

# **Studi Eksperimental Perilaku Lentur Balok Glulam Kayu Pinus (*Pinus merkusii*)**

## **(An Experimental Study on the Flexural Behavior of Glulam Beam of Pinus Wood (*Pinus merkusii*))**

Fengky S Yoresta

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor,  
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

*Corresponding author:* syfengky@gmail.com (Fengky S Yoresta)

### **Abstract**

The aimed of this research was to determine the flexural behavior of glulam beam made from pine wood (*Pinus merkusii*) under various laminate thicknesses and then compared to its solid beam. The material used was pine wood with moisture content of 10% and and polyurethane adhesive (*Water based polymer isocyanate*, WBPI). Four types of glulam beams (namely, Glulam A, B, C, and D) produced with laminate thickness of 25, 16.67, 12.5, and 10 mm, respectively. Solid beam was also prepared as control. All beams have a cross sectional dimension of (50x50) mm<sup>2</sup>. Bending test is conducted using a 5 ton capacity of *Universal Testing Machine, Instron 330*. The results indicated that incerasing in number of laminate to a point tend to increase the values of stiffness and modulus of rupture (MOR) of glulam beams. However, the higher of laminate thickness tends to decrease the stiffness and MOR values. Energy absorption of solid beam was noted twice compared to glulam beams.

**Key words:** flexural behavior, glulam beam, modulus of rupture, *Pinus merkusii*, stiffness

### **Pendahuluan**

*Glued-laminated timber* (glulam) adalah salah satu jenis produk kayu struktural hasil rekayasa yang dibentuk dari beberapa lapisan kayu (lamina) yang saling terikat. Serrano (2003) mengungkapkan bahwa glulam dibentuk dari beberapa lapis kayu yang saling direkat satu sama lain menjadi satu kesatuan hingga tidak terjadi diskontinuitas perpindahan tempat. Ketebalan setiap lamina tidak boleh melebihi 50 mm (Mohamad *et al.* 2011) dengan kadar air maksimum 15% (CWC 2014).

Karakteristik yang paling penting dari pembuatan glulam adalah ikatan antar laminasi penyusunnya. Penggunaan

perekat sebagai pengikat antar lamina memungkinkan terjadinya perubahan sifat mekanis pada glulam, seperti kekakuan dan kekuatannya (Sulistiyawati *et al.* 2008a). Ikatan antar laminasi dapat menjadikan kekuatan balok glulam menjadi lebih besar dibandingkan dengan kekuatan balok utuh (Mohamad *et al.* 2011).

Glulam memiliki berbagai kelebihan dibandingkan dengan material konstruksi lainnya. Glulam dapat dibentuk hampir dalam semua ukuran, sehingga menjadikannya cocok digunakan pada setiap jenis bangunan. Selain memiliki efisiensi energi dalam penggunaannya, glulam juga memiliki nisbah kekuatan terhadap berat yang baik. Glulam dapat

menghasilkan struktur atas yang jauh lebih ringan pada suatu konstruksi dibandingkan dengan material beton dan baja. Balok baja struktural dapat mencapai 20% lebih berat dari glulam, sedangkan balok beton dapat mencapai 600% (Jacob *et al.* 2007). Bobot glulam yang ringan tersebut dapat menghemat keperluan pondasi pada suatu konstruksi.

Glulam telah banyak digunakan dan dikembangkan negara-negara maju seperti Eropa, Amerika, dan Jepang. Penggunaannya banyak diterapkan pada infrastruktur sipil seperti apartemen, jembatan, auditorium, rumah ibadah, bangunan monumental, hingga konstruksi rumah tinggal.

Penggunaan glulam sebagai komponen struktural bangunan, misalnya balok dan kolom, belum banyak diterapkan di Indonesia. Selain informasinya belum banyak diketahui oleh masyarakat, penelitian terhadap produk ini juga belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu, penelitian tentang perilaku lentur balok glulam yang terbuat dari kayu pinus (*Pinus merkusii*) ini sangat perlu dilakukan dengan harapan dapat memberikan tambahan informasi ilmiah bagi perkembangan produk kayu struktural di Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku lentur balok glulam yang terbuat dari kayu pinus (*P.merkusii*) dengan ketebalan lamina yang berbeda dan membandingkannya terhadap balok utuh.

