

## STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL BALOK LAMINASI GLULAM I PRATEKAN

Anita Wijaya<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Magister, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan, Bandung

### ABSTRAK

Dalam konstruksi kayu, teknologi yang sedang dikembangkan yakni balok laminasi kayu dengan gaya pratekan. Tujuan pemberian gaya pratekan untuk meningkatkan kapasitas lentur tarik pada balok kayu. Dalam studi eksperimental digunakan adalah kayu Albasia berpenampang I dan diberi 2 buah tulangan besi polos sebagai penyalur gaya pratekan.

Ada dua jenis pengujian yang dilakukan yakni uji non-destruktif dan uji destruktif. Uji non-destruktif dilakukan dengan pemberian beban statik bertahap dan getaran bebas, dengan tujuan untuk mendapatkan faktor kekakuan, periode getaran, redaman, dan frekuensi alami balok. Uji destruktif bertujuan untuk mengetahui daktilitas, faktor koreksi kekakuan, momen proporsional, dan momen maksimum. Nilai daktilitas rata-rata balok adalah 3,195. Terjadi peningkatan sebesar 10% pada beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok setelah diberi gaya pratekan.

Berdasarkan studi numerikal, kayu mengalami kelelahan saat mencapai gaya sebesar 27 kN. Dengan pemberian gaya pratekan yang semakin besar meningkatkan kuat lentur balok serta lendutan yang terjadi, selain itu ada pula peningkatan chamber pada balok kayu pratekan.

**Kata kunci:** kayu laminasi, balok pratekan, faktor koreksi kekakuan, kuatlentur, daktilitas

### 1 PENDAHULUAN

Material kayu memiliki sifat yang berbeda dengan material beton dimana kuat tarik dan kuat tekan material kayu relatif sama baiknya. Namun kegagalan yang sering kali terjadi pada material ini yakni kegagalan lentur pada daerah serat yang tertarik. Salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan tarik kayu yakni dengan menggunakan sistem pratekan sama seperti yang telah diterapkan pada material beton. Pada studi ini akan dilakukan pengujian kuat lentur balok kayu pratekan pada balok glulam yang berpenampang I seperti pada Gambar 1.

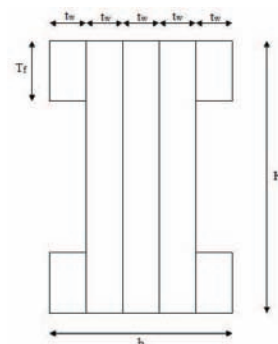
Dengan penggunaan penampang I diharapkan dapat diperoleh penampang yang lebih efisien dalam kekuatan dan kekakuan dibandingkan dengan balok kayu dengan penampang lain.

Selain itu, dilakukan analisis numerikal dengan menggunakan perangkat lunak *Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis* (ADINA 8.5) sebagai pembanding dengan hasil uji eksperimental. Analisis dengan program ADINA 8.5 dilakukan untuk mengetahui grafik *force vs displacement* pada balok I Pratekan saat terjadi pembebanan increment.

Uji eksperimen dilakukan di Laboratorium Universitas Katolik Parahyangan Bandung dan hasil dari pengujian eksperimental ini akan dibandingkan dengan balok kayu non pratekan dari studi yang di-

lakukan oleh Ignatius Indra Jaya (2013) [4]. Gambar profil balok kayu disajikan pada Gambar 2 berikut.

|                             |   |         |
|-----------------------------|---|---------|
| Tinggi total ( $d$ )        | : | 180 mm  |
| Lebar total ( $b$ )         | : | 100 mm  |
| Tebal web ( $t_w$ )         | : | 20 mm   |
| Tebal flens ( $t_f$ )       | : | 45 mm   |
| Bentang total ( $L$ )       | : | 2600 mm |
| Bentang pengujian ( $L_n$ ) | : | 2500 mm |



Gambar 1 Dimensi Perencanaan Balok Kayu.

\*Corresponding author. e-mail:anita150591@gmail.com



Gambar 2 Balok Laminasi Glulam Profil I.

