

# KAPASITAS LENTUR BALOK LAMINATED VENEER LUMBER (LVL) KAYU SENGON

Achmad Basuki<sup>1)</sup>, Sholihin As'ad<sup>2)</sup>, Rismaya Nurrahma Putri<sup>3)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>3)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail :rismaya.n.putri@gmail.com

## Abstract

The low logging rate of high quality lumber (strength class of I/II) cannot afford high demand of lumber as a construction material. An alternative to solve this problem is using LVL sengon (*Paraserianthes falcataria l. nielsen*). Sengon (*Paraserianthes falcataria l. nielsen*) has short logging age which guarantee its availability. LVL can also become solution for lack large dimensions of lumber. The application of LVL built-up beam enables its optimal usage. Therefore this research with various cross section of built-up beam is needed. This research was conducted with numerous bending test to beam. Two point loading method was used. Bending test was applied by controlling the loading rate until the specimen cannot bear the additional load. It is recorded from the test that the maximal load ( $P_{maks}$ ), modulus of elasticity (MOE), and flexural strength ( $\sigma_{II}$ ) for A beam were 7833,33 N; 2816,56 MPa; 9,76 MPa, and for B beam were 12250 N; 3642,88 MPa; 13,88 MPa, and for C beam were 11000 N; 2501,17 MPa; 12,47 MPa and for D beam were 15583,33 N; 2602,16 MPa; 16,20 MPa. After comparing the experimental and the analytical work, it is form the load ratio of experiment to analytical for A beam was 0,24; and B beam was 0,28; and C beam was 0,25; and D beam was 0,28. Too much differences between experimental values with analyzed values because of nails application as shear connector. As the beam was loaded step by step, the nail tends to be pulled out therefore using the stronger shear connector was needed. The nail compression also broke the body of beam fast.

**Keywords** : Laminated Veneer Lumber, built-up beam, bending capacity

## Abstrak

Kebutuhan kayu sebagai material konstruksi yang semakin meningkat tidak sebanding dengan kecepatan penebangan pohon dengan kayu berkualitas baik (kelas kuat I/II). Salah satu alternatif untuk masalah tersebut yaitu dengan menggunakan Laminated Veneer Lumber (LVL) kayu sengon. Kayu sengon memiliki usia tebang cukup singkat sehingga ketersediaannya terjamin. Kayu LVL ini juga dapat mengatasi berkurangnya kayu dengan dimensi yang besar. Penggunaan balok susun LVL memungkinkan penggunaan balok kayu secara optimal sehingga perlu dilakukan penelitian dengan berbagai macam variasi susunan penampang balok susun. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian lentur pada balok kayu. Sistem pembebanan yang digunakan adalah *two point loading*. Pengujian lentur dilakukan dengan memberikan pembebanan secara bertahap hingga benda uji tak mampu menerima tambahan beban. Dalam penelitian ini diperoleh nilai  $P_{maks}$ ; MOE;  $\sigma_{II}$  balok A sebesar 7833,33 N; 2816,56 MPa; 9,76 MPa, balok B sebesar 12250 N; 3642,88 MPa; 13,88 MPa, balok C sebesar 11000 N; 2501,17 MPa; 12,47 MPa dan balok D sebesar 15583,33 N; 2602,16 MPa; 16,20 MPa. Perbandingan nilai eksperimen dengan nilai analisis pada nilai  $P_{maks}$  balok A sebesar 0,24; balok B sebesar 0,28; balok C sebesar 0,25; balok D sebesar 0,28. Selisih nilai eksperimen yang cukup jauh dari nilai analisis disebabkan penggunaan paku sebagai *shear connector*. Sewaktu balok diberi beban secara bertahap, paku cenderung mudah tercabut sehingga perlu digunakan *shear connector* yang memiliki lebih kuat menancap dan tidak mudah tercabut. Tekanan paku yang mengalahkan kayu juga mengakibatkan cepat rusaknya badan balok LVL kayu sengon.

**Kata Kunci** : Laminated Veneer Lumber, balok susun, kapasitas lentur

## PENDAHULUAN

LVL adalah kayu olahan yang terdiri dari lapisan tipis atau veneers kayu yang direkatkan menjadi satu. Dimensi LVL yang sudah umum diproduksi di Indonesia untuk elemen konstruksi rangka mempunyai ukuran tebal 8-12 mm, lebar 80-100 mm dan panjang 200-300 cm. Untuk elemen balok mempunyai ketebalan sekitar 80-120 mm. Jenis kayu yang digunakan umumnya adalah kayu sengon dan karet, namun pada penelitian ini digunakan kayu LVL yang berasal dari kayu sengon.

