

## Pengaruh Dimensi dan Bentuk Lamina Zig-zag pada Kekuatan Geser dan Lentur Balok Laminasi-Vertikal Bambu Petung

**Mujiman**

Program Doktor Bidang Keahlian Rekayasa Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Universitas Gadjah Mada, E-mail: mujiman58@yahoo.com

**Henricus Priyosulistyo**

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan - Universitas Gadjah Mada  
E-mail: priyo\_ugm@yahoo.co.id

**Djoko Sulistyio**

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan - Universitas Gadjah Mada  
E-mail: djokosulistyo@yahoo.com

**TA. Prayitno**

Fakultas Kehutanan - Universitas Gadjah Mada  
E-mail: taprayitno@yahoo.com

### Abstrak

Kekuatan bambu semakin besar dari bagian dalam ke bagian luar. Kekuatan bambu dapat dimanfaatkan secara optimal dengan cara membuat balok bambu laminasi menggunakan lamina zig-zag. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan geser dan lentur balok bambu laminasi menggunakan lamina zig-zag dibandingkan dengan lamina persegi. Dimensi balok uji geser dan lentur berturut-turut 63/100-900 mm dan 63/100-2250 mm, panjang bentang pengujian 750 mm dan 2100 mm. Pengujian dilakukan diatas dua tumpuan sederhana sendi dan roll dengan dua beban terpusat masing-masing ditempatkan pada 1/3 panjang bentang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina zig-zag (Z7BL; Z9BL; Z7BG; Z9BG) lebih kuat, kaku dan daktil dibandingkan dengan menggunakan lamina persegi (P7BL; P9BL; P7BG; P9BG). Demikian juga balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina tebal 7 mm (Z7BL; Z7BG; P7BL; P7BG) lebih kuat, kaku dan daktil dibandingkan dengan menggunakan lamina tebal 9 mm (Z9BL; Z9BG; P9BL; P9BG). Kekuatan lentur balok uji P7BL, P9BL, Z7BL, Z9BL berturut-turut 41,36; 46,14; 48,04; 36,66 N/mm<sup>2</sup>. Kekakuannya berturut-turut 297,86; 273,58; 292,11; 242,82 N/mm dan daktilitasnya berturut-turut 4,97; 4,48; 4,20; 5,08. Kekuatan geser balok uji P7BG, P9BG, Z7BG, Z9BG berturut-turut 3,47; 3,27; 3,92; 3,68 N/mm<sup>2</sup>, dan kekakuannya berturut-turut 1924,20; 1659,45; 2252,02; 1838,18 N/mm.

**Kata-kata Kunci:** Lamina, Dimensi lamina, Bentuk lamina, Arah susunan lamina.

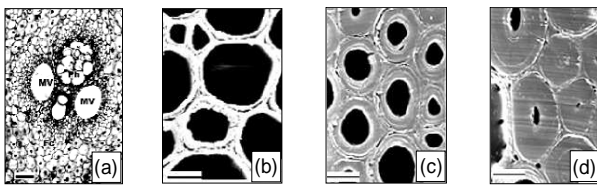
### Abstract

The strength of bamboo increases from the inside to the outer layer. Such strength can be utilized optimally by making laminated bamboo beams in zig-zag lamina. The objective of this research is to compare the shear and flexural strength of laminated bamboo beam with zig-zag bamboo beam and rectangular lamina. The dimensions of the shear and flexural beam of specimen were 63/100-900 mm and 63/100-2250 mm, respectively, with length of span of 750 mm and 2100 mm, respectively. The tests were carried out for two simple joint center, as well as for roll with two centered load. Each was positioned on the 1/3 of the length of span. Results indicated that the zig-zag lamina for laminated bamboo beam (Z7BL; Z9BL; Z7BG; Z9BG) was stronger, more stiff and more ductile than rectangular shape lamina (P7BL; P9BL; P7BG; P9BG). Also, bamboo beam with lamina thickness of 7 mm (Z7BL; Z7BG; P7BL; P7BG) was stonger, more stiff and more ductile than bamboo beam with lamina thickness of 9 mm (Z9BL; Z9BG; P9BL; P9BG). The flexural strength of specimen beam P7BL, P9BL, Z7BL, Z9BL was 41,36; 46,14; 48,04; 36,66 N/mm<sup>2</sup>, respectively. The stiffnes was 297,86; 273,58; 292,11; 242,82 N/mm, with ductility of 4,97; 4,48; 4,20; 5,08, respectively. The shear strength of the specimen P7BG, P9BG, Z7BG and Z9BG was 3,47; 3,27; 3,92; 3,68 N/mm<sup>2</sup>, with stiffness of 1924,20; 1659,45; 2252,02; 1838,18 N/mm, respectively.

**Keywords:** Laminate, Lamina dimensions, The shape of the lamina, The lamina arrangement.

### 1. Pendahuluan

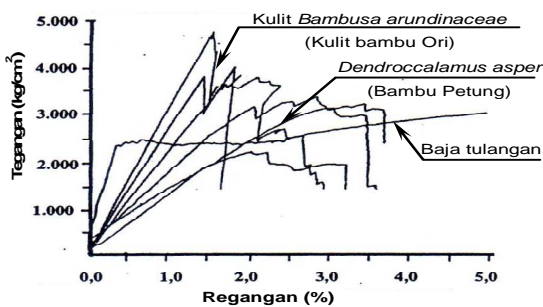
Bambu dan kayu adalah dua jenis bahan bangunan yang digunakan sejak jaman dahulu sampai sekarang. Bambu layak ditebang dengan kualitas baik pada umur berkisar antara (3~4) tahun dan pohon kayu hutan alam layak ditebang dengan kualitas baik pada umur berkisar antara (40~50) tahun (Prayitno, 2012). Semakin tua umur bambu semakin padat struktur serat, kepadatan optimum dicapai pada umur 4 tahun dan proses kepadatan semakin berkurang sampai mencapai umur 6 tahun, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1** (Xiaohong dan Yulong, 2005).



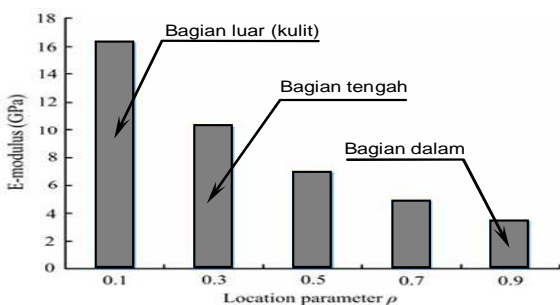
Serat bambu berumur (a) < 1 tahun (skala 100 μm), (b) 1 tahun, (c) 2 tahun, (d) 4 tahun (skala 5 μm) (Xiaohong dan Yulong, 2005)

**Gambar 1. Penampang melintang serat**

Kekuatan tarik bambu Petung sejajar serat pada internodia lebih besar dibandingkan dengan kekuatan tarik baja tulangan polos (lihat **Gambar 2**) (Morisco, 2006). Modulus elastisitas lentur bambu semakin besar dari bagian dalam ke bagian luar (kulit), (lihat pada **Gambar 3**) (Ma, J., et. al, 2008). Analisis statistik pada kekuatan lentur dan geser bambu Petung berasal dari Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh masing-masing 134,97 MPa dan 9,51 MPa (Irawati dan Saputra, 2012).