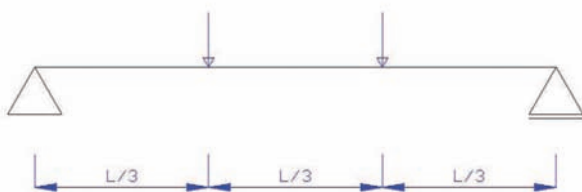
## 2 BAHAN DAN METODE

Dalam penelitian ini digunakan papan-papan kayu dengan jenis kayu albasia. Dari hasil pengujian, benda uji ini mempunyai rata-rata berat jenis 0.35 dan dengan menggunakan metode *logarithmic decrement* [1] diperoleh modulus elastisitas rata-rata 5715 MPa dan diberi 2 buah tulangan dengan diameter 10mm seperti Gambar 3.



Gambar 3 Pemasangan Tulangan Pratekan Pada Balok Kayu.

Pengujian destruktif merupakan pengujian kuat lentur pada balok dengan tujuan untuk mengetahui batas kemampuan balok dalam menumpu beban dan untuk mengetahui lendutan yang terjadi. Hasil dari pengujian ini berupa grafik hubungan antara lendutan dan beban.



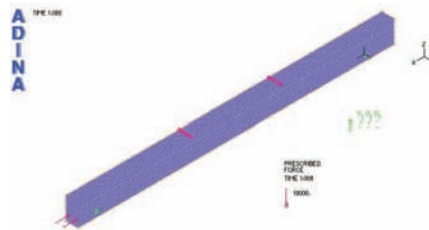
Gambar 4 Pembebanan dalam Uji Kuat Lentur.

Pada Gambar 4 digunakan pembebanan *third point loading* yang digunakan dalam uji kuat lentur yakni pembebanan di setiap jarak sepertiga bentang pengujian dari perletakan.



Gambar 5 Uji Kuat Lentur Balok Kayu Benda Uji 3.

Selain pengujian secara eksperimental, dilakukan pula analisis numerikal metode elemen hingga dengan tingkat ketelitian yang dapat diterima [2]. Pemodelan numerik metode elemen hingga nonlinier dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ADINA 8.5. Analisis dengan program ADINA 8.5 dilakukan untuk mengetahui grafik *force vs displacement* pada balok I Pratekan saat terjadi pembebanan increment serta untuk menganalisa distribusi tegangan pada bagian bagian balok I pratekan. Pemodelan balok I pratekan dengan menggunakan elemen solid dengan propertis material yang bersifat plastik ortotropik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum yang terjadi saat uji eksperimental masih jauh dibawah kuat geser perekat PVAc sehingga lapisan lem tidak dimodelkan dalam *solid element*.



Gambar 6 Pemodelan Elemen Balok Kayu Berpenampang I dengan Solid Properties.

Definisi material yang digunakan sebagai input pada ADINA adalah material ortotropik non-linier dimana modulus elastisitas logitudinal kayu ini dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut [5]:

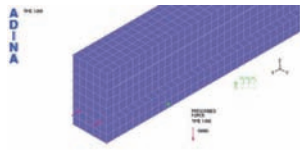
$$E = 26915 SG^{1.23} \quad (1)$$

Sedangkan kekakuan setelah material mengalami kelelahan diambil nilai  $R = 0.0135$  dimana nilai  $R$  merupakan nilai perbandingan kekakuan setelah material mencapai kelelahan dengan kekakuan material sebelum mencapai titik leleh. Nilai ini diperoleh dari percobaan kuat lentur dan modulus elastisitas [6].

Tabel 1 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas terhadap  $E_L$  [6].

| $E_T/E_L$ | $E_R/E_L$ | $G_{LR}/E_L$ | $G_{TL}/E_L$ | $G_{RT}/E_L$ |
|-----------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 0.11      | 0.11      | 0.05         | 0.05         | 0.01         |

Nilai modulus elastisitas pada arah longitudinal sesuai dengan hasil uji non-destruktif sedangkan nilai modulus elastisitas pada arah tangensial dan radial didekati dengan perbandingan terhadap nilai modulus elastisitas longitudinal, seperti pada Tabel 1.



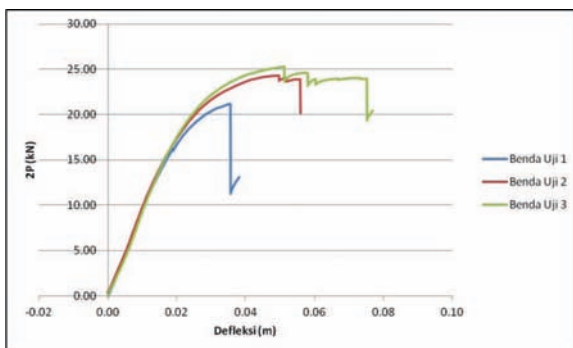
Gambar 7 Aplikasi Gaya Pratekan pada Kedua Ujung Balok.

