

STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL BALOK LAMINASI GLULAM BERPENAMPANG I PRATEKAN

Anita Wijaya

Mahasiswa / Program Magister / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas
Katolik Parahyangan, Bandung

Korespondensi : anita150591@gmail.com

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 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 kelakuan, periode getaran, 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 17 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, kuat lentur, daktilitas

1. PENDAHULUAN

Material kayu memiliki sifat yang berbeda dengan material beton dimana kuat tarik dan kuat tekan material kayu relating sama baiknya. Namun kegagalan yang sering kali terjadi pada material ini yakni kegagalan kentuk pada daerah serat yang tertarik. Salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan tarik kayu yakni dengan menggunakan system 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**.

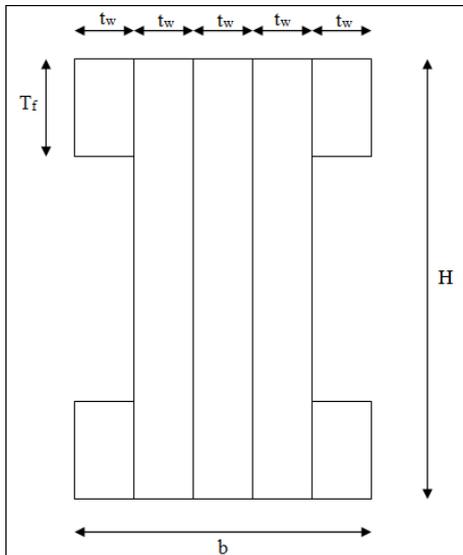
Dengan penggunaan penampang I diharapkan dapat diperoleh penampang yang lebih efisien dalam kekuatan dan kekakuan dibandingkan dengan balok kayu dengan penampang lain.

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*.

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

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 dilakukan oleh Ignatius Indra Jaya (2013). Gambar profil balok kayu disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Dimensi perencanaan balok kayu



Gambar 2. Balok laminasi glulam profil I

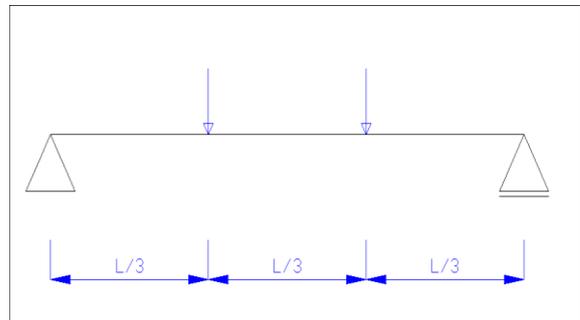
2. METODE PENGUJIAN

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 modulus elastisitas rata-rata 5715 MPa dan diberi 2 buah tulangan dengan diameter 10mm seperti **Gambar 3**. Pengujian

destruktif merupakan pengujian kuat lentur [ada 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. 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 3. Pemasangan tulangan pratekan pada balok kayu



Gambar 4. Pembebanan dalam uji kuat lentur



Gambar 5. Uji kuat lentur balok kayu benda uji 3

Selain pengujian secara eksperimental, dilakukan pula analisis numerikal metode elemen hingga. Pemodelan numerikal metode elemen hingga nonlinier dilakukan dengan

menggunakan perangkat lunak *Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis* (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 propeptis material yang bersifat plastic 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*.

Definisi material yang digunakan sebagai input pada ADINA adalah material ortotropik non-linear dimana modulus elastisitas longitudinal kayu ini dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Novi, 2009) :

$$E = 26915 \text{ SGI } 2.3$$

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 (Novi, 2009).

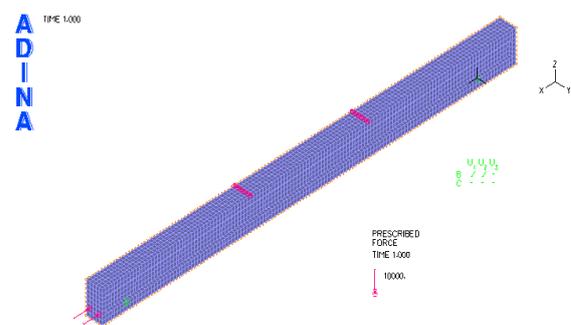
Nilai modulus elastistas pada arah longitudinal sesuai dengan hasil uji non-destruktif sedangkan nilai modulus elastisitas pada arah tengensial dan radial didekati dengan perbandingan terhadap nilai modulus elastisitas longitudinal seperti pada **Tabel 1**.

Aplikasi tulangan pretekan 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**).