**Gambar 2. Diagram tegangan-regangan** (Morisco, 2006)



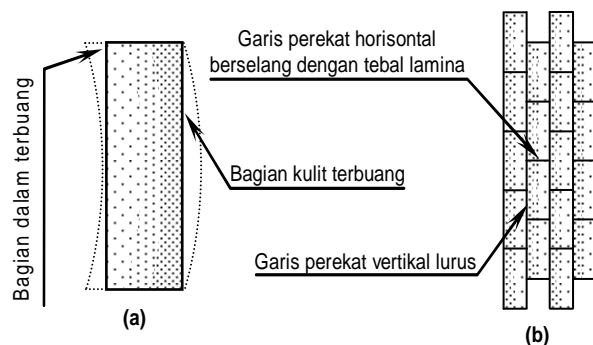
**Gambar 3. Modulus elastisitas lentur bambu** (Ma, dkk., 2008)

Balok laminasi bambu Petung yang dibuat dengan menggunakan lamina persegi lebar (25 dan 15) mm memiliki kekuatan lentur berturut-turut (69,20 dan 53,60) MPa (Budi A.S., dkk., 2012). Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi lebar (30 dan 25) mm memiliki nilai modulus elastisitas lentur berturut-turut (16229,00 dan 14339,17) MPa (Salim A., dkk., 2007).

Balok laminasi bambu Petung yang dibuat dengan menggunakan lamina persegi disusun vertikal mampu meningkatkan kekuatan geser dan lentur berturut-turut 35,95% dan 35,93% terhadap lamina persegi disusun horizontal (Nasriadi, dkk., 2012). Balok laminasi bambu Petung yang dibuat menggunakan bambu berumur (1~2; 2~3; 3~5) tahun masing-masing memiliki kekuatan lentur (77,19; 113,11; 129,88) MPa (Maduretno, T., dkk, 2010) dan memiliki kekuatan geser berturut-turut (2,36; 3,54; 4,27) MPa (Paling, T., dkk., 2010).

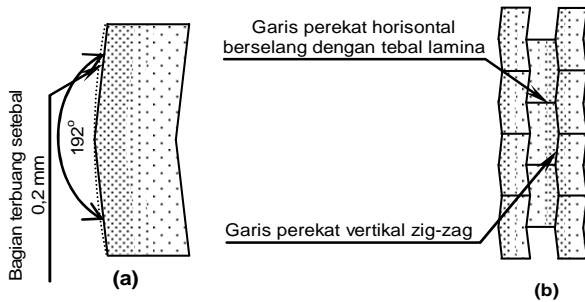
Lamina persegi dibuat dengan cara meratakan dan menghaluskan bambu bagian dalam dan bagian kulit, sehingga banyak bambu bagian kulit yang memiliki kekuatan paling besar terbuang (lihat **Gambar 4a**). Agar bambu bagian kulit tidak terbuang, maka dalam penelitian ini dibuat balok bambu laminasi dengan menggunakan lamina bentuk zig-zag. Lamina bentuk zig-zag dibuat dengan cara hanya mengelupas bambu bagian kulit setebal 0,2 mm (lihat **Gambar 5a**).

Lamina bentuk persegi disusun vertikal *brick type* arah lebar lamina (lihat **Gambar 4b**), maka akan menghasilkan garis perekat arah vertikal lurus dan arah horizontal berselang dengan tebal lamina, dengan demikian beban geser dapat ditahan bersama-sama oleh bambu dan perekat. Lamina bentuk zig-zag disusun vertikal *brick type* arah lebar lamina (lihat **Gambar 5b**), akan menghasilkan garis perekat arah vertikal zig-zag dan arah horizontal berselang dengan tebal lamina, sehingga pada arah vertikal lebih baik dibanding dengan lurus dan gaya geser dapat ditahan bersama-sama oleh bambu dan perekat.



(a) bambu bagian kulit terbuang, (b) lamina persegi disusun vertikal *brick type* arah lebar lamina

**Gambar 4. Lamina bentuk persegi**



(a) bambu bagian kulit terbuang setebal 0,2 mm, (d) lamina bentuk zig-zag disusun vertikal brick type arah lebar lamina

**Gambar 5. Lamina bentuk zig-zag**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan geser dan lentur balok bambu laminasi menggunakan lamina bentuk zig-zag dibandingkan dengan menggunakan lamina bentuk persegi

## 2. Perekatan

### 2.1 Perekat terlabur

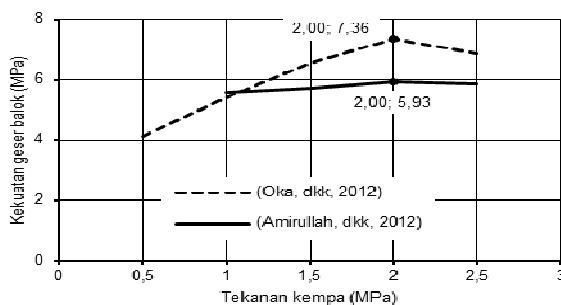
Sistem perekatan yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah kedua bidang yang direkat diolesi perekat sebesar 50#MDGL, sehingga jumlah perekat yang dibutuhkan dihitung menggunakan **Persamaan 1** berikut.

$$GPU = \frac{50 * A}{2048,3} \text{ (gram)} \quad (1)$$

Dari **Persamaan 1**, GPU atau *Gram Pick Up* adalah jumlah perekat yang dibutuhkan (gram), dan A adalah luas bidang yang akan direkat (cm<sup>2</sup>).

### 2.2 Pengempaan

Balok laminasi bambu Petung yang dibuat dengan menggunakan tekanan kempa (0,50; 1,00; 1,50; 2,00; 2,50) MPa dapat menghasilkan kekuatan geser balok berturut-turut (4,14; 5,40; 6,55; 7,36; 6,86) MPa (Oka G.M., dkk., 2012). Balok laminasi bambu Ampel yang dibuat menggunakan tekanan kempa (1,0; 1,5; 2,0; 2,5) MPa dapat menghasilkan kekuatan geser balok berturut-turut (5,596; 5,714; 5,931; 5,877) MPa (Amirullah K., dkk., 2012). Hubungan nilai kekuatan geser balok dan tekanan kempa dapat dilihat pada **Gambar 6** berikut.



**Gambar 6. Hubungan kekuatan geser balok dan tekanan kempa**

Pada **Gambar 6** menunjukkan bahwa seiring dengan berubahnya tekanan kempa berubah pula kekuatan geser balok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tekanan kempa 2,0 MPa dicapai kekuatan geser maksimum masing-masing 7,36 MPa dan 5,93 MPa.

## 3. Analisis Balok

### 3.1 Kekuatan lentur

Kekuatan lentur balok uji dianalisis pada beban batas proporsional menggunakan metode pias yang dapat menghasilkan nilai momen internal sama dengan nilai momen eksternal. Nilai momen tersebut digunakan sebagai dasar menghitung kekuatan lentur balok uji menggunakan **Persamaan 2** berikut.

$$M = \sigma \frac{b h^2}{6} \quad (2)$$

Dari **Persamaan 2**, M adalah momen eksternal yang terjadi (Nmm),  $\sigma$  adalah tegangan lentur yang terjadi pada balok (MPa), b adalah lebar penampang balok (mm), dan h adalah tinggi penampang balok (mm).