Aplikasi tulangan pratekan pada program ADINA yakni dengan memberikan beban sebesar gaya pratekan pada uji eksperimental pada kedua ujung balok sebesar 10000 Newton untuk masing - masing tulangan. Tulangan pratekan yang digunakan merupakan tulangan eksternal sehingga tidak menyumbang kekuatan lentur yang signifikan seperti pada hasil uji eksperimental (Gambar 7).

Tahap pembebanan yang dilakukan pada analisis numerikal ini yakni pemberian gaya pratekan dengan nilai 10000 N pada step pertama kemudian bekerja beban inkremental dari 0 sampai 2083 Newton pada kedua titik pembebanan di sepertiga bentang. Jumlah step yang dilakukan dalam analisis yakni 100 step pada setiap satuan waktu untuk memperoleh hasil yang halus dan teliti.

### 3 HASIL UJI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL

Pengujian destruktif yang dilakukan adalah pengujian kuat lentur, dimana data yang diperoleh yakni data hubungan antara peralihan dan beban. Data tersebut diolah menjadi bentuk grafik hubungan peralihan dengan beban. Grafik tersebut dapat digunakan untuk mencari beban proporsional, beban maksimum, dan beban desain beserta dengan peralihan-peralihan dari setiap bebannya.



Gambar 8 Grafik Hubungan Peralihan vs Beban.

Hasil dari pengujian ini adalah pada balok benda uji 1 mampu menahan sampai 21.175 Newton, dan

benda uji 2 mampu menahan beban sampai 24.300 Newton dan terakhir benda uji 3 mampu menahan beban 25.300 Newton. Pada saat mencapai beban tertentu, balok kayu akan mengalami kegagalan karena sudah tidak mampu menahan gaya lagi. Berikut ini adalah ragam kegagalan yang terjadi pada balok.



Gambar 9 Ragam Kegagalan Lentur Benda Uji 1 pada Flange dan Web.

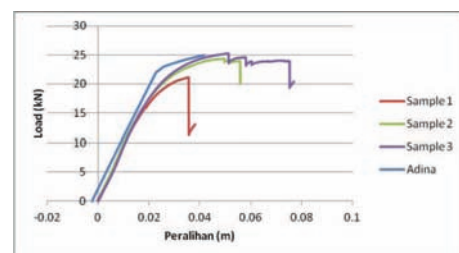


Gambar 10 Ragam Kegagalan Lentur Benda Uji 2.



Gambar 11 Ragam Kegagalan Lentur Benda Uji 3.

Pada studi numerikal, hasil output yang ingin diperoleh berupa grafik gaya vs lendutan sebagai pengecekan dengan grafik hasil uji eksperimental. Grafik hasil analisis numerik dibandingkan dengan uji eksperimental yakni sebagai berikut :



Gambar 12 Grafik Gaya vs Defleksi Hasil Uji Eksperimental dan Numerikal.

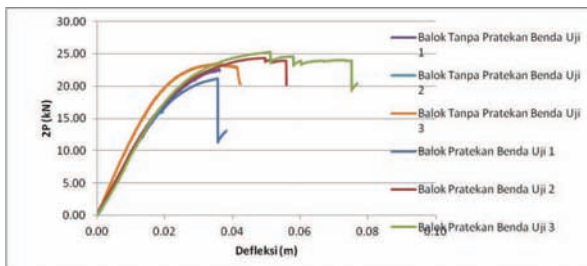
4 ANALISIS DAN DISKUSI

Setelah mendapatkan grafik hubungan antara peralihan dan beban, nilai daktilitas dapat dihitung. Nilai daktilitas diperoleh dari perbandingan antara lendutan maksimum dan lendutan proporsional. Dari tabel di bawah, didapat nilai daktilitas dari setiap balok. Nilai daktilitas berkisar antara nilai 3.107 - 3.257. Nilai daktilitas rata-rata adalah sebesar 3,195. Sedangkan dari hasil pengujian sebelumnya, balok kayu penampang I tanpa gaya pratekan diperoleh nilai daktilitas yang lebih kecil yakni 2,21. Berikut adalah tabel perhitungan nilai daktilitas dari percobaan yang dilakukan:

