



## STUDI EKSPERIMENTAL HUBUNGAN BALOK-KOLOM GLULAM DENGAN PENGHUBUNG BATANG BAJA BERULIR

Rizfan Hermanto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan Pascasarjana, Bandung

### ABSTRAK

Penelitian ini mempelajari perilaku hubungan balok-kolom glulam yang menggunakan batang baja berulir sebagai penghubung. Benda uji yang dibuat sebanyak 3 spesimen di mana glulam dibuat dengan kayu Meranti. Pengujian menggunakan UTM-Hung Ta dan LVDT untuk pembacaan peralihan. Hasil dari hubungan balok-kolom ini memiliki kekakuan rotasi elastik yang cukup besar yaitu 106,349-125,00 kNm/rad dan kekakuan rotasi inelastik antara 27,719-65,131 kNm/rad. Penggunaan batang baja berulir meningkatkan daktilitas sambungan di mana daktilitas dan faktor bi-linier yang diperoleh sebesar 2,071-2,53 dan 0,261-0,551. Tipe kegagalan yang terjadi sesuai dengan prediksi ragam kegagalan kritis yaitu kerusakan pada blok geser kayu akibat gaya tarik yang ditimbulkan batang baja berulir pada serat tarik balok glulam.

**Kata kunci:** glulam, kuat geser, batang baja berulir, kekakuan rotasi, daktilitas

### ABSTRACT

The research studied the behavior of glulam beam-column joint that use threaded steel as a connection. The test used three specimens where glulam made with Meranti wood. Tests using UTM - Hung Ta and LVDT for reading displacement. The results of beam - column joint has elastic rotational stiffness of 106.349 - 125.00 kNm/rad and inelastic rotational stiffness between 27.719-65.131 kNm/rad . Ductility and bi - linear factors obtained for 2.071 - 2.53 and 0.261-0.551. The type of failure that occurs in accordance with the critical mode failure prediction was failure due to the glulam block shear part of tension force threaded steel.

**Keywords:** glulam, shear stress, threaded steel, rotation stiffness, ductility.

## 1 PENDAHULUAN

Kayu merupakan material utama dalam bidang konstruksi di Indonesia yang telah digunakan sejak dahulu kala. Hal ini disebabkan oleh banyaknya hutan dengan beragam jenis pohon di seluruh wilayah Indonesia. Penggunaan kayu dalam jumlah masif dalam kurun waktu puluhan tahun ini menyebabkan kayu-kayu utuh di Indonesia tidak lagi memiliki dimensi yang besar. Oleh karena itu dengan kemajuan teknologi, para peneliti melakukan beragam jenis studi eksperimental mengenai kayu rekayasa. Kayu rekayasa yang akan digunakan pada penelitian ini ialah *glued laminated timber (glulam)* dimana kayu tersebut dapat dibuat dengan dimensi yang besar sehingga dapat digunakan sebagai elemen struktural yaitu balok dan kolom [2].

Penggunaan batang baja berulir mengakibatkan momen lentur pada balok laminasi akan disalurkan ke kolom dengan mekanisme keseimbangan gaya tarik-tekan melalui batang baja berulir tersebut. Pada serat atas balok, gaya tersebut akan mengakibatkan gaya tekan tegak lurus serat kayu penampang kolom

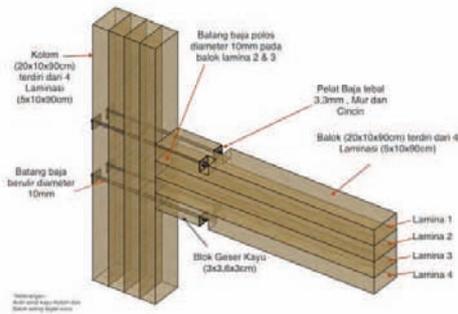
dan gaya tekan sejajar serat pada penampang balok, sedangkan pada serat bawah balok akan mengalami gaya tarik dimana akan menyebabkan kemungkinan kegagalan geser sejajar serat kayu. Perhitungan analisis keseimbangan gaya dilakukan dengan asumsi kontak elemen antar lamina kayu ialah rigid.