### 3.2 Kekuatan geser

Kekuatan geser balok laminasi dianalisis berdasarkan nilai beban batas proporsional dengan menggunakan **Persamaan 3** berikut.

$$\tau = \frac{3 V}{2 A} \quad (3)$$

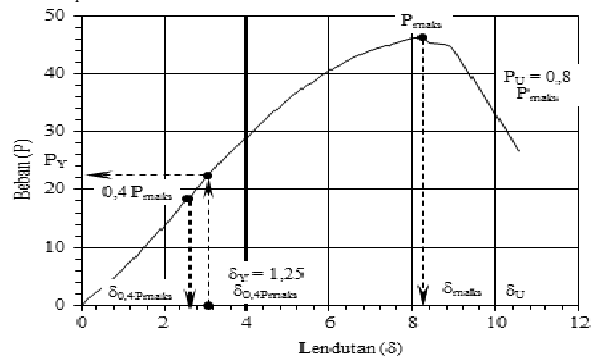
Dari **Persamaan 3**,  $\tau$  adalah kekuatan geser balok (MPa), V adalah gaya geser maksimum (N), dan A adalah luas penampang melintang balok (mm<sup>2</sup>).

Nilai beban batas proporsional dihitung mengikuti prosedur pada **Gambar 7**.

### 3.3 Kekakuan

Kekakuan balok uji dianalisis berdasarkan nilai beban dan lendutan batas proporsional (yield) menggunakan **Persamaan 4** berikut.

$$K = \frac{P_Y}{\delta_Y} \quad (4)$$



**Gambar 7. Menentukan P<sub>Y</sub> dan  $\delta_Y$  pada hubungan beban lendutan**

Dari **Persamaan 4**,  $K$  adalah kekakuan balok uji ( $N/mm$ ),  $P_Y$  adalah beban batas proporsional ( $N$ ), dan  $\delta_Y$  adalah lendutan pada beban batas proporsional ( $mm$ ).

**3.4 Daktilitas**

Nilai daktilitas ( $\mu$ ) dikelompokkan menjadi tiga yaitu daktilitas rendah ( $\mu \leq 1,5$ ), daktil ( $1,5 < \mu < 4,0$ ), dan sangat daktil ( $\mu \geq 4,0$ ). Nilai daktilitas dihitung berdasarkan *standard Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)* dengan menggunakan **Persamaan 5** (Muñoz, dkk., 2008).

$$\mu = \frac{\delta_U}{\delta_Y} \tag{5}$$

Dari **Persamaan 5**,  $\mu$  adalah daktilitas,  $\delta_U$  adalah lendutan ultimate ( $mm$ ), dan  $\delta_Y$  adalah lendutan pada beban batas proporsional ( $mm$ ).

**3.5 Panjang bentang pengujian**

Panjang bentang pengujian ditentukan berdasarkan nilai panjang bentang pada saat balok mengalami kegagalan lentur dan geser bersamaan. Nilai panjang bentang pada saat balok mengalami kegagalan lentur dan geser bersamaan dihitung dengan menggunakan **Persamaan 6** berikut

$$L_{(ltr,gsr)} = \frac{3 \sigma_{ltr} h}{4 \tau_{gsr}} \tag{6}$$

Dari **Persamaan 6**,  $L_{(ltr,gsr)}$  adalah panjang bentang pada saat balok mengalami kegagalan lentur dan geser bersamaan ( $mm$ ),  $\sigma_{ltr}$  adalah tegangan lentur bambu laminasi ( $MPa$ ),  $\tau_{gsr}$  adalah tegangan geser bambu laminasi ( $MPa$ ), dan  $h$  adalah tinggi penampang melintang balok laminasi ( $mm$ ).

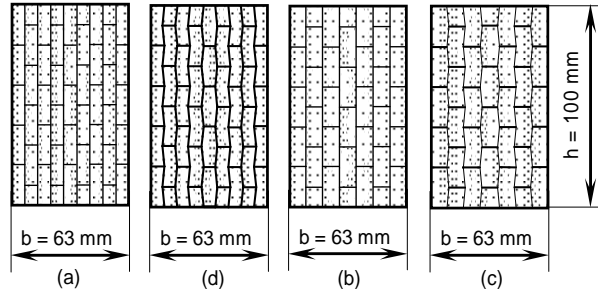
Agar terjadi kegagalan lentur, maka nilai panjang bentang pengujian lentur diambil jauh lebih besar dari pada panjang bentang pada saat balok mengalami kegagalan geser dan lentur bersamaan ( $L_{ltr} > L_{(ltr,gsr)}$ ), dan nilai panjang bentang pengujian geser diambil lebih kecil dari pada panjang bentang pada saat balok mengalami kegagalan geser dan lentur bersamaan ( $L_{gsr} < L_{(ltr,gsr)}$ ).

**3.6 Analisis dimensi balok uji**

Lebar balok uji ( $b$ ) ditentukan berdasarkan kelipatan tebal dan jumlah lamina yaitu  $b = 7 \times 9 \text{ mm} = 63 \text{ mm}$  atau  $b = 9 \times 7 \text{ mm} = 63 \text{ mm}$ , adapun tinggi ( $h$ ) ditentukan berdasarkan kelipatan lebar lamina yaitu  $h = 5 \times 20 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$ . Nilai  $h = 100/63 \text{ b}$  atau nilai  $h < 2b$  adalah penampang stabil tanpa harus dipasang pengaku lateral horisontal. Bentuk dan dimensi penampang melintang balok uji dapat dilihat pada **Gambar 8**.

Panjang balok uji geser dan uji lentur ditentukan berdasarkan panjang bentang pada saat balok uji mengalami kegagalan geser dan lentur bersamaan  $L_{(ltr,gsr)}$ . Nilai  $L_{(ltr,gsr)}$  dihitung dengan menggunakan

**Persamaan 6** berdasarkan nilai tegangan lentur bambu Petung  $134,97 \text{ MPa}$ , nilai tegangan geser sejajar serat  $9,51 \text{ MPa}$  dan tinggi penampang balok  $100 \text{ mm}$  diperoleh  $L_{(ltr,gsr)} = 1064,43 \text{ mm}$ . Panjang bentang pengujian geser diambil  $750 \text{ mm}$  ( $70,46\% L_{(ltr,gsr)}$ ) dan panjang bentang pengujian lentur diambil  $2100 \text{ mm}$  ( $197,29\% L_{(ltr,gsr)}$ ). Kedua ujung balok uji masing-masing ditambah  $0,75 \text{ h}$  sehingga panjang balok uji geser  $L_{gsr} = 900 \text{ mm}$  dan panjang balok uji lentur  $L_{ltr} = 2250 \text{ mm}$ , (lihat pada **Gambar 9**).



Lamina persegi dan zig-zag disusun vertikal *brick type* arah lebar lamina  
(a) dan (b) lamina tebal  $7 \text{ mm}$ , (c) dan (d) lamina tebal  $9 \text{ mm}$

**Gambar 8. Penampang melintang balok uji**

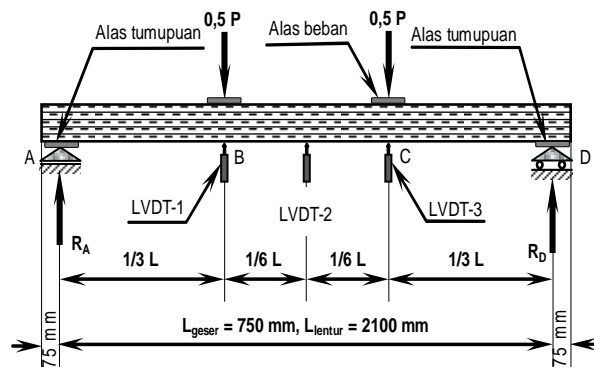
Kode dan jumlah balok uji dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

**Tabel 1. Kode dan jumlah balok uji**

No	Kode balok uji	Jumlah
1	P7BL-(1 s.d. 3)	3 balok
2	P9BL-(1 s.d. 3)	3 balok
3	Z7BL-(1 s.d. 3)	3 balok
4	Z9BL-(1 s.d. 3)	3 balok
5	P7BG-(1 s.d. 3)	3 balok
6	P9BG-(1 s.d. 3)	3 balok
7	Z7BG-(1 s.d. 3)	3 balok
8	Z9BG-(1 s.d. 3)	3 balok
Jumlah		24 balok

**3.7 Setting balok uji**

Setting balok uji geser dan uji lentur dapat dilihat pada **Gambar 9** berikut.



