformasi (mm)
<i>Tapping Screw 1</i>	35,31	26,76
<i>Tapping Screw 2</i>	23,14	20,27
<i>Tapping Screw 3</i>	25,60	23,45
<b>Rata-rata</b>	<b>28,02</b>	<b>23,49</b>



Gambar 4. Grafik beban-deformasi uji geser sambungan CLT *tapping screw*

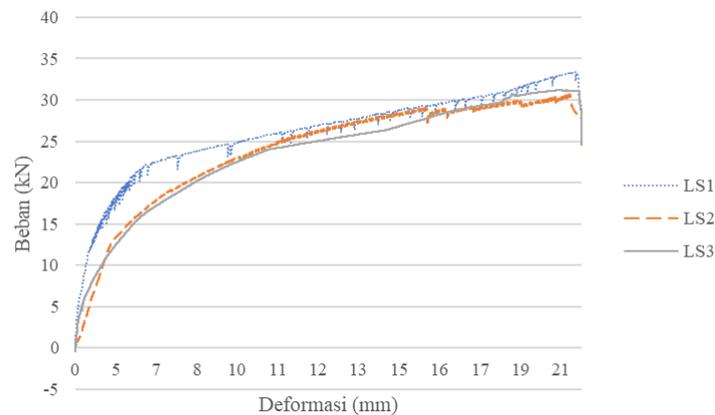
Gambar 4. menunjukkan grafik hasil pengujian tiga benda uji sambungan CLT *tapping screw*. Pada awal pengujian, kurva naik tajam yang menandakan sambungan masih berada dalam keadaan elastis. Dalam hal ini sambungan belum mengalami kerusakan pada kayu, sekrup, ataupun pelat siku. Setelah beban mulai melandai, besar kemungkinan terjadi kompresi lokal di area sekitar sekrup atau slip antar sekrup dengan pelat siku. Benda uji TS1 menunjukkan kinerja beban yang terus meningkat secara stabil. Sedangkan benda uji TS2 dan TS3 memiliki beban puncak yang lebih rendah dibanding TS1, dan grafiknya lebih mendatar. Benda uji TS1 terus mengalami peningkatan beban hingga mencapai beban maksimum. Sedangkan benda uji TS2 dan TS3 tetap stabil. Berdasarkan ketiga pengujian sambungan CLT *tapping screw*, benda uji TS1 memiliki performa terbaik karena dapat menahan beban paling tinggi. Selanjutnya disusul dengan TS3 kemudian TS2 yang memiliki performa paling rendah.

### Pengujian Geser CLT Sambungan Lag Screw

Dari pengujian geser CLT sambungan *lag screw* didapatkan nilai beban maksimum yang dapat diterima oleh sambungan CLT *lag screw*. Beban maksimum pada *lag screw* 1, 2, dan 3 secara berurut sebesar 33,39 kN; 30,71 kN; dan 31,21 kN. Dari ketiga pengujian didapatkan nilai rata-rata beban maksimum sambungan CLT *lag screw* yaitu sebesar 31,77 kN. Hasil rekapitulasi uji geser CLT sambungan *lag screw* dapat dilihat pada Tabel 3. dan grafik hubungan beban-deformasi uji geser sambungan CLT *lag screw* dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 3. Rekapitulasi uji geser CLT sambungan *lag screw*

Benda Uji	Beban (kN)	Deformasi (mm)
<i>Lag Screw 1</i>	33,39	21,96
<i>Lag Screw 2</i>	30,71	13,56
<i>Lag Screw 3</i>	31,21	27,68
<b>Rata-rata</b>	<b>31,77</b>	<b>21,07</b>