### Bahan dan Metode

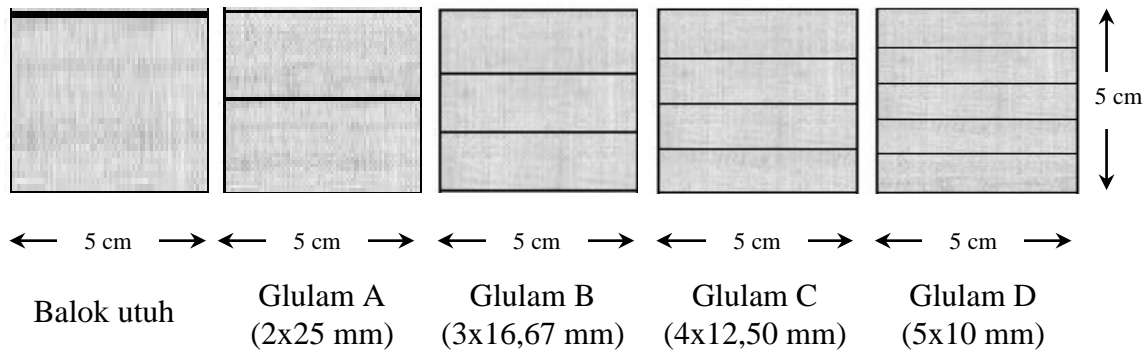
Penelitian ini menggunakan kayu pinus (*P. merkusii*) dengan kadar air 10% dan perekat poliuretan (*Water Based Polymer Isocyanate*, WBPI). Empat tipe balok glulam (glulam A, B, C, dan D) digunakan dalam penelitian ini, serta 1 balok utuh sebagai kontrol. Balok glulam

diuji lentur dengan pembebanan terpusat di tengah bentang seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Jarak antara dua tumpuan adalah 700 mm. Penampang balok berukuran (50x50) mm<sup>2</sup>.



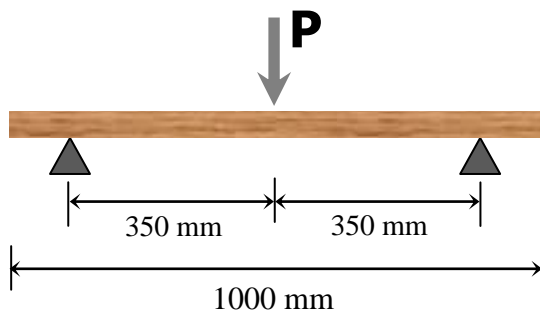
Gambar 1 Pengujian balok glulam dengan beban terpusat di tengah bentang.

Empat tipe balok glulam yang diuji dibedakan berdasarkan jumlah lamina penyusunnya. Balok glulam A terbuat dari 2 lapis lamina dengan ketebalan masing-masing 25 mm; glulam B terbuat dari 3 lapis lamina dengan ketebalan setiap lamina 16,67 mm, glulam C terbuat dari 4 lapis lamina dengan ketebalan masing-masingnya 12,5 mm, dan glulam D terbuat dari 5 lapis dengan ketebalan setiap lamina 10 mm (Gambar 2). Setiap lapisan lamina direkat menggunakan campuran resin dan *hardener* dengan perbandingan berat 100:15. Balok glulam dibiarkan selama beberapa hari, sebelum dilakukan pengujian, untuk memastikan setiap lapisan lamina merekat dengan sempurna. Pengujian dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine, Instron 330* dengan kapasitas sebesar 5 ton. Pembebanan dilakukan sampai terjadi keruntuhan (*failure*) pada setiap balok.



Gambar 2 Penampang melintang balok utuh dan balok laminasi.