Mekanisme transfer gaya dianalisa untuk memprediksi ragam kegagalan sambungan, setelah itu dilakukan uji pendahuluan properties kayu dan dilanjutkan dengan pembuatan dan pengujian spesimen. Hasil pengujian eksperimental akan dicocokkan dengan perhitungan analisis ragam kegagalan melalui mekanisme tegangan dan momen lentur di mana besarnya gaya yang terjadi dan tahanan nominal ragam kegagalan yang terjadi akan dihitung. Hasil dari pembahasan berupa parameter kekuatan lentur, kekakuan rotasi, dan daktilitas sambungan. Geometri spesimen hubungan balok-kolom *glulam* dengan penghubung batang baja berulir dapat dilihat pada Gambar 1.

Kayu yang digunakan dalam penelitian ini ialah kayu Meranti. Balok dan kolom tersusun dari 4 lamina dengan masing-masing ketebalan 5 cm, lebar

\*Corresponding author. e-mail:rizfanhermanto@gmail.com

10cm, dan panjang 90cm sehingga memiliki dimensi 20x10x90 cm. Batang baja berulir yang digunakan memiliki diameter 10mm dengan jumlah 4 buah dikencangkan dengan pelat baja, mur, dan cincin.



Gambar 1. Rencana Benda Uji.

2 TINJAUAN LITERATUR

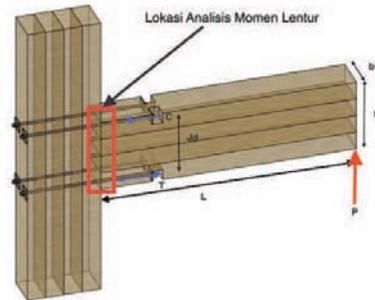
Pada penelitian ini hubungan balok-kolom dibebani monotonik pada ujung bebas balok dan akan ditinjau analisisnya di muka kolom. Besarnya momen lentur yang terjadi pada muka kolom ini dapat dihitung dengan persamaan (1). Momen lentur ini akan mengakibatkan tegangan tarik dan tekan pada penampang balok di mana tegangan tarik berada pada posisi serat bawah akan diterima oleh batang baja berulir.

Gaya tarik pada batang baja berulir ( $T$ ) dapat dihitung dengan persamaan (2)