Gambar 5. Grafik beban-deformasi uji geser sambungan CLT lag screw

Gambar 5. menunjukkan grafik hasil pengujian tiga benda uji sambungan CLT lag screw. Pada awal pengujian sambungan CLT lag screw masih dalam kondisi elastis, di mana sambungan dapat memikul beban tanpa mengalami kerusakan. Hal ini digambarkan dengan kurva yang naik sangat tajam dari nol. Kemudian kurva mulai mendatar yang menandakan bahwa laju kenaikan beban melandai. Pada kondisi ini, terjadi penyesuaian material di mana kayu di sekitar ulir sekrup mungkin mulai mengalami kompresi lokal atau geser yang menyebabkan kekakuan sambungan menurun. Tetapi, tidak ada patahan mendadak yang berarti sambungan masih mampu menahan beban tambahan walaupun mulai plastis. Pada deformasi 10-21 mm beban bertambah secara perlahan, menunjukkan adanya perilaku plastis dari kayu dan deformasi di sekitar lag screw atau pelat siku. Pada akhir grafik, ketiga kurva mencapai beban maksimum yang kemudian terjadi penurunan beban yang mengindikasikan awal kegagalan pada kayu atau sambungan sekrup. Benda uji sambungan CLT LS1 dapat menahan beban paling tinggi dibandingkan benda uji sambungan CLT LS2 dan 3.

### Analisis Kapasitas Geser Sambungan Dinding Tegak Lurus CLT

Analisis kapasitas geser sambungan dinding tegak lurus pada *Cross Laminated Timber* (CLT) umumnya bertujuan untuk menentukan seberapa besar gaya geser yang dapat ditahan sambungan antar panel yang disusun secara tegak lurus, misalnya sambungan sudut dinding dengan dinding. Berdasarkan penelitian terdahulu, rata-rata kekuatan tekan sejajar serat kayu Akasia sebesar 4,93 MPa. Kuat tekan tersebut masuk ke dalam mutu E8 berdasarkan SNI 7973 tahun 2013. Kemudian dari pengujian fisis yang dilakukan pada kayu Akasia, didapatkan rata-rata kadar air sebesar 12% dan berat jenis 0,65 (Saharso, T. 2024). Berikut merupakan spesifikasi dari kayu, sekrup, dan plat siku yang digunakan pada penelitian ini:

Kode mutu kayu E8  
 $E = 8000 \text{ MPa}$

Dimensi ukuran penampang kayu:

$b = 200 \text{ mm}$

$d = 200 \text{ mm}$

Berat jenis kayu (G) = 0,65

Diameter tapping screw (D) = 5 mm

Diameter lag screw (D) = 5 mm

Berdasarkan SNI 7973 tahun 2013, kuat leleh lentur sekrup dengan diameter kurang dari 5,99 mm, maka:

Kuat lentur sekrup ( $F_{yb}$ ) = 551 MPa

Ukuran plat siku:

$t = 2,5 \text{ mm}$

$h = 120 \text{ mm}$

$F_u = 560 \text{ MPa}$

$E = 200000 \text{ MPa}$

Rata-rata kapasitas geser CLT sambungan tapping screw berdasarkan uji eksperimental:

$$F_{exp} = \frac{35,31 + 23,14 + 25,60}{3} = 28,02 \text{ kN}$$

Rata-rata kapasitas geser CLT sambungan *lag screw* berdasarkan uji eksperimental:

$$F_{exp} = \frac{33,39 + 30,71 + 31,21}{3} = 31,77 \text{ kN}$$

- Menghitung kuat tumpu ( $F_e$ )

$$F_{em} = 100 \times G^{1,84} = 100 \times 0,65^{1,84} = 45,26 \text{ MPa}$$

$$F_{es} = 2,4 \times F_u = 2,4 \times 560 = 1344 \text{ MPa}$$

- Rasio kuat tumpu ( $R_e$ )

Perhitungan rasio kuat tumpu berdasarkan Persamaan (2.4):

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} = \frac{45,26}{1344} = 0,0337$$

Panjang tumpu komponen utama ( $l_m$ ) = 51 mm

Panjang tumpu komponen samping ( $l_s$ ) = 2,5 mm

- Rasio panjang tumpu ( $R_t$ )

Perhitungan rasio panjang tumpu berdasarkan Persamaan (2.5):

$$R_t = \frac{l_m}{l_s} = \frac{51}{2,5} = 20,4$$

- Nilai reduksi ( $R_d$ )