**Gambar 9. Setting balok uji**

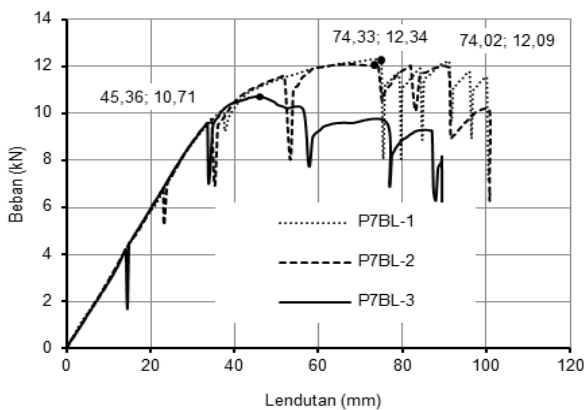
## 4. Hasil Pengujian dan Pembahasan

### 4.1 Data hasil pengujian

Data hasil pengujian balok uji diperlihatkan dalam bentuk hubungan beban dan lendutan pada setiap jenis balok uji.

#### 4.1.1 Data hasil pengujian lentur balok uji P7BL-1, P7BL-2, dan P7BL-3

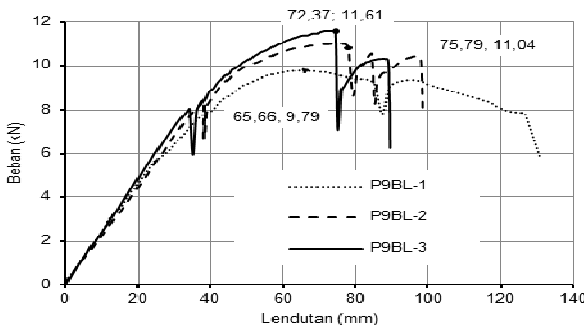
Kurva hubungan beban dan lendutan menunjukkan bahwa perilaku balok uji P7BL-1, P7BL-2, P7BL-3 sama sejak mulai dibebani sampai mencapai beban maksimum yang berlanjut beban runtuh, sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 10**. Ketiga balok uji mengalami kegagalan geser pada nilai beban berturut-turut (11,41 ; 10,12 ; 9,30) kN dan nilai lendutan (98,97 ; 100,78 ; 85,19) mm.



**Gambar 10. Hubungan beban-lendutan balok uji P7BL-1, P7BL-2, P7BL-3**

#### 4.1.2 Data hasil pengujian lentur balok uji P9BL-1, P9BL-2, dan P9BL-3

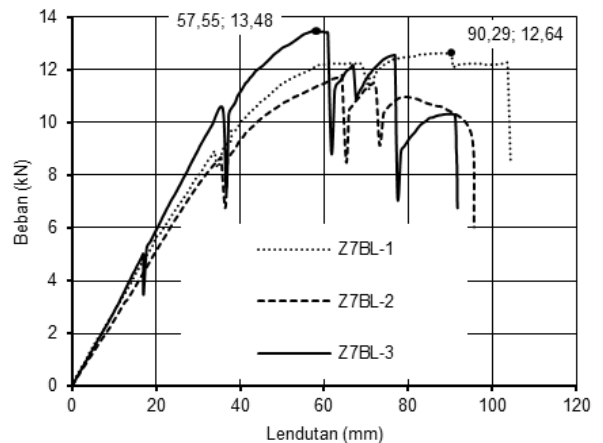
Tren hubungan beban dan lendutan menunjukkan balok uji P9BL-3 paling kaku disusul berturut-turut P9BL-2 dan P9BL1 sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 11**. Balok uji P9BL-1, P9BL-2 dan P9BL-3 mengalami kegagalan geser pada beban berturut-turut (7,90 ; 10,43 ; 10,31) kN dan nilai lendutan (124,37 ; 96,01 ; 86,48) mm.



**Gambar 11. Hubungan beban-lendutan balok uji P9BL-1, P9BL-2, P9BL-3**

#### 4.1.3 Data hasil pengujian lentur balok uji Z7BL-1, Z7BL-2, dan Z7BL-3

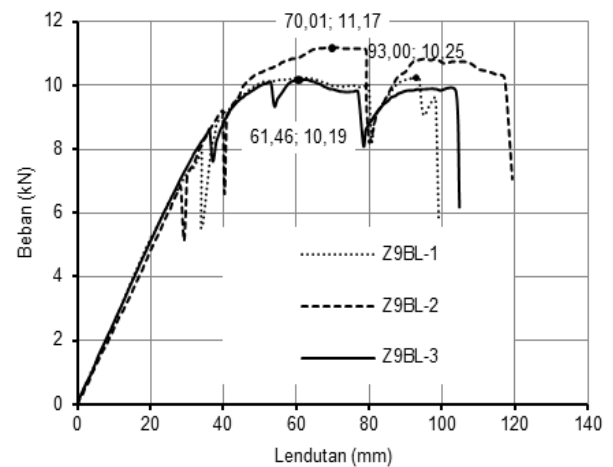
Balok uji Z7BL-2 memiliki tren hubungan beban dan lendutan paling kaku disusul kemudian Z7BL-2 dan terakhir Z7BL-3 sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 12**. Balok uji Z7BL-1, Z7BL-2 dan Z7BL-3 mengalami kegagalan lentur pada beban berturut-turut (12,20 ; 10,54 ; 10,32) kN dan nilai lendutan (101,17 ; 88,62 ; 89,96) mm.



**Gambar 12. Hubungan beban-lendutan balok uji Z7BL-1, Z7BL-2, dan Z7BL-3**

#### 4.1.4 Data hasil pengujian lentur balok uji Z9BL-1, Z9BL-2, dan Z9BL-3

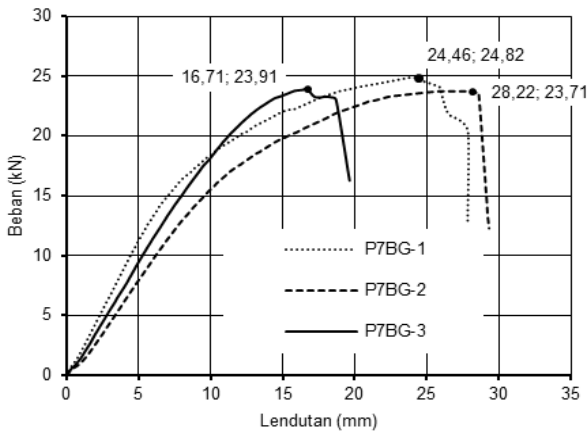
Balok uji Z9BL-1, Z9BL-2 dan Z9BL-3 memiliki tren hubungan beban dan lendutan sama sejak mulai dibebani sampai mencapai beban runtuh sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 13**. Ketiga balok uji mengalami kegagalan lentur masing-masing pada nilai beban berturut-turut (9,54 ; 11,15 ; 9,79) kN dan lendutan (97,38 ; 77,29 ; 74,01) mm.