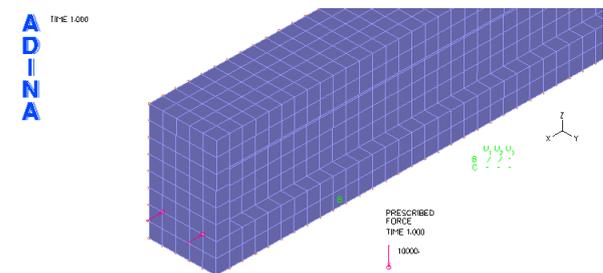
Tahap pembebanan yang dilakukan pada analisis numeric ini yakni pemberian gaya pratekan dengan nilai 10000 Newton pada step pertama kemudian bekerja beban incremental dari 0 sampai 2083 Newton pada kedua titik pembebanan di sepertiga bentang. Jumlah step yang dilakukan dalam analisis yakni 100 step pada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

Tabel 1. Perbandingan nilai modulus elastisitas terhadap E_1

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



Gambar 6. Pemodelan elemen balok kayu berpenampang I dengan *solid properties*



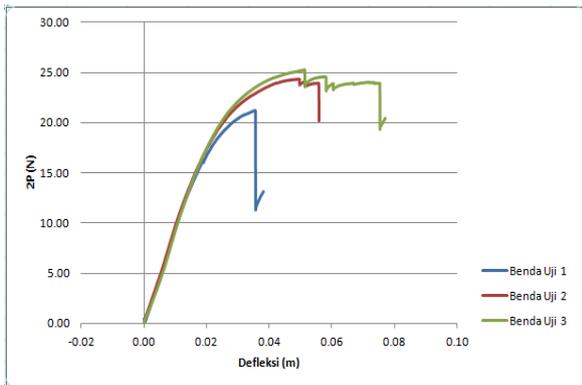
Gambar 7. Aplikasi gaya pratekan pada kedua ujung balok

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.

Hasil dari pengujian ini adalah pada balok benda uji 1 mampu menahan sampai 21.175 Newton, dan beban 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. Ragam kegagalan yang terjadi pada balok dapat dilihat pada **Gambar 9 s.d Gambar 11**.



Gambar 8. Grafik hubungan peralihan vs beban



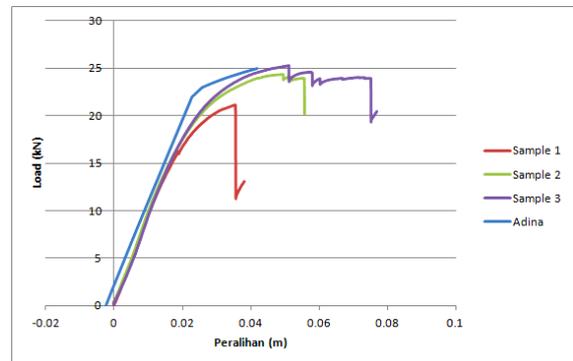
Gambar 9. Ragam kegagalan lentur benda uji 1 pada flange dan web



Gambar 10. Ragam kegagalan lentur benda uji 2



Gambar 11. Ragam kegagalan lentur benda uji 3



Gambar 12. Grafik gaya vs defleksi hasil uji eksperimental dan numerical

Pada studi numerikal, hasil output yang ingin diperoleh berupa grafik gaya vs lendutan sebagai pengecekan dengan hasil uji eksperimnetal. Grafik hasil analisis numerik dibandingkan dengan uji eksperimental dapat dilihat pada **Gambar 12**.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan grafik hubungan antara peralihan dan beban nilai daktilitas dapat dihitung. Nilai daktilitas diperoleh dan perbandingan antara lendutan maksimum dan lendutan proporsional. Dari **Tabel 2** didapat 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

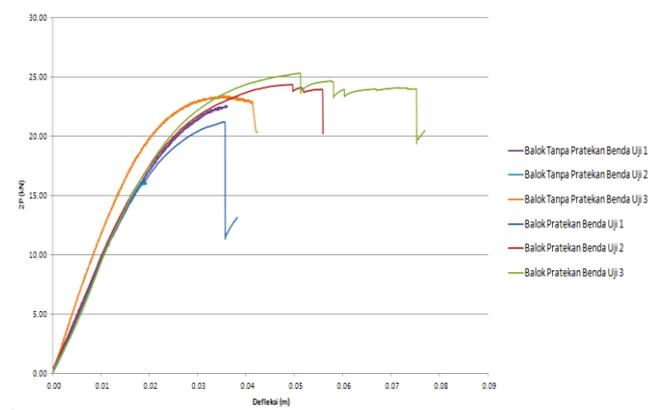
Balok ke-	d_p (mm)	$2P_p$ (N)	d_{max} (mm)	$2P_{max}$ (N)	μ
1	0.011	10.4	0.035	21.175	3.2
2	0.015	14.21	0.049	24.313	3.3
3	0.016	15.05	0.051	25.304	3.1
				rata-rata	3.2

Pada **Gambar 13** dapat disimpulkan bahwa kekuatan balok pratekan mampu menahan beban pada batas ultimate yang 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 bintang yang mendapat pengaruh akibat gaya pratekan dan adanya eksentrisitas dari gaya pratekan