Berdasarkan SNI 7973 tahun 2013, untuk ukuran alat sambung dengan diameter kurang dari 6,35 mm untuk semua mode kelelahan, maka nilai reduksi  $R_d = K_{D1}$

$$R_d = K_{D1} = 0,4D + 0,5 = (0,4 \times 5) + 0,5 = 2,5$$

- Menghitung konstanta (K)

Sebelum menghitung tahanan lateral acuan, diperlukan nilai konstanta (k) yang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_1 = \frac{\sqrt{Re + 2Re^2(1 + Rt + Rt^2) + Rt^2 Re^3} - Re(1 + Rt)}{(1 + Re)}$$

$$= \frac{1,0209 - 0,7207}{1,0337}$$

$$= 0,2904$$

$$K_2 = -1 + \sqrt{2(1 + Re) + \frac{2F_{yb}(1 + 2Re)D^2}{3F_{em}\ell m^2}}$$

$$= -1 + 1,4665$$

$$= 0,4665$$

$$K_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + Re)}{Re} + \frac{2F_{yb}(2 + Re)D^2}{3F_{em}\ell m^2}}$$

$$= -1 + 7,8449$$

$$= 6,8449$$

- Menghitung tahanan lateral acuan (Z)

Sambungan yang digunakan pada penelitian ini adalah sambungan geser tunggal. Oleh karena itu, rumus tahanan lateral acuan (Z) dapat dihitung berdasarkan ragam kelelahan untuk sambungan geser tunggal sebagai berikut:

Mode kelelahan I<sub>m</sub>:

$$Z I_m = \frac{D l_m F_{em}}{R_d} = \frac{5 \times 51 \times 45,26}{2,5} = 4617,009 \text{ N}$$

Mode kelelahan I<sub>s</sub>:

$$Z I_s = \frac{D l_s F_{es}}{R_d} = \frac{5 \times 2,5 \times 1344}{2,5} = 6720 \text{ N}$$

Mode kelelahan II:

$$Z II = \frac{K_1 D l_s F_{es}}{R_d} = \frac{0,2904 \times 5 \times 2,5 \times 1344}{2,5} = 1951,32 \text{ N}$$

Mode kelelahan III<sub>m</sub>:

$$Z_{III_m} = \frac{K_2 D l_s F_{em}}{(1+2 R_e) R_d} = \frac{0,4665 \times 5 \times 2,5 \times 45,26}{(1 + (2 \times 0,0337)) 2,5} = 98,9166 \text{ N}$$

Mode kelelahan III<sub>s</sub>:

$$Z_{III_s} = \frac{K_3 D l_s F_{em}}{(2+R_e) R_d} = \frac{6,8449 \times 5 \times 2,5 \times 45,26}{(2 + 0,0337) 2,5} = 761,7554 \text{ N}$$

Mode kelelahan IV:

$$Z_{IV} = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1+Re)}} = \frac{5^2}{2,5} \sqrt{\frac{2 \times 45,26 \times 551}{3 (1 + 0,0337)}} = 1268,287 \text{ N}$$

Berdasarkan mode kelelahan di atas, didapatkan nilai tahanan lateral acuan (Z) untuk satu alat sambung yang terkecil yaitu pada mode kelelahan III<sub>m</sub> yaitu sebesar 98,9166 N atau 0,0989 kN.

Dari perhitungan tahanan lateral acuan (Z) di atas, didapatkan nilai kapasitas geser estimasi CLT sambungan *tapping screw* dan *lag screw* sebagai berikut:

$$F_{est} = Z \times n$$

$$F_{est} = 0,0989 \times 16$$

$$F_{est} = 1,58$$

Kapasitas geser eksperimental diperoleh melalui pengujian geser di laboratorium pada spesimen sambungan, di mana beban maksimum yang dapat ditahan sebelum kegagalan dicatat sebagai  $F_{exp}$ . Sementara itu, kapasitas geser estimasi dihitung menggunakan pendekatan teoritis berdasarkan metode desain seperti yang tercantum dalam SNI 7973:2013, dengan mempertimbangkan parameter seperti diameter sekrup, kuat tumpu kayu dan plat siku, dan mode kegagalan dominan.