**Gambar 13. Hubungan beban-lendutan balok uji Z9BL-1, dan Z9BL-2, Z9BL-3**

**4.1.5 Data hasil pengujian geser balok uji P7BG-1, P7BG-2, dan P7BG-3**

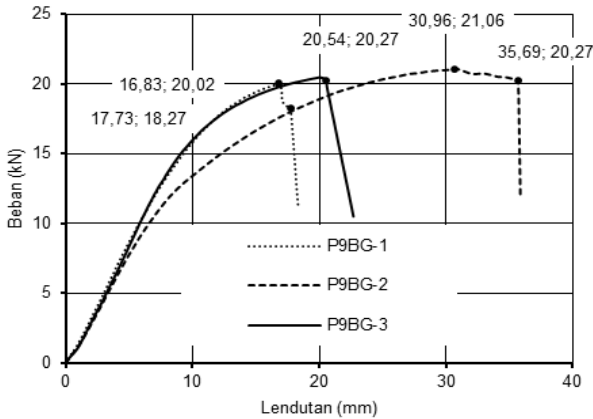
Balok uji P7BG-1 memiliki tren hubungan beban dan lendutan sama dengan P7BG-2 sejak mulai dibebani sampai mencapai beban runtuh, namun balok uji P7BG-3 memiliki tren hubungan beban dan lendutan berbeda yang cenderung lebih kaku. Paling kaku balok uji P7BG-1 disusul kemudian P7BG-3 dan terakhir P7BG-3 sebagaimana diperlihatkan pada **Gambar 14** berikut. Balok uji P7BG-1, P7BG-2, dan P7BG-3 mengalami kegagalan geser pada beban berturut-turut (20,31 ; 23,62 23,04) kN dan lendutan (27,87 ; 28,44 ; 18,70) mm.



**Gambar 14. Hubungan beban-lendutan balok uji P7BG-1, P7BG-2, dan P7BG-3**

**4.1.6 Data hasil pengujian geser balok uji P9BG-1, P9BG-2, dan P9BG-3**

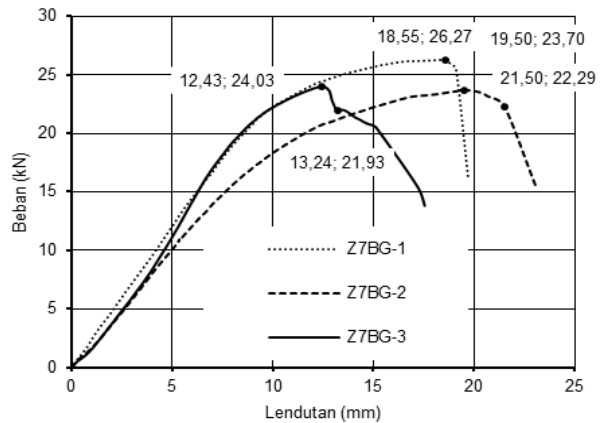
Kurva hubungan beban dan lendutan pada **Gambar 15** menunjukkan bahwa balok uji P9BG-1 dan P9BG-3 memiliki tren sama sejak mulai dibebani sampai mencapai beban runtuh, namun balok uji P9BG-2 memiliki tren berbeda yang lebih daktail. Balok uji P9BG-1, P9BG-2, dan P9BG-3 mengalami kegagalan geser pada nilai beban berturut-turut (18,27 ; 20,27 ; 20,29) kN dengan nilai lendutan (17,73 ; 35,65 ; 20,54) mm.



**Gambar 15. Hubungan beban-lendutan balok uji P9BG-1, P9BG-2, dan P9BG-3**

**4.1.7 Data hasil pengujian geser balok uji Z7BG-1, Z7BG-2, dan Z7BG-3**

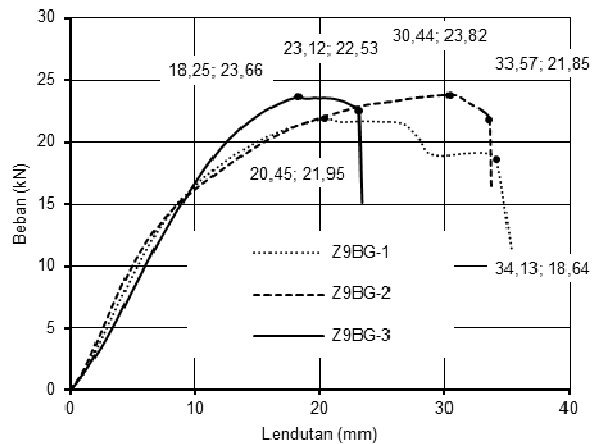
Balok uji Z7BG-1 memiliki tren hubungan beban dan lendutan paling kaku disusul kemudian Z7BG-3 dan terakhir Z7BG-2 sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 16** berikut. Balok uji Z7BG-1, Z7BG-2, dan Z7BG-3 mengalami kegagalan geser pada nilai beban berturut-turut (25,43 ; 22,29 ; 15,45) kN dengan nilai lendutan (19,10 ; 21,50 ; 17,18) mm.



**Gambar 16. Hubungan beban-lendutan balok uji Z7BG-1, Z7BG-2, dan Z7BG-3**

**4.1.8 Data hasil pengujian geser balok uji Z9BG-1, Z9BG-2, dan Z9BG-3**

Balok uji Z9BG-1, Z9BG-2, dan Z9BG-3 mengalami kegagalan geser pada beban berturut-turut (18,64 ; 21,85 ; 22,53) kN dan nilai lendutan (34,13 ; 33,57 ; 23,12) mm. Balok uji Z9BG-1 dan Z9BG-2 memiliki tren hubungan beban dan lendutan sama sejak dibebani sampai mencapai beban maksimum, namun balok uji Z9BG-3 memiliki tren lebih daktail. Balok uji Z9BG-1 dan Z9BG-2 mengalami perubahan elevasi hubungan beban dan lendutan lebih besar dibandingkan dengan balok uji Z9BG-3, sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 17** berikut.



**Gambar 17. Hubungan beban-lendutan balok uji Z9BG-1, Z9BG-2, dan Z9BG-3**

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Pengaruh tebal lamina pada kekuatan lentur, kekakuan dan daktilitas balok uji P7BL-1,2,3 dan P9BL-1,2,3

#### a. Kekuatan

Nilai beban dan lendutan batas proporsional balok uji P7BL-1,2,3 dan P9BL-1,2,3 dianalisis mengikuti prosedur pada **Gambar 7**, hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 2**. Nilai tegangan lentur kedua balok uji dianalisis menggunakan **Persamaan 2**, hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2. Kekuatan balok uji P7BL-1,2,3 dan P9BL-1,2,3**

Balok uji	$P_{maks}$ (N)	$P_Y$ (mm)	$\delta_Y$ (N)	$\sigma_{tr}$ (MPa)
P7BL-1,2,3	11716,67	5756,67	19,35	41,36
P9BL-1,2,3	10806,67	6423,33	23,49	46,14

Hasil analisis menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi tebal 9 mm lebih kuat 11,58% terhadap tebal 7 mm. Hal ini menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina semakin tebal semakin kuat.