Tabel 2 Nilai daktilitas peralihan maksimum terhadap peralihan proporsional.

| Balok ke- | $d_p$<br>(mm) | $2P_p$<br>(N) | $d_{max}$<br>(mm) | $2P_{max}$<br>(N) | $\mu$ |
|-----------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|-------|
| 1         | 0.011         | 10.4          | 0.035             | 21.175            | 3.2   |
| 2         | 0.015         | 14.21         | 0.049             | 24.313            | 3.3   |
| 3         | 0.016         | 15.05         | 0.051             | 25.304            | 3.1   |
|           |               |               | rata-rata         |                   | 3.295 |

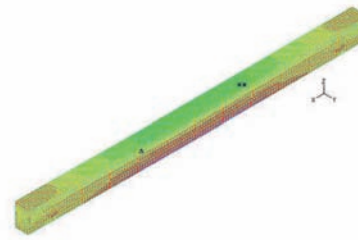
Pada Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa kekuatan balok pratekan mampu menahan beban pada batas ultimate yang lebih besar daripada balok kayu non-pratekan.



Gambar 13 Grafik Perbandingan Hasil Uji Kuat Lentur Balok Pratekan dengan Non-pratekan.

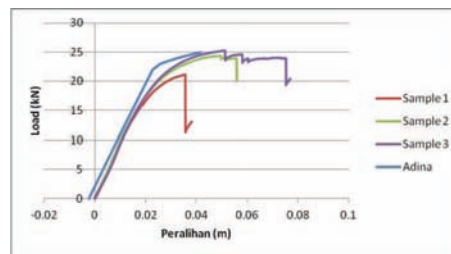
Selain itu balok kayu pratekan memiliki daktilitas yang lebih tinggi karena mampu berdefleksi lebih besar daripada balok kayu non-pratekan. Setelah melakukan pemodelan yang menyerupai dengan uji eksperimental, dilakukan pengecekan terhadap hasil analisis numerik dengan perhitungan manual. Pengecekan dilakukan terhadap tegangan pada bagian tengah yang mendapat pengaruh akibat gaya pratekan dan adanya eksentrisitas dari gaya pratekan.

Tegangan yang diakibatkan oleh gaya pratekan sebesar 0.69 MPa, sedangkan tegangan akibat adanya eksentrisitas sebesar 0.83 MPa, sehingga total dari tegangan yang terjadi adalah 1.52 MPa. Dari hasil output analisis numerik diperoleh tegangan sebesar 2.246 MPa sesuai dengan perhitungan manual, berikut adalah hasil tegangan pada setiap bagian balok :



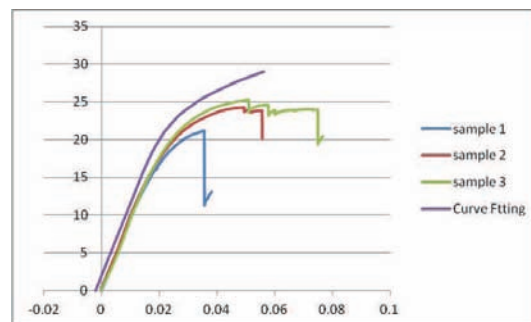
Gambar 14 Tegangan akibat Gaya Pratekan dan Third Point Loading pada Balok.

Pada hasil uji numerikal diperoleh bahwa balok mengalami kelelahan pada saat gaya sebesar 27 kN dan defleksi yang terjadi adalah 0.028 m. Pada grafik uji eksperimental diperoleh bahwa balok mengalami kelelahan pada gaya 15000 N dan defleksi 18 mm. Kedua hasil tersebut memiliki perbedaan hampir sebesar 50 persen, yang mungkin diakibatkan karena pemodelan numerikal yang tidak sedetail pada uji eksperimental.



Gambar 15 Grafik Gaya vs Defleksi Hasil Uji Eksperimental dan Numerikal.

Untuk menyerupai hasil yang mendekati dengan hasil uji numerikal dilakukan curve fitting dari hasil kurva studi numerikal sedemikian sehingga dapat menyerupai dengan hasil uji eksperimental. Tahap yang dilakukan dalam curve fitting yakni meningkatkan modulus elastisitas bahan kayu namun masih dalam rentang modulus elastisitas hasil uji eksperimental. Kemudian mencari nilai reduksi kekakuan setelah material kayu mengalami leleh.