Rasio antara kapasitas geser eksperimental dan kapasitas geser estimasi CLT sambungan *tapping screw* adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{F_{exp}}{F_{est}}$$

$$R = \frac{28,02}{1,58}$$

$$R = 17,7$$

Rasio antara kapasitas geser eksperimental dan kapasitas geser estimasi CLT sambungan *lag screw* adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{F_{exp}}{F_{est}}$$

$$R = \frac{31,77}{1,58}$$

$$R = 20,07$$

### Mode Keruntuhan Sambungan

Analisis terhadap mode keruntuhan sambungan dilakukan untuk mengidentifikasi jenis kegagalan yang terjadi pada masing-masing tipe sekrup. Penentuan mode keruntuhan didasarkan pada hasil pengamatan bentuk kerusakan yang tampak pada sambungan setelah dilakukan pengujian, serta mengacu pada klasifikasi keruntuhan sambungan kayu sesuai SNI 7973-2013. Mode keruntuhan yang terjadi pada benda uji sambungan *tapping screw* dan *lag screw* dapat dilihat pada Gambar 6. dan Gambar 7.



Gambar 6. Mode keruntuhan *tapping screw*

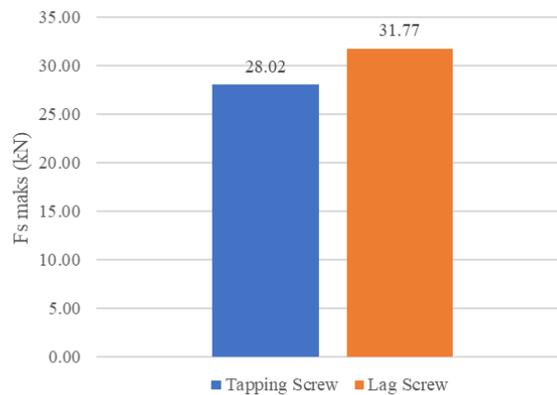


Gambar 7. Mode keruntuhan *lag screw*

Berdasarkan Gambar 6. dan Gambar 7. dapat dilihat bahwa kedua benda uji memiliki kesamaan pola kegagalan pada sambungan sekrup. Sekrup mengalami kelelahan pada area komponen struktur utama, yaitu kayu. Berdasarkan SNI 7973:2013, jenis kegagalan ini termasuk ke dalam Mode III<sub>m</sub>.

### Perbandingan Kapasitas Geser Sambungan Sekrup CLT

Perbandingan kapasitas beban maksimum yang dapat ditahan benda uji CLT sambungan *tapping screw* dan CLT sambungan *lag screw* disajikan pada Gambar 8.