#### b. Kekakuan

Nilai kekakuan balok uji P7BL-1,2,3 dan P9BL-1,2,3 pada beban dan lendutan batas proporsional dianalisis menggunakan **Persamaan 4**. Hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

**Tabel 3. Kekakuan balok uji P7BL-1,2,3 dan P9BL-1,2,3**

Balok uji	$P_Y$ (N)	$\delta_Y$ (mm)	$K_Y$ (N/mm)
P7BL-1,2,3	5756,67	19,35	297,86
P9BL-1,2,3	6423,33	23,49	273,58

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi tebal 7 mm lebih kaku 8,87% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi tebal 9 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina dengan porsi sebanyak mungkin bambu bagian kulit maka balok bambu laminasi semakin kaku.

#### c. Daktilitas

Nilai daktilitas balok uji P7BL-1,2,3 dan P9BL-1,2,3 dianalisis menggunakan **Persamaan 5**. Hasil analisis daktilitas kedua balok uji ditunjukkan pada **Tabel 4** berikut.

**Tabel 4. Daktilitas balok uji P7BL-1,2,3 dan P9BL-1,2,3**

Balok uji	$\delta_U$ (mm)	$\delta_Y$ (mm)	$\mu$ ( $\delta_U/\delta_Y$ )
P7BL-1,2,3	96,00	19,35	4,97
P9BL-1,2,3	104,06	23,49	4,48

Nilai daktilitas balok uji P7BL-1,2,3 dan P9BL-1,2,3 berturut-turut 4,97 dan 4,48 termasuk kategori sangat daktil. Hasil analisis daktilitas menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina dengan porsi bagian kulit bambu semakin banyak maka balok bambu laminasi semakin daktil.

### 4.2.2 Pengaruh tebal lamina pada kekuatan lentur, kekakuan dan daktilitas balok uji Z7BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3

#### a. Kekuatan

Balok uji Z7BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3 mampu menahan beban maksimum berturut-turut (12120,00 ; 10390,00) N. Beban dan lendutan batas proporsional dianalisis mengikuti prosedur pada **Gambar 7** berdasarkan nilai beban maksimum. Tegangan lentur kedua balok uji pada beban batas proporsional dianalisis menggunakan **Persamaan 2**. Hasil analisis tegangan lentur kedua balok uji dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut.

**Tabel 5. Kekuatan balok uji Z7BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3**

Balok uji	$P_{maks}$ (N)	$P_Y$ (mm)	$\delta_Y$ (N)	$\sigma_{tr}$ (MPa)
Z7BL-1,2,3	12626,67	6686,67	22,88	48,04
Z9BL-1,2,3	10533,33	5103,33	20,98	36,66

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina zig-zag tebal 7 mm (Z7BL-1,2,3) lebih kuat 31,04% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina tebal 9 mm (Z9BL-1,2,3). Hal ini menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina semakin tipis dengan porsi semakin besar bambu bagian kulit, maka semakin kuat balok bambu laminasi yang dihasilkan.

#### b. Kekakuan

Nilai kekakuan balok uji Z7BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3 pada beban dan lendutan batas proporsional dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 4**. Hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Nilai kekakuan balok uji menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 7 mm (Z7BL-1,2,3) lebih besar 21,47% terhadap balok uji menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 9 mm (Z9BL-1,2,3). Hasil analisis kekakuan menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina semakin tipis dengan porsi semakin banyak bambu bagian kulit, maka balok bambu laminasi semakin kaku.

**Tabel 6. Kekakuan balok uji Z7BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3**

Balok uji rerata	$P_Y$ (N)	$\delta_Y$ (mm)	$K_Y$ (N/mm)
Z7BL-1,2,3	6686,67	22,88	292,11
Z9BL-1,2,3	5103,33	20,98	242,82

**c. Daktilitas**

Nilai daktilitas balok uji Z7BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3 dianalisis menggunakan **Persamaan 5**. Hasil analisis daktilitas kedua balok uji dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Nilai daktilitas balok uji Z7BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3 berturut-turut 4,20 dan 5,08 termasuk kategori sangat daktil. Hasil analisis daktilitas menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina semakin tipis dengan porsi sebanyak mungkin bambu bagian kulit, maka balok bambu laminasi yang dihasilkan semakin daktil.

**4.2.3 Pengaruh tebal lamina pada kekuatan dan kekakuan balok uji P7BG-1,2,3 dan P9BG-1,2,3**

**a. Kekuatan**

Beban batas proporsional balok uji P7BG-1,2,3 dan P9BG-1,2,3 dianalisis dengan mengikuti prosedur pada **Gambar 7**, hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 8**. Kekuatan geser kedua balok uji dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 3**, hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Kekuatan geser balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi tebal 7 mm (P7BL-1,2,3) lebih kuat 6,12% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi tebal 9 mm (P9BL-1,2,3). Hasil analisis kekuatan geser menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina semakin tipis dengan porsi semakin banyak bagian kulit bambu, maka balok semakin kuat.

**b. Kekakuan**

Nilai kekakuan balok uji P7BG-1,2,3 dan P9BG-1,2,3 pada beban batas proporsional dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 4**. Hasil analisis kekakuan ditunjukkan pada **Tabel 9**.

**Tabel 7. Daktilitas balok uji Z7BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3**

Balok uji	$\delta_U$ (mm)	$\delta_Y$ (mm)	M ( $\delta_U/\delta_Y$ )
Z7BL-1,2,3	95,78	22,88	4,20
Z9BL-1,2,3	106,42	20,98	5,08

**Tabel 8. Kekuatan balok uji P7BG-1,2,3 dan P9BG-1,2,3**

Balok uji rerata	$P_Y$ (N)	$\tau_{geser}$ (MPa)
P7BG-1,2,3	12092,64	3,47
P9BG-1,2,3	10269,27	3,27

**Tabel 9. Kekakuan balok uji P7BG-1,2,3 dan P9BG-1,2,3**

Balok uji	$P_Y$ (N)	$\delta_Y$ (mm)	$K_Y$ (N/mm)
P7BG-1,2,3	12092,64	6,38	1924,20
P9BG-1,2,3	10269,27	6,21	1659,45

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi tebal 7 mm (P7BG-1,2,3) lebih kaku 15,95% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi tebal 9 mm (P9BG-1,2,3). Hasil analisis kekakuan menunjukkan bahwa balok bambu lamiansi yang dibuat menggunakan lamina semakin tipis dengan porsi sebanyak mungkin bagian kulit bambu maka balok semakin kaku.

**4.2.4 Pengaruh tebal lamina pada kekuatan dan kekakuan balok uji Z7BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3**

**a. Kekuatan**

Balok uji Z7BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3 mengalami kegagalan geser pada beban dan lendutan masing-masing (23490,00 ; 21010,00) N dan lendutan (17,91 ; 30,27) mm. Nilai kekuatan geser kedua balok uji dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 3**, hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 7 mm (Z7BG-1,2,3) lebih kuat 6,52% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 9 mm (Z9BG-1,2,3). Hasil analisis kekuatan geser kedua balok uji menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina semakin tipis dengan porsi semakin banyak bagian kulit bambu, maka balok laminasi semakin kuat.

**b. Kekakuan**

Nilai kekakuan balok uji Z7BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3 pada beban batas proporsional dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 4**. Hasil analisis kekakuan ditunjukkan pada **Tabel 11**.

Hasil analisis kekakuan menunjukkan bahwa balok bambu lamiansi yang dibuat menggunakan lamina semakin tipis dengan porsi semakin banyak bagian kulit bambu, maka balok laminasi semakin kaku. Kekakuan balok uji menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 7 mm lebih kaku 22,51% terhadap balok uji menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 9 mm.