Gambar 16 Grafik Uji Numerik dengan Curve Fitting.

Hasil dari curve fitting yakni digunakan modulus elastisitas material kayu 5380 MPa, modulus elastisitas yang digunakan masih dalam rentang hasil pengujian kekakuan material kayu yang telah dilakukan



sebelumnya. Secara teoritis, perbandingan kekakuan material kayu setelah mengalami kelelahan dengan sebelum yakni  $R = 0.021$ , sedangkan nilai  $R$  yang diperoleh dari grafik *curve fitting* adalah  $R = 0.01$ .

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Penambahan tulangan pratekan tidak berpengaruh pada kekakuan balok, namun berpengaruh pada daktilitas serta beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok.
2. Beban maksimum yang dipikul pada benda uji dengan gaya pratekan adalah 25 kN meningkatkan kekuatan 10 % dari balok kayu tanpa pratekan.
3. Daktilitas rata-rata benda uji balok kayu laminasi dengan gaya pratekan diperoleh sebesar 3.195 sedangkan balok kayu berpenampang I tanpa gaya pratekan memiliki daktilitas yang lebih kecil yakni 2.21.
4. Berdasarkan studi numerikal diperoleh bahwa balok kayu mengalami kelelahan saat menerima beban sebesar 22 kN dan menghasilkan perbedaan yang cukup jauh berbeda dengan hasil dari uji eksperimental. Oleh karena itu dilakukan analisis *curve-fitting* dan diperoleh bahwa kekakuan balok kayu memiliki modulus elastisitas 5380 MPa dan memiliki nilai perbandingan  $R$  sebesar 0.021, berbeda dengan nilai kurva teoritis dimana nilai  $R$  sebesar 0.021.
5. Kurva beban-lendutan balok menunjukkan kurva yang berbentuk bilinear, hal itu disebabkan karena adanya perubahan perilaku balok dari kondisi elastik menjadi kondisi plastik dimana beberapa bagian pada material kayu telah mencapai batas kelelahan.
6. Dalam analisis numerikal, dengan adanya perbedaan gaya pratekan hanya memperlihatkan perbedaan chamber pada saat awal pemberian gaya pratekan, selain itu dapat memperkecil lendutan saat mencapai batas kelelahan. Pada kenaikan gaya pratekan 5000 N dapat meningkatkan chamber 14.3% dan memperkecil lendutan 9.87%.

Saran-saran untuk penelitian dan studi lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan balok kayu dengan profil yang berbeda.
2. Penelitian lebih lanjut mengenai kekuatan dan perilaku balok dengan gaya pratekan yang lebih besar.
3. Pemodelan secara numerikal yang lebih detail pada setiap lapisan kayu dan lapisan lem, serta pemodelan tulangan dalam program Adina untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.

## REFERENSI

- [1] CLOUGH, R. W., AND PENZIEN, J. *Dynamics of Structures*, 2 ed. McGraw-Hill, Singapore, 1993.
- [2] COOK, R. D., MALKUS, D. S., PLESHA, M. E., AND WITT, M. *Concepts and applications of finite element analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2004.
- [3] DAGHER, H., GRAY, H., DAVIDS, W., SILVA, R., AND NADER, J. Variable prestressing of frp-reinforced glulam beams: Methodology and behavior. *World Conference on Timber Engineering*.
- [4] INDRA, I. Uji eksperimental kuat lentur balok kayu laminasi dengan perekat PvAc.
- [5] INDRAMATI, N. Studi eksperimental kuat lentur dan modulus elastisitas kayu indonesia. 2008.
- [6] KRETSCHMANN, D., AND S.V.GLASS. *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material.*, vol. Centennial eds. Forest Product Laboratory, 2009.
- [7] STANDAR NASIONAL INDONESIA. *Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu. SNI 7973-2013.*, 2013.
- [8] SURYOATMONO, B., TJONDRO, A., AND SANDY, O. Evaluation of moduli of elasticity and damping ratios of some indonesian species using the free vibration method. *Proceeding of The 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood* (2007).
- [9] TJONDRO, J. A. *Behavior of Single Bolted Timber Connection with Steel Sides Plates under Uni-Axial Tension Loading*. Dissertation, Parahyanagan Catholic University, 2007.