Kecepatan pembebanan konstan yaitu 3,5 mm per menit digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh data dan kurva perilaku beban-defleksi yang lebih akurat. Gambar 3 memperlihatkan *set-up* pengujian balok kayu glulam dengan pembebanan terpusat di tengah bentang.



Gambar 3 *Set up* pengujian balok glulam.

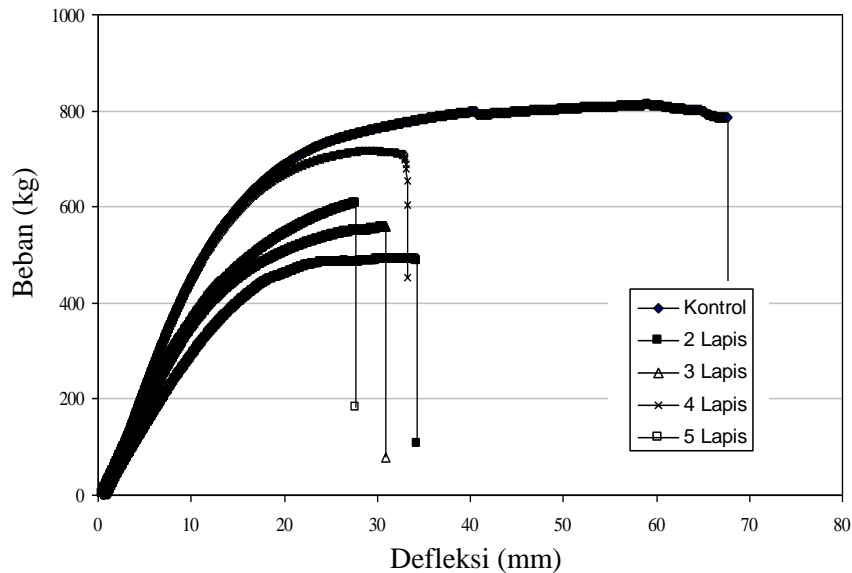
## Hasil dan Pembahasan

### Analisis kekakuan

Kurva beban-defleksi pembebanan terpusat di tengah bentang balok glulam dan balok utuh kayu pinus yang diperoleh dari pengujian diperlihatkan pada Gambar 4. Berdasarkan gambar tersebut, secara umum dapat dilihat bahwa balok utuh adalah balok yang memiliki kemiringan kurva beban-defleksi paling besar dibandingkan dengan keempat tipe balok glulam yang

diuji. Meskipun demikian, dari keempat tipe balok glulam tersebut, terdapat balok glulam yang memiliki kurva paling mendekati balok utuh, terutama pada kondisi elastis, yaitu glulam C. Perilaku beban-defleksi balok ini kemudian menurun dan mencapai kondisi maksimum serta runtuh lebih awal dari balok utuh.

Kurva beban-defleksi balok glulam A memiliki kemiringan paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa balok ini, yang memiliki luas area rekatan paling kecil, memiliki kekakuan paling rendah diantara semua balok yang diuji. Glulam B terdiri atas 3 lapis lamina (memiliki luas area rekatan lebih besar dibandingkan dengan glulam A), memiliki kurva dengan kemiringan lebih besar dibandingkan dengan glulam A. Sementara itu, kurva glulam C lebih curam dibandingkan dengan glulam A dan B. Namun hal berbeda ditemukan pada balok glulam D yang memiliki luas area rekatan paling besar (5 lapis lamina). Kurva beban-defleksi balok ini memiliki kemiringan lebih besar dibandingkan dengan glulam A dan B, tetapi lebih kecil dibandingkan dengan glulam C. Secara umum dapat dikatakan bahwa jumlah lamina, pada suatu balok dengan dimensi yang sama, akan mempengaruhi kekakuan balok.



Gambar 4 Kurva beban-defleksi balok glulam dan balok utuh hasil pengujian.