$$M = PL \tag{1}$$

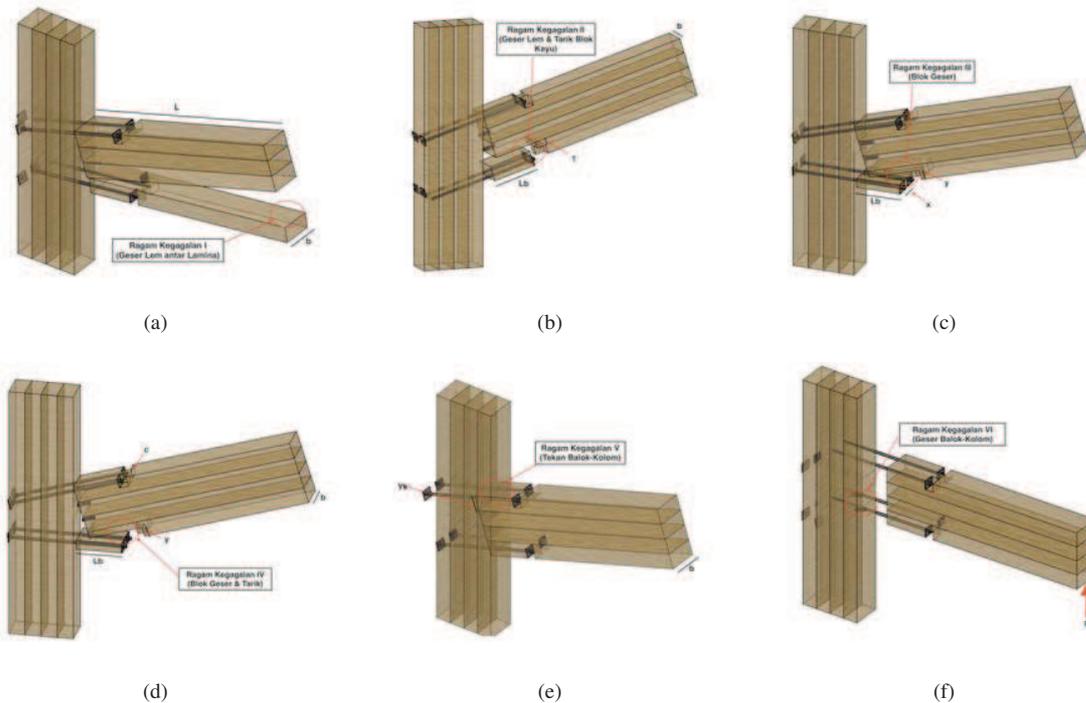
$$T = \frac{M}{jd} \tag{2}$$

dengan  $M$  adalah momen lentur (kNm),  $T$  adalah gaya tarik batang baja (kN),  $Jd$  adalah jarak gaya tarik ( $T$ ) ke gaya tekan ( $C$ ) (m),  $P$  adalah beban (kN),  $L$  adalah jarak beban ke kolom (m).



Gambar 2. Skema Keseimbangan Gaya Tarik-Tekan.

Besarnya gaya tarik pada batang baja berulir ini akan digunakan sebagai beban yang bekerja pada analisis ragam kegagalan. Lokasi analisis momen lentur dan skema keseimbangan gaya tarik-tekan dapat dilihat pada Gambar 2 .



Gambar 3. Ragam Kegagalan.

Mekanisme transfer gaya tersebut menghasilkan potensi terjadinya kegagalan baik pada lamina balok, lamina kolom, dan batang baja berulir dimana hasil analisis ragam kegagalan tersebut divisualisasikan dengan bantuan software AutoCad 2013 seperti pada Gambar 3. yang dapat berupa a)kegagalan lem antarlamina, b)kegagalan geser lem & tarik blok kayu, c)kegagalan geser pada blok geser, d)kegagalan blok geser & tarik, e)kegagalan tekan pada kolom, dan f)kegagalan geser antar balok dan kolom.

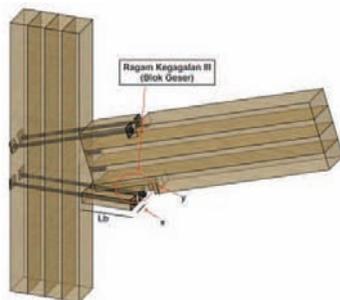
Kekuatan tahanan nominal seluruh ragam kegagalan dihitung dan dianalisis. Hasil perhitungan analisis ragam kegagalan dengan geometri hubungan balok-kolom ini menunjukkan bahwa ragam kegagalan yang kritis ialah kegagalan blok geser di mana kuat tahanan nominalnya bergantung pada kuat geser sejajar serat kayu dan luas permukaan bidang geser seperti pada gambar 4. Kekuatan blok geser akan ditentukan oleh kekuatan dari kayu digunakan.

Besarnya tahanan nominal ragam kegagalan ini dapat dihitung dengan persamaan (3). Prediksi ragam kegagalan kritis ini akan dibuktikan dengan uji eksperimental.

$$Tn = A_g F_v; \quad A_g = L_b(x + y) \quad (3)$$

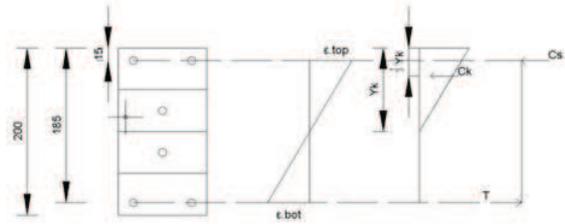
dengan  $Tn$  adalah tahanan nominal blok geser (N),  $A_g$  adalah luas permukaan blok geser ( $\text{mm}^2$ ),  $F_v$  adalah kuat geser sejajar serat kayu (MPa),  $x$  adalah lebar blok geser (mm),  $y$  adalah tinggi blok geser (mm),  $L_b$  adalah panjang blok geser (mm).

Besarnya gaya tarik batang baja berulir seperti pada persamaan (2) dengan tahanan nominal seperti pada persamaan (3) akan mengakibatkan potensi terlepasnya blok geser seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Ragam Kegagalan Kritis (Blok Geser).

Besarnya tegangan kayu pada serat tekan dapat dihitung pada saat elastis dimana besarnya blok tekan ekuivalen diasumsikan segitiga seperti pada Gambar 5. Besarnya gaya tarik yang terjadi dapat diperoleh dengan mengukur modulus elastisitas dan regangan pada batang baja berulir yang digunakan.



Gambar 5. Diagram Keseimbangan Tegangan Tekan & Tarik.