**Tabel 10. Kekuatan balok uji Z7BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3**

Balok uji	$P_Y$ (N)	$\tau_{geser}$ (MPa)
Z7BG-1,2,3	12328,26	3,92
Z9BG-1,2,3	11573,32	3,68

**Tabel 11. Kekakuan balok uji Z7BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3**

Balok uji	$P_Y$ (N)	$\delta_Y$ (mm)	$K_Y$ (N/mm)
Z7BG-1,2,3	12328,26	5,47	2252,02
Z9BG-1,2,3	11573,32	6,33	1838,18



#### 4.2.5 Pengaruh bentuk lamina pada kekuatan, kekakuan dan daktilitas balok uji P7BL-1,2,3 dan Z7BL-1,2,3

##### a. Kekuatan

Balok uji P7BL-1,2,3 dan Z7BL-1,2,3 mengalami kegagalan lentur pada beban dan lendutan berturut-turut (11090,00 ; 1112,00) N dan (86,74 ; 90,93) mm. Dengan mengikuti prosedur pada **Gambar 7**, dapat diperoleh beban dan lendutan batas proporsional. Nilai tegangan lentur kedua balok uji pada beban batas proporsional dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 2**. Hasil analisis tegangan lentur dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina bentuk zig-zag lebih kuat 16,15% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi. Hasil analisis kekuatan lentur menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat dengan garis perekat arah vertikal zig-zag lebih baik dibandingkan dengan garis perekat arah vertikal lurus.

##### b. Kekakuan

Nilai kekakuan balok uji P7BL-1,2,3 dan Z7BL-1,2,3 pada beban dan lendutan batas proporsional dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 4**. Hasil analisis ditunjukkan pada **Tabel 13**.

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina tebal 7 mm bentuk persegi (P7BL-1,2,3) lebih kaku 1,97% terhadap bentuk zig-zag (Z7BL-1,2,3). Hasil analisis menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat dengan bentuk garis perekat arah vertikal zig-zag tidak memberi kontribusi pada kekakuan balok uji.

##### c. Daktilitas

Nilai daktilitas balok uji P7BL-1,2,3 dan Z7BL-1,2,3 dianalisis menggunakan **Persamaan 5**. Hasil analisis daktilitas ditunjukkan pada **Tabel 14**.

**Tabel 12. Kekuatan balok uji P7BL-1,2,3 dan Z7BL-1,2,3**

Balok uji rerata	$P_{maks}$ (N)	$P_Y$ (mm)	$\delta_Y$ (N)	$\sigma_{ltr}$ (MPa)
P7BL-1,2,3	11716,67	5756,67	19,35	41,36
Z7BL1,2,3	12626,67	6686,67	22,88	48,04

**Tabel 13. Kekakuan balok uji P7BL-1,2,3 dan Z7BL-1,2,3**

Balok uji rerata	$P_Y$ (N)	$\delta_Y$ (mm)	$K_Y$ (N/mm)
P7BL-1,2,3	5756,67	19,35	297,86
Z7BL1,2,3	6686,67	22,88	292,11

**Tabel 14. Daktilitas balok uji P7BL-1,2,3 dan Z7BL-1,2,3**

Balok uji	$\delta_U$ (mm)	$\delta_Y$ (mm)	$\mu$ ( $\delta_U/\delta_Y$ )
P7BL-1,2,3	96,00	19,35	4,97
Z7BL1,2,3	95,78	22,88	4,20

Nilai daktilitas balok uji P7BL-1,2,3 dan Z7BL-1,2,3 masing-masing 4,97 dan 4,20 termasuk kategori sangat daktil. Hasil analisis daktilitas menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat dengan menggunakan lamina persegi lebih daktil 18,33% terhadap lamina zigzag.

#### 4.2.6 Pengaruh bentuk lamina pada kekuatan, kekakuan dan daktilitas balok uji P9BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3

##### a. Kekuatan

Beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok uji P9BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3 berturut-turut (10630,00; 10390,00) N. Dengan mengikuti prosedur pada **Gambar 7**, dapat diperoleh nilai beban batas proporsional. Nilai tegangan lentur kedua balok uji pada beban batas proporsional dianalisis dengan menggunakan **Persamaan 2**, hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 15**.

Hasil analisis kekuatan lentur menunjukkan bahwa balok uji yang dibuat menggunakan lamina bentuk persegi lebih kuat 25,86% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina zig-zag.

##### b. Kekakuan

Nilai kekakuan balok uji P9BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3 pada beban dan lendutan maksimum dianalisis menggunakan **Persamaan 4**, hasil analisis dapat dilihat pada **Tabel 16**.

Hasil analisis menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi tebal 9 mm (P9BL-1,2,3) lebih kaku 12,67% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina zig-zag (Z9BL-1,2,3).

##### c. Daktilitas

Nilai daktilitas balok uji P9BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3 dianalisis menggunakan **Persamaan 5**, hasil analisis daktilitas dapat dilihat pada **Tabel 17**.

**Tabel 15. Kekuatan lentur balok uji P9BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3**

Balok uji	$P_{maks}$ (N)	$P_Y$ (mm)	$\delta_Y$ (N)	$\sigma_{ltr}$ (MPa)
P9BL-1,2,3	10806,67	6423,33	23,49	46,14
Z9BL-1,2,3	10533,33	5103,33	20,98	36,66

**Tabel 16. Kekakuan balok uji P9BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3**

Balok uji rerata	$P_Y$ (N)	$\delta_Y$ (mm)	$K_Y$ (N/mm)
P9BL-1,2,3	6423,33	23,49	273,58
Z9BL-1,2,3	5103,33	20,98	242,82

**Tabel 17. Daktilitas balok uji P9BL-1,2,3 dan Z9BL-1,2,3**

Balok uji	$\delta_U$ (mm)	$\delta_Y$ (mm)	$\mu$ ( $\delta_U/\delta_Y$ )
P9BL-1,2,3	104,06	23,49	4,48
Z9BL-1,2,3	106,42	20,98	5,08

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina zig-zag tebal 9 mm (Z9BL-1,2,3) lebih daktil 13,39% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi (P9BL-1,2,3). Nilai daktilitas kedua balok uji berturut-turut 4,48 dan 5,08 termasuk kategori sangat daktil. Analisis daktilitas menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat dengan garis perekat arah vertikal bentuk zig-zag lebih baik dibandingkan dengan garis perekat arah vertikal lurus.

#### 4.2.7 Pengaruh bentuk lamina pada kekuatan dan kekakuan balok uji P7BG-1,2,3 dan Z7BG-1,2,3

##### a. Kekuatan

Balok uji P7BG-1,2,3 dan Z7BG-1,2,3 mengalami kegagalan geser pada beban dan lendutan berturut-turut (22960,00 ; 23230,00) N dan (24,38 ; 18,18) mm. Beban batas proporsional dianalisis berdasarkan nilai beban maksimum dengan mengikuti prosedur pada Gambar 7. Nilai kekuatan geser kedua balok uji dianalisis menggunakan Persamaan 3, hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 18.

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina zig-zag tebal 7 mm (Z7BG-1,2,3) lebih kuat 12,97% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi (P7BG-1,2,3). Hasil analisis menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat dengan garis perekat arah vertikal bentuk zig-zag lebih kuat dibandingkan dengan garis perekat arah vertikal lurus.

##### b. Kekakuan

Kekakuan balok uji P7BG-1,2,3 dan Z7BG-1,2,3 pada beban dan lendutan batas proporsional dianalisis menggunakan Persamaan 4, hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 19.

Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 7 mm (Z7BG-1,2,3) lebih kaku 31,88% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina persegi (P7BG-1,2,3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa garis perekat arah vertikal bentuk zig-zag dapat memberi kontribusi kekakuan balok bambu laminasi.

Tabel 18. Kekuatan balok uji P7BG-1,2,3 dan Z7BG-1,2,3

Balok uji	$P_Y$ (N)	$\tau_{geser}$ (MPa)
P7BG-1,2,3	12092,64	3,47
Z7BG-1,2,3	12328,26	3,92

Tabel 19. Kekakuan balok uji P7BG-1,2,3 dan Z7BG-1,2,3

Balok uji rerata	$P_Y$ (N)	$\delta_Y$ (mm)	$K_Y$ (N/mm)
P7BG-1,2,3	12092,64	6,38	1924,20
Z7BG-1,2,3	12328,26	5,47	2252,02

#### 4.2.8 Pengaruh bentuk lamina pada kekuatan dan kekakuan balok uji P9BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3.

##### a. Kekuatan

Beban batas proporsional balok uji P9BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3 dianalisis berdasarkan beban maksimum mengikuti prosedur pada Gambar 7, hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 20. Kekuatan geser kedua balok uji dianalisis menggunakan Persamaan 3, hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 20.

Hasil analisis menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 9 mm (Z9BG-1,2,3) lebih kuat 12,54% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat dengan menggunakan lamina bentuk persegi (P9BG-1,2,3).

##### b. Kekakuan

Nilai beban dan lendutan batas proporsional balok uji P9BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3 dianalisis menggunakan prosedur pada Gambar 7. Hasil analisis kekakuan kedua balok uji pada beban dan lendutan batas proporsional menggunakan Persamaan 4 dapat dilihat pada Tabel 21.

Hasil analisis menunjukkan bahwa balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina bentuk zig-zag tebal 9 mm (Z9BG-1,2,3) lebih kaku 10,77% terhadap balok bambu laminasi yang dibuat dengan menggunakan lamina persegi (P9BG-1,2,3).

## 5. Kesimpulan

- Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina tebal 7 mm bentuk persegi lebih kuat 16,28% terhadap bentuk zig-zag, namun bentuk zig-zag lebih kaku dan daktil berturut-turut 1,97% dan 18,33% terhadap lamina bentuk persegi. Nilai kekuatan lentur, kekakuan dan daktilitas balok uji Z7BL dan P7BL masing-masing 41,35 dan 48,08 N/mm<sup>2</sup>; 297,86 dan 292,11 N/mm; 4,97 dan 4,20.
- Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina tebal 9 mm bentuk zig-zag lebih daktil 13,39% terhadap bentuk persegi, namun bentuk persegi lebih kuat dan kaku berturut-turut 25,86% dan 12,67% terhadap bentuk zig-zag. Nilai kekuatan lentur, kekakuan dan daktilitas balok uji Z9BL dan P9BL masing-masing 36,66 dan 46,14 N/mm<sup>2</sup>; 242,82 dan 273,58 N/mm; 5,08 dan 4,48.

Tabel 20. Kekuatan balok uji P9BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3

Balok uji	$P_Y$ (N)	$\tau_{geser}$ (MPa)
P9BG-1,2,3	10269,27	3,27
Z9BG-1,2,3	11573,32	3,68

Tabel 21. Kekakuan balok uji P9BG-1,2,3 dan Z9BG-1,2,3

Balok uji	$P_Y$ (N)	$\delta_Y$ (mm)	$K_Y$ (N/mm)
P9BG-1,2,3	10269,27	6,21	1659,45
Z9BG-1,2,3	11573,32	6,33	1838,18

- c. Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina tebal 7 mm bentuk zig-zag lebih kuat dan kaku berturut-turut 12,97% dan 17,04% terhadap lamina bentuk persegi. Nilai kekuatan geser dan kekakuan balok uji Z7BG dan P7BG berturut-turut 3,92 dan 3,47 N/mm<sup>2</sup>; 2252,02 dan 1924,20 N/mm.
- d. Balok bambu laminasi yang dibuat menggunakan lamina tebal 9 mm bentuk zig-zag lebih kuat dan kaku berturut-turut 12,54% dan 10,77% terhadap lamina bentuk persegi. Nilai kekuatan geser dan kekakuan balok uji Z9BG dan P9BG berturut-turut 3,68 dan 3,27 N/mm<sup>2</sup>; 1838,18 dan 1659,45 N/mm.

### **Daftar Pustaka**

- Amirullah, K., Morisco, dan Prayitno, T.A., 2012, Perilaku Keruntuhan Balok Laminasi Horisontal Bambu Ampel, *Bunga Rampai Penelitian Bambu 2012*, pp. B34-B35.
- Budi A.S., Morisco, dan Prayitno, T.A., 2012, Pengaruh Dimensi Lamina, Jenis Perekat dan Tekanan Kempa Terhadap Keruntuhan Lentur Balok Laminasi Bambu Petung, *Bunga Rampai Penelitian Bambu 2012*, pp. B12-B13.
- Irawati, S. I. dan Saputra, A., 2012, Analisis Statistik Sifat Mekanika Bambu Petung, *Prosiding, Sinarbambu I*, FTSL UGM Yogyakarta, Indonesia
- Ma, J., Chen, W., Zhao, L., and Zhao, D., 2008, Elastic Buckling of Bionic Cylindrical Shells Based on Bamboo, *Journal of Bionic Engineering*, (5) pp. 231-238.
- Maduretno, T., Morisco, dan Prayitno, T.A., 2010, Pengaruh Umur Bambu Terhadap Perilaku Kekuatan Lentur Balok Laminasi Bilah Bambu Petung, *Tesis*, FTSL UGM Yogyakarta (Tidak dipublikasikan).
- Morisco, 2006, *Teknologi Bambu*, Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Muñoz, W., Mohammad, M., Salenikovich, A., and Quenneville, P., 2008, Determination of Yield Point and Ductility of Timber Assemblies: in *Search for a Harmonised Approach*, pp. 1-8.
- Nasriadi, Morisco, dan Prayitno, T.A., 2012, Pengaruh Susunan Lamina Bambu Petung Terhadap Kuat Geser dan Lentur Balok Lamiansi Galar Bambu Petung, *Bunga Rampai Penelitian Bambu 2012*, pp. B16-B17.
- Oka, G.M., Morisco, dan Prayitno, T.A., 2012, Pengaruh Gaya Pengempaan Terhadap Keruntuhan Geser Balok Laminasi Horisontal Bambu Petung, *Bunga Rampai Penelitian Bambu 2012*, pp. B37-B38.
- Paling, T., Morisco, dan Prayitno, T.A., 2010, Pengaruh Umur Bambu Terhadap Perilaku Kekuatan Geser Balok Laminasi Bilah Bambu Petung, *Tesis*, FTSL UGM Yogyakarta (Tidak dipublikasikan).
- Prayitno, T.A., 2012 ; Hambatan Kelayakan Industri Balok dan Papan Laminasi Bambu, *Prosiding, Sinarbambu I*, pp. 184-188.
- Salim A., Morisco, dan Prayitno, T.A., 2007, Pengaruh Lebar Bilah Terhadap Kapasitas Lentur dan Geser Balok Laminasi Bambu Petung, *Tesis*, FTSL Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (Tidak dipublikasikan).
- Xiaohong, G., and Yulong, D., 2005, Bamboo Science and Culture, *Journal of the American Bamboo Society*, 19 (1) pp. 16-22.