Secara umum dapat dikatakan bahwa jumlah lamina, pada suatu balok dengan dimensi yang sama, akan mempengaruhi kekakuan balok. Penambahan jumlah lamina akan menambah luas rekatan antar lapisan lamina tersebut sehingga dapat meningkatkan kekakuan balok. Hal ini senada dengan pernyataan Sulistyawati *et al.* (2008a), semakin tipis ketebalan lamina cenderung kekakuan balok glulam semakin besar.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa jumlah lamina yang lebih banyak akan berefek pada berkurangnya nilai kekakuan. Semakin banyak lamina akan menyebabkan semakin tipis ketebalan lapisan lamina tersebut, yang berarti kekakuan setiap lamina penyusunnya juga akan semakin kecil. Kondisi ini terlihat pada balok glulam D. Hal ini kemungkinan disebabkan rekatan antar lamina kurang sempurna pada saat pengujian. Kekakuan balok glulam dan balok utuh seperti diperlihatkan kurva pada Gambar 4 masing-masing adalah  $31,91 \text{ kg mm}^{-1}$  (glulam A),  $41,66 \text{ kg mm}^{-1}$  (glulam B),  $49,24 \text{ kg mm}^{-1}$  (glulam C),

$39,86 \text{ kg mm}^{-1}$  (glulam D), dan  $52,27 \text{ kg mm}^{-1}$  (balok utuh).

### Penyerapan energi

Gambar 4 menunjukkan bahwa balok glulam A mencapai keruntuhan, pada saat defleksi mencapai 34,25 mm (terbesar diantara balok glulam lainnya), dengan beban runtuh yaitu 486,53 kg. Meskipun demikian, energi yang mampu diserap balok ini sebelum mencapai runtuh tidak lebih besar dari balok glulam C yang memiliki beban ketika runtuh paling besar yaitu 604,85 kg. Kondisi ini ditunjukkan dari luasan area yang terbentuk dibawah kurva beban-defleksi dari hasil pengujian. Defleksi ketika runtuh balok glulam C adalah 33,23 mm, yaitu 1,02 mm lebih kecil dibandingkan dengan defleksi glulam A.

Secara umum, kurva yang terbentuk dari pengujian lentur menunjukkan bahwa daktilitas balok utuh masih jauh lebih baik dari balok glulam. Balok utuh memiliki penyerapan energi paling besar diantara semua balok. Energi yang diserap dapat mencapai lebih dari dua

kali lipat dibandingkan balok glulam yang ada. Keruntuhan balok utuh terjadi ketika defleksi mencapai 67,67 mm, dan beban sebesar 786,13 kg.

### Modulus of rupture (R)

*Modulus of rupture* merupakan nilai tegangan lentur maksimum yang terjadi pada serat paling atas atau paling bawah pada suatu penampang balok. Tipikal distribusi tegangan lentur  $\sigma$  (tegangan normal akibat momen lentur) penampang balok kontrol diperlihatkan pada Gambar 5. *Modulus of rupture* dan tegangan lentur ( $\sigma$ ) berturut-turut dievaluasi menggunakan kedua persamaan berikut:

$$R = 3PL / 2bh^2$$

$$\sigma = \pm M.y / I$$

dimana:

$P$  = Beban

$L$  = Jarak antar tumpuan

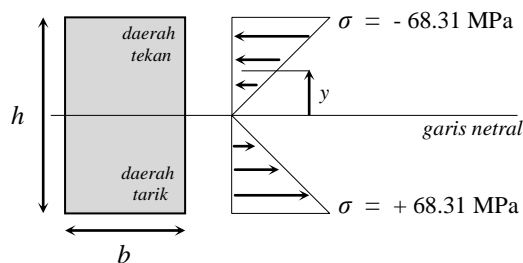
$b$  = Lebar penampang balok

$h$  = Tinggi penampang balok

$M$  = momen lentur

$y$  = Jarak dari sumbu netral

$I$  = Momen inersia.



Gambar 5 Distribusi tegangan lentur pada penampang balok kontrol.