### 3 PENGUJIAN EKSPERIMENTAL

Pengujian pendahuluan dilakukan pada beberapa sampel kayu yang digunakan untuk benda uji, beberapa pengujiannya yaitu pengujian kadar air (MC), berat jenis (SG), modulus elastisitas (MoE), kuat geser ( $F_v$ ), kuat lentur ( $F_b$ ), kuat tarik sejajar serat ( $F_t//$ ), kuat tekan sejajar serat ( $F_c//$ ), dan kuat tekan tegak lurus serat ( $F_c\perp$ ). Metode pengujian ini mengikuti standar ASTM D-143-09 "Standard Test Method for Small Clear Specimens of Timber" [1]. Hasil rata-rata pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 1. Batang baja berulir yang digunakan memiliki modulus elastisitas sebesar 189426 MPa dengan tegangan leleh sebesar 406 MPa.

Tabel 1. Pengujian Sifat Mekanik Kayu

MC (%)	17
SG ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	0.8
MoE (GPa)	14
$F_c//$ (MPa)	38
$F_c$ (MPa)	9.5
$F_b$ (MPa)	70
$F_t//$ (Mpa)	42
$F_v$ (MPa)	9.0

Pengujian hubungan balok-kolom pada penelitian ini menggunakan alat bantu Universal Testing Machine (UTM) dan data logger sebagai penyimpan data regangan yang akan dicatat oleh strain gauges pada batang baja berulir. Tahapan awal pengujian ini ialah pembuatan *glulam* balok dan kolom menggunakan kayu Meranti dan direkatkan oleh lem PvAc.

Proses pembuatan balok *glulam* dibantu dengan alat *drilling machine*, tahapan berikutnya ialah perakitan balok-kolom *glulam* menggunakan batang baja berulir yang diberi *strain gauges* kemudian dikencangkan dengan pelat baja, cincin dan mur di kedua ujungnya. Tahapan akhir ialah *setting* pengujian yaitu perletakan sendi pada kedua ujung kolom, pemasangan LVDT pada balok, penyambungan kabel *strain gauges* pada *data logger*, dan pengaturan beban monotonik di mana benda uji akan dibebani hingga mengalami keruntuhan seperti pada gambar 6. Proses pengujian ini mengikuti prosedur pengujian yang dilakukan oleh Tanuwijaya [3].



Gambar 6. Kondisi Pengujian.

Benda uji hubungan balok-kolom ini dibuat sebanyak 3 buah, setelah benda uji dibebani maka didapatkan data peralihan dan beban yang akan diolah menjadi hasil analisis momen-rotasi seperti pada tabel 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kegagalan terjadi pada serat tarik balok *glulam* dimana blok geser mengalami kegagalan seperti pada Gambar 7 (sesuai dengan hasil analisis ragam kegagalan).

#### 4 ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Analisis hasil pengujian ini berupa hubungan momen-rotasi yang diperoleh dari UTM seperti pada gambar 8. Momen proporsional diperoleh dari kurva momen-rotasi pada saat kurva linier pada puncaknya, besarnya momen ini diperoleh dari beban hasil bacaan UTM dengan jarak ke tepi kolom sebesar  $L = 680\text{mm}$ . Besarnya momen dan rotasi pada kondisi proporsional dan utimit dapat dilihat pada Gambar 8 dan dirangkum pada Tabel 2. Hasil perhitungan pada Tabel 2 dihitung dengan persamaan (4)-(7) di bawah

ini dan dihasilkan besarnya kekakuan rotasi pada kondisi elastik dan inelastik serta didapatkan besarnya faktor bi-linier dan daktilitas hubungan balok-kolom *glulam* dengan penghubung batang baja berulir. Hasil perhitungan ini dirangkum pada Tabel 3.

$$k_{\theta e} = \frac{M_p}{\theta_p} \quad (4)$$

$$k_{\theta i} = \frac{M_u - M_p}{\theta_u - \theta_p} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{\theta_u}{\theta_p} \quad (6)$$

$$R = \frac{k_{\theta i}}{k_{\theta e}} \quad (7)$$

dengan  $M_p$  adalah Momen pada kondisi proporsional (kNm),  $M_u$  adalah Momen maksimum (kNm),  $\theta_p$  adalah Rotasi pada kondisi proporsional (radian),  $\theta_u$  adalah Rotasi maksimum (radian),  $\mu$  adalah Daktilitas,  $k_{\theta e}$  adalah Kekakuan pada kondisi elastik (kNm/radian),  $k_{\theta i}$  adalah Kekakuan pada kondisi inelastik (kNm/rad),  $R$  adalah Faktor Bi-Linier.