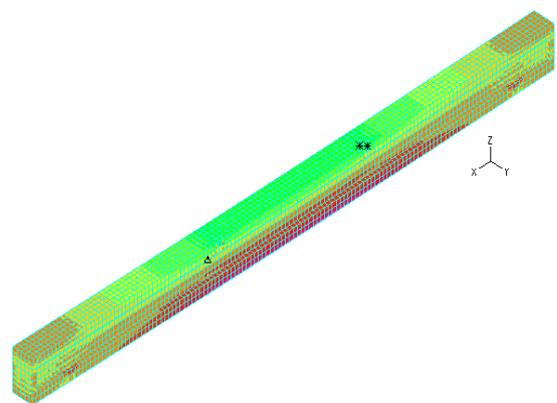
Tegangan yang diakibatkan oleh gaya pratekan sebesar 0.69 MPa, sedangkan tegangan akibat adanya eksentrisitas sebesar 0.83 MPa, sehingga total dari tegangan yang terjadi adalah 1.52 MPa. Dari hasil output analisis numerik diperoleh tegangan sebesar 2.246 MPa sesuai dengan perhitungan manual.

Gambar 13 adalah hasil tegangan pada setiap bagian balok.

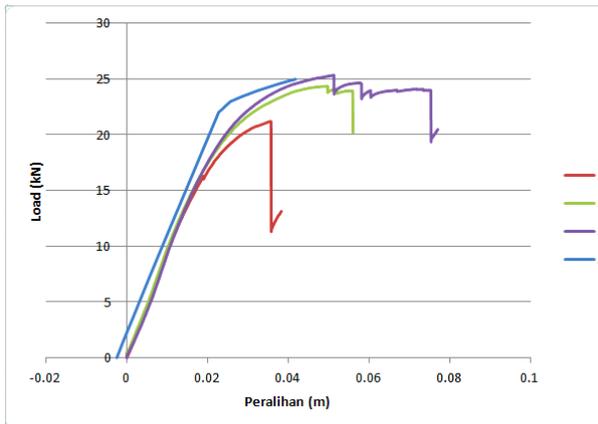
Pada hasil uji numerikal diperoleh bahwa balok mengalami kelelahan pada saar gaya sebesar 27 kN dan defleksi yang terjadi adalah 0.028 m. Pada grafik uji eksperimental diperoleh bahwa balok mengalami kelelahan pada gaya 15000 Newton dan defleksi 18 mm. Kedua hasil tersebut memiliki perbedaan hampir sebesar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



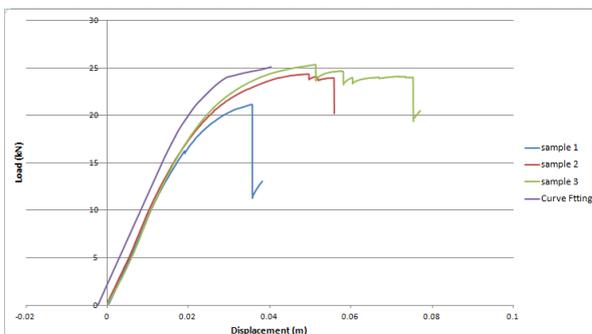
Gambar 13. Grafik perbandingan hasil uji kuat lentur balok pratekan dengan non-pratekan



Gambar 14. Tegangan akibat gaya pratekan dan third point loading pada balok



Gambar 15. Grafik gaya vs defleksi hasil uji eksperimental dan numerical



Gambar 16. Grafik uji numerical dengan *curve fitting*

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.

Hasil dari *curve fitting* yakni digunakan modulus elastisitas material kayu 5830 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 elastic menjadi kondisi plastik dimana beberapa bagian pada material kayu telah mencapai batas kelelahan
6. Dalam analisis nimerikal, dengan adanya perbedaan gaya pratekan hanya memperlihatkan perbedaan chamber pada saat awal pemberian gaya pratekan, selain itu dapat

memperkecil lendutan saat mencapai 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 dalam program Adina untuk memperoleh hasil yang lebih kuat

6. DAFTAR PUSTAKA

- Clough, Ray W., Joseph Penzien. 1995. "Dinamics if Structures, Inc.s Dagher, Habib, Howard Gray, William Davids, Rodrigo Silva, dan Jacques Nader, 2010. *Variable Prestressing of FRP-Reinforced Flulam Beams: Methodolgy and Behavior*, World Conference on Timber Engineering.
- Indra, Ignatius. 2014. *Uji Eksperimetal Kuat Lentur Balok Kayu Laminasi dengan Perekat pvAc*
- Indrawati, Novi. 2008. *Studi Eksperimetal Kuat Lentur dan Modulus Elastisitas Kayu Indonesia*
- SNI 7973-2013, 2013. *Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu*. Badan Standarisasi Nasional.
- Suryoatmo, Bambang, Adhijoso Tjondro, Oscar R. Sandy. 2007. *Evaluation of Moduli of Elasticity and Famping Ratios of Some Indonesian Spec ies Using the Free Vibration Method*. Proceedings of the 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Duluth Minessota.
- Tjondro, Adhijoso. 2007. *Behavior of Single Bolted Timber Connections with Steel Seide Plates Under Uni-Axial Tension Loading*.