Balok glulam C memiliki nilai  $R$  tertinggi dibandingkan dengan semua balok glulam. Nilai  $R$  balok ini lebih rendah 11,79% dari balok utuh. Sementara itu, balok glulam A mempunyai nilai  $R$  paling rendah

diantara semua balok glulam dengan perbedaan terhadap balok utuh adalah sebesar 39,56% lebih rendah. Nilai  $R$  balok glulam A, B, C, dan D berturut-turut adalah sebesar 41,29, 47,06, 60,25, dan 50,96 MPa. Kecuali glulam A, nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai  $R$  balok glulam kayu afrika yang berada pada rentang 31,10-46,80 MPa (Hermawati *et al.* 2010). Sementara balok glulam B memiliki nilai  $R$  yang hampir sama dengan balok glulam kayu resak yaitu 47,00 MPa (Mohamad *et al.* 2011).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada satupun balok glulam yang mempunyai nilai  $R$  lebih besar dibandingkan dengan balok utuh. Hal ini kemungkinan disebabkan rekatan antar lamina yang kurang sempurna sehingga mengakibatkan balok glulam tidak berperilaku sebagai satu kesatuan. Kerusakan kemungkinan diawali dengan terjadinya slip antar lamina sebelum balok mengalami keruntuhan di daerah tarik pada lapisan paling atas dan keruntuhan di daerah tekan pada lapisan paling bawah (Sulistiyawati *et al.* 2008b).

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa jumlah lamina mempengaruhi kekakuan balok. Peningkatan jumlah lamina sampai pada batas tertentu cenderung meningkatkan kekakuan balok glulam. Jumlah lamina yang lebih banyak akan cenderung menurunkan nilai kekakuan dan *modulus of rupture*. Kekakuan balok glulam dan balok utuh adalah sekitar 31,91 kg mm<sup>-1</sup> (glulam A), 41,66 kg mm<sup>-1</sup> (glulam B), 49,24 kg mm<sup>-1</sup> (glulam C), 39,86 kg mm<sup>-1</sup> (glulam D), dan 52,27 kg mm<sup>-1</sup> (balok utuh). Nilai  $R$  balok glulam A, B, C, D, dan balok utuh berturut-turut adalah sebesar 41,29, 47,06, 60,25, 50,96, dan

68,31 MPa. Balok utuh memiliki penyerapan energi paling besar diantara semua balok. Energi yang diserap mencapai lebih dari dua kali lipat dibandingkan balok glulam yang ada.

### Daftar Pustaka

- [CWC] Canadian Wood Council, 2014. <http://www.cwc.ca/index.php/en/wood-products/glulam>. (Akses: 14 Februari 2014)
- Hermawati E, Massijaya MJ, Nugroho N. 2010, Performance of glued-laminated beams made from small diameter fastgrowing tree species. *J Biol. Sci.* 10(1):37-42.
- Jacob J, Barragan OLG. 2007. Flexural Strengthening of Glued Laminated Timber Beams with Steel and Carbon Fiber Reinforced Polymers [Thesis]. Sweden, Goteborg: Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology.
- Mohamad WHW, Razlan MA, Ahmad Z. 2011. Bending strength properties of glued laminated timber from selected malaysian hardwood timber. *IJCEE-IJENS* 11(04):7, 10.
- Sulistiyawati I, Nugroho N, Suryokusumo S, Hadi YS. 2008a. Kekakuan dan kekuatan lentur maksimum balok glulam dan utuh kayu akasia. *J Teknik Sipil* 15(3):114-115, 118.
- Sulistiyawati I, Nugroho N, Surjokusumo S, Hadi YS. 2008b. The bending of vertical and horizontal glued laminated timber by transformed cross section method. *J Trop.Wood Sci. Technol.* 6(2):49-55.
- Serrano E. 2003. *Mechanical Performance and Modelling of Glulam*. Dalam: Timber Engineering, Thelandersson S, Larsen HJ. West Sussex, England. John Wiley & Sons Ltd. Pp.67-79.
- Riwayat naskah (*article history*)  
Naskah masuk (*received*): 8 Juli 2013  
Diterima (*accepted*): 7 Oktober 2013