Tabel 2. Pengujian Sifat Mekanik Kayu

	Proporsional		Ultimit	
	$M_p$ (kNm)	$\theta_p$ (rad)	$M_u$ (kNm)	$\theta_u$ (rad)
A1	7,5	0,06	11,1	0,152
A2	6,7	0,063	8,7	0,137
A3	3,9	0,033	6,2	0,068

Tabel 3. Kekakuan Rotasi Kondisi Elastik dan Plastik - Faktor Bi-Linier - Daktilitas

Benda uji	$k_{\theta e}$ (kNm/rad)	$k_{\theta i}$ (kNm/rad)	$R$	$\mu$
A1	125	39	0,32	2,53
A2	106	27	0,26	2,18
A3	118	65	0,55	2,07



(a) Benda Uji A1

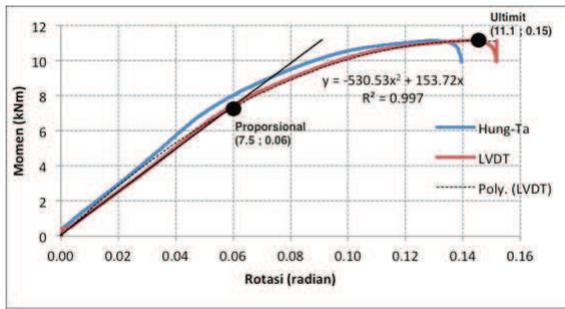


(b) Benda Uji A2

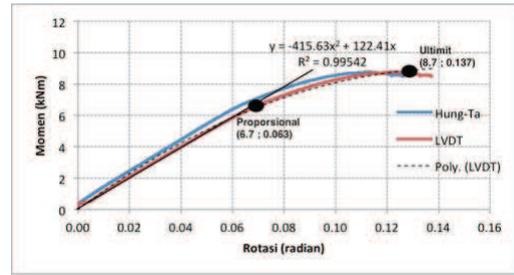


(c) Benda Uji A3

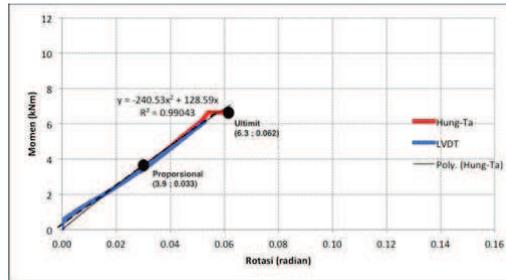
Gambar 7. Kegagalan Blok Geser.



(a) Benda Uji A1



(b) Benda Uji A2



(c) Benda Uji A3

Gambar 8. Kurva Momen-Rotasi.

4.1 Analisis Perhitungan Tegangan

Pada analisis ini, perhitungan menggunakan besaran parameter yang didapat dari uji eksperimental. Hasil dari perhitungan ini dapat digunakan untuk menghitung besarnya momen lentur jika dimensi *glulam* dan jumlah dari batang baja berulir diubah sesuai dengan rencana desain. Besarnya modulus elastisitas dan regangan yang terjadi pada batang baja berulir digunakan untuk mendapatkan tegangan. Berikut ialah contoh perhitungan analisis sambungan balok-kolom *glulam* dengan penghubung batang baja berulir benda uji A1 pada kondisi elastik:

1. Hasil pengujian batang baja berulir (sifat mekanik baja)

$$E_s = 189426\text{MPa}$$

2. Pembacaan regangan pada kondisi elastik (dengan alat bantu strain gauges dan data logger)

$$\epsilon_{bot} = 0,002; \epsilon_{top} = 0,0003$$

3. Menghitung tegangan batang baja berulir

$$\sigma_{bot} = \epsilon_{bot} \cdot E_s = 378,85\text{MPa}$$

$$\sigma_{top} = \epsilon_{top} \cdot E_s = 0\text{MPa}$$

(diasumsikan batang mengalami lentur)