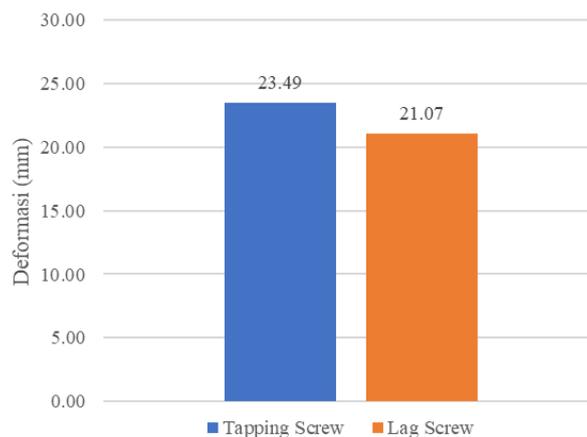


Gambar 8. Rata-rata beban maksimum CLT sambungan *tapping screw* dan *lag screw*

Gambar 8. menunjukkan grafik perbandingan nilai kapasitas maksimum yang dapat ditahan oleh dua jenis sambungan sekrup pada dinding tegak lurus CLT, yaitu *tapping screw* dan *lag screw*. Kapasitas maksimum ini diperoleh dari hasil uji geser sambungan pada konfigurasi sambungan tegak lurus serat dan menggunakan pelat siku sebagai penguat sambungan. Grafik menjelaskan bahwa dengan diameter yang sama namun panjang dan ulir berbeda, didapatkan bahwa rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan pada CLT sambungan *lag screw* lebih tinggi 13% yakni sebesar 31,77 kN jika dibandingkan dengan CLT sambungan *tapping screw* yang hanya mampu menahan beban maksimum sebesar 28,02 kN. Perbedaan kapasitas ini mencerminkan karakteristik mekanis dari masing-masing jenis sekrup. *Lag screw* yang memiliki ulir kasar mampu menghasilkan penetrasi dan pegangan yang lebih kuat pada panel CLT, sehingga lebih efektif dalam mentransfer gaya dari pelat siku ke panel kayu CLT. Sebaliknya, *tapping screw* yang memiliki ulir halus memiliki kapasitas geser yang lebih rendah dalam sambungan CLT. Oleh karena itu, grafik ini menunjukkan bahwa CLT sambungan *lag screw* lebih kuat menahan beban sebelum patah dibandingkan CLT sambungan *tapping screw*.

### Perbandingan Deformasi Sambungan Sekrup CLT

Perbandingan deformasi pada uji geser CLT sambungan *tapping screw* dan CLT sambungan *lag screw* disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Rata-rata deformasi pada uji geser CLT sambungan *tapping screw* dan *lag screw*

Gambar 9. menunjukkan grafik perbandingan nilai deformasi maksimum antara sambungan *tapping screw* dan *lag screw* pada konfigurasi sambungan dinding tegak lurus CLT yang diperkuat dengan pelat siku. Deformasi diukur pada saat kapasitas maksimum tercapai selama pengujian geser. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sambungan *tapping screw* mengalami deformasi sebesar 23,49 mm, sementara *lag screw* mengalami deformasi yang lebih kecil yaitu 21,07 mm. Nilai deformasi ini mencerminkan tingkat kelenturan atau kelenturan sambungan sebelum mencapai kondisi kegagalan atau keruntuhan. Deformasi yang lebih tinggi pada *tapping screw* menunjukkan bahwa sambungan ini lebih fleksibel dan mengalami pergeseran yang lebih besar sebelum gagal. Hal ini disebabkan oleh penetrasi ulir yang tidak sekuat *lag screw*, sehingga terjadi *slip* antara komponen sambungan saat menerima gaya geser. Sedangkan *lag screw* dengan ulir yang mampu menghasilkan penetrasi yang kuat memberikan hubungan yang lebih kaku dan kuat terhadap sambungan CLT, sehingga dapat menahan gaya dengan deformasi yang lebih kecil. Deformasi yang lebih rendah ini umumnya diinginkan dalam sambungan struktural karena menunjukkan tingkat kekakuan dan stabilitas yang lebih tinggi.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data hasil pengujian dan pembahasan penelitian, dapat disimpulkan bahwa sambungan CLT menggunakan *lag screw* memiliki kapasitas geser yang lebih besar dibandingkan sambungan CLT yang menggunakan *tapping screw*. Sambungan CLT *lag screw* memiliki kapasitas geser maksimum sebesar 31,77 kN. Selain itu, sambungan CLT *lag screw* memiliki faktor keamanan yang lebih tinggi yaitu sebesar 20,07. Secara desain, *lag screw* memiliki ulir yang kasar, batang lebih tebal dan memiliki area kontak ulir yang lebih luas terhadap kayu. *Lag screw* biasanya masuk lebih dalam dan menembus lebih banyak lapisan serat CLT. Hal ini menghasilkan tahanan mekanis yang lebih kuat karena lebih banyak serat kayu yang terlibat. Sedangkan *tapping screw* memiliki ulir lebih rapat, penetrasi lebih pendek, dan cengkeraman pada kayu tidak sekuat *lag screw*, sehingga potensi untuk *slip* atau lepas lebih besar. Karena penetrasi pada *lag screw* lebih dalam dibandingkan *tapping screw*, maka *lag screw* memiliki cengkeraman yang lebih kuat yang menjadikannya memiliki kapasitas lebih besar.