4. Menghitung gaya yang terjadi pada batang baja berulir

$$T_{bot} = 2 A_s \sigma_{bot} = 50,8\text{kN}$$

$$T_{top} = 2 A_s \sigma_{top} = 0\text{kN}$$

5. Keseimbangan horizontal (menghitung gaya tekan kayu)

$$\sum H = 0; T_{bot} - T_{top} - C_k = 0; C_k = 50,8\text{kN}$$

6. Keseimbangan momen terhadap permukaan atas penampang balok (Gambar 5)

$$M_p = 7,5\text{kNm}; \sum M = 0;$$

$$M - p + T_{top} \cdot 15\text{mm} + C_k \cdot \frac{Y_k}{3} \dots$$

$$- T_{bot} \cdot 185\text{mm} = 0$$

$$Y_k = 110,2\text{mm}$$

7. Tegangan kayu (pada kondisi elastik)

$$\sigma_k = \frac{C_k}{0,5 \cdot Y_k \cdot b_k} = 8,75\text{MPa}$$

Keseimbangan gaya tekan dan tarik menghasilkan besarnya tinggi blok tekan ekuivalen sebesar 110.2 mm dan tegangan tekan kayu sebesar 8,75 MPa. Hasil analisis tegangan untuk benda uji A2 dan A3 ditabelkan pada tabel 4. Besarnya tegangan pada kondisi inelastik dapat dihitung dengan memasang strain gauges pada permukaan kayu agar didapat data regangan pada kayu yang akan digunakan untuk menghitung tegangan.

Tabel 4. Hasil Analisis Tegangan dan Regangan Hubungan Balok-Kolom

Benda uji	Gaya batang baja berulir (kNm/rad)	Tinggi blok tekan kayu (kNm/rad)	Tegangan kayu (MPa)
A1	50.8	110.2	8.7
A2	45.5	113.5	7.6
A3	27.8	134.4	3.9

#### 4.2 Analisis Perhitungan Blok Geser

Besarnya tahanan nominal blok geser dapat dihitung dengan persamaan (3)

$$T_n = 140 \cdot (30 + 36) \cdot (9,0) \cdot (0,75) = 62,37 \text{ kN}$$

Besarnya gaya batang baja berulir pada kondisi ultimit dihitung dengan persamaan (2)

$$T = \frac{11,1}{0,17} = 65,28 \text{ kN}$$

Hasil analisis perhitungan menunjukkan bahwa besarnya gaya batang baja berulir yang terjadi pada saat ultimit lebih besar dari tahanan nominal ragam kegagalan blok geser ( $T > T_n$ ) menyebabkan benda uji mengalami kegagalan blok geser sesuai dengan prediksi analisis ragam kegagalan dan hasil uji eksperimental.

## 5 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pola ragam kegagalan yang terjadi sesuai dengan hasil (gambar 4 dan gambar 7) analisis ragam kegagalan yaitu kegagalan pada blok geser di mana tahanan nominal blok geser hasil analisis sebesar 62,37 kN dan gaya ultimit hasil uji eksperimental yang terjadi ialah 65,28 kN.
2. Kekuatan lentur hubungan balok-kolom *glulam* dengan batang baja berulir pada penelitian ini sebesar 3,9 - 7,5 kNm (kondisi proporsional) dan 6,2 - 11,1 kNm (kondisi ultimit).
3. Kekakuan rotasi pada kondisi elastik ialah 106-125 kNm/rad, kekakuan rotasi pada kondisi in-elastik ialah 27- 65 kNm/rad.
4. Faktor bi-linier hubungan balok-kolom ini ialah 0,26 - 0,55.
5. Daktilitas hubungan balok-kolom ini ialah 2,07 - 2,53.
6. Analisis tegangan pada kondisi elastik menghasilkan besarnya tinggi blok tekan ekivalen sebesar 110,2 - 134,4 mm dan tegangan tekan kayu yang terjadi sebesar 3,9 - 8,7 MPa.

## REFERENSI

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Test Method for Small Clear Specimens of Timber. ASTM D143-94*, 2009.
- [2] KRETSCHMANN, D., AND S.V.GLASS. *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material.*, vol. Centennial eds. Forest Product Laboratory, 2009.
- [3] TANUWIJAYA, P. Perilaku hubungan balok-kolom kayu laminasi dengan sambungan cepat. Master's thesis, Universitas Katolik Parahyangan Bandung, 2014.