Kegagalan yang sering terjadi pada *lag screw* adalah kayu atau plat siku rusak di sekitar sekrup, bukan karena sekrup itu sendiri patah. Ini memberi tanda-tanda kegagalan bertahap yang berarti sekrup memiliki duktilitas yang tinggi sebagai alat sambung, yang baik untuk keselamatan. Sedangkan kegagalan pada *tapping screw* sering terjadi karena sekrup patah mendadak jika diberi gaya terlalu besar. Hal ini tentu lebih berisiko untuk aplikasi struktural. Selain itu, karena *lag screw* memiliki kekuatan gesek yang tinggi, maka beban tersebar lebih merata ke area kayu sekitarnya. Jika dibandingkan dengan *tapping screw*, beban lebih terkonsentrasi di area kecil, sehingga mudah terjadi kerusakan lokal. Faktor keamanan pada sambungan CLT dinilai dari seberapa besar sambungan bisa menahan beban sebelum gagal dibandingkan dengan beban kerja. *Lag screw* memiliki kapasitas geser lebih tinggi, duktilitas lebih baik, dan kerusakan bertahap yang menyebabkan sambungan dinding tegak lurus CLT memiliki faktor keamanan lebih tinggi jika menggunakan sekrup jenis ini.

Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, dapat menggunakan sekrup lainnya dengan diameter yang sama untuk melihat jenis sekrup mana yang lebih optimal untuk dijadikan sambungan CLT. Selain itu, dapat dilakukan pemasangan sekrup dengan variasi sudut, misalnya 45° terhadap bidang kayu untuk menghasilkan konfigurasi yang lebih optimal dan efisien dalam menahan gaya. Penggunaan jenis kayu CLT lainnya juga dapat menjadi penelitian selanjutnya untuk menentukan batasan penggunaan sambungan pada jenis CLT ringan dan berat.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2003). *ASTM A370-03: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. West Conshohocken, PA: ASTM International. <https://doi.org/10.1520/A0370-03>
- Basuki, A. (2021). *Material Kayu dan Kayu Rekayasa*. UNS Press.
- Davidson, R. D., et al. (2020). *Structural Performance of CLT Panels under Lateral Loads*. *Journal of Timber Engineering*, 45(3), 234-248.
- Gavric, I., Fragiacommo, M. & Ceccotti, A. (2015). *Cyclic Behavior of Typical Screwed Connections for Cross Laminated Timber (CLT) Structures*. *Eur. J. Wood Prod.* 73, 179–191.
- Gavric, I., Fragiacommo, M., & Ceccotti, A. (2015). *Cyclic Behavior of Cross-Laminated Timber Wall Systems: Experimental Tests and Analytical Prediction Models*. *Journal of Structural Engineering*, 141(11)
- Gavric, I., et al. (2015). *Enhanced Shear Strength with Angle Brackets in Timber Construction*. *Journal of Wood Science*, 52(1), 98-104.
- Hosseini, S., et al. (2019). *Effect of Angle Bracket Reinforcements in CLT Connections*. *Journal of Wood Science and Technology*, 53(2), 111-124.
- Hosseini, S., et al. (2020). *Cross Laminated Timber Connections: Performance Analysis*. *Journal of Structural Engineering*, 78(5), 223-234.
- Joyce, T., et al. (2018). *Testing Shear Strength of Timber Connections in Cross Laminated Timber*. *International Journal of Timber Research*, 36(3), 89-102.
- Muller, U., & Weimann, H. (2015). *Innovative Wood Connections Using Angle Brackets*. *Journal of Construction Engineering*, 32(1), 88-101.
- Saharso, T. (2024). Analisis Uji Lentur *Cross Laminated Timber (CLT)* 3 Lapis pada CLT Akasia dan CLT Akasia-Mindri. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Program S1, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Sandhaas, C., et al. (2014). *Structural Behavior of CLT Connections*. *Engineering Structures*, 40(3), 150-160.
- Santoso, B. (2021). *Potential of Acacia Wood as CLT Material*. *Indonesian Journal of Wood Technology*, 15(2), 95-110.
- Smith, A. R., & Brand, K. L. (2018). *Cross Laminated Timber in Construction: Design and Performance*. Springer.
- SNI 7973. (2013). Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu SNI 7973-2013. In *Bsn* (p. 334). [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Tzelepis, N., et al. (2016). *Experimental Study of Shear and Bending Performance of CLT Joints*. *International Journal of Timber Construction*, 30(5), 55-67.