Berdasarkan teori mekanika balok tersusun biasanya didisain dengan anggapan bahwa potongan-potongannya dihubungkan dengan cukup baik sehingga mereka bersifat sebagai suatu batang tunggal. Perhitungan disainnya meliputi dua tahap. Pertama, balok diproporsikan sebagai sebuah balok pejal. Dalam tahap kedua, elemen-elemen penyambung (paku, las, baut, alat perekat) didisain untuk menjamin bahwa balok bersifat sebagai sebuah balok pejal. Beban-beban yang dipikul oleh elemen-elemen penyambung adalah gaya-gaya geser horizontal yang diteruskan antara potongan-potongan balok. (Gere dan Thimosenko, 2000). Balok tampang segi empat yang dibebani gaya transversal statik akan timbul tegangan dan regangan internal, sebagai perilaku perlawanan balok (Thimosenko

dan Gere, 2000). Untuk mencari besarnya tegangan lentur harus memperhatikan momen yang terjadi pada saat dilakukan pembebanan.

### Penghubung Geser

Penghubung geser adalah alat sambung mekanik yang berfungsi sebagai penahan gaya geser dan gaya angkat yang timbul pada bidang kontak dari bahan-bahan yang membentuk komponen komposit (Suwandoyo dan Zubaidah, 1987 dalam Alves et.al., 2013). Nilai gaya geser horisontal ( $V_h$ ) pada balok dengan penampang persegi panjang dapat ditentukan melalui rumus:

$$V_h = \tau \times b \times L_s \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan:

- $\tau$  = tegangan geser (N/mm<sup>2</sup>)
- $V_h$  = gaya geser yang bekerja pada balok susun (N)
- $b$  = lebar bidang geser (mm)
- $L_s$  = panjang bidang geser (mm)

Jumlah penghubung geser yang diperlukan, diperoleh dengan rumus :

$$N = \frac{V_h}{P_{maks}} \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan:

- $V_h$  = gaya geser yang bekerja pada balok susun (N)
- $P_{maks}$  = beban geser maksimum yang dialami oleh paku (N)

Standar jarak tepi dan spasi antar paku dapat diperoleh dari SK SNI 03-xxxx-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu untuk Bangunan Gedung, yaitu :

- a. Jarak tepi : min. 5D
- b. Spasi antar paku : min. 10D

### Momen Lentur

Apabila sebuah balok kayu di atas dua perletakan, dibebani dengan gaya P pada serat tepi atas saling desak maka pada serat tepi atas terjadi tegangan tekan, sebaliknya pada serat-serat tepi bawah akan terjadi tegangan tarik. Tegangan ini disebut tegangan lentur. Jika tegangan yang terjadi telah mencapai tegangan ijin maka dianggap garis netral berada pada setengah tinggi balok (0,5h). Pada saat ini masih terjadi keseimbangan yaitu tegangan tekan sama dengan tegangan tarik. (Alves et.al., 2013). Akibat gaya tarik dan gaya tekan yang terjadi, dapat menimbulkan momen. Momen yang terjadi dapat dihitung persamaan [4].

$$F_t = \sigma_t \times A \dots\dots\dots [3]$$

$$M = F_t \times y' = (\sigma_t \times A) \times y' \dots\dots\dots [4]$$

dengan:

- $M$  = Momen lentur (Nmm)
- $F_t$  = Gaya tarik (N)
- $\sigma_t$  = Tegangan tarik sejajar serat (N/mm<sup>2</sup>)
- $A$  = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)
- $y'$  = Jarak antara gaya tarik dan gaya tekan (mm)

### Modulus Elastisitas (MOE)

Modulus elastisitas merupakan sifat elastik kayu yang penting sebagai ukuran ketahanan kayu terhadap perpanjangan apabila kayu mengalami tarikan, atau pemendekan apabila kayu mengalami tekanan selama pembebanan berlangsung dengan kecepatan pembebanan konstan. Dalam hal ini yang menjadi tolak ukur adalah besaran modulus elastisitas. Modulus elastisitas berdasarkan defleksi maksimum dapat dihitung dengan persamaan [5].

$$MOE = \frac{\left(\frac{P}{2} \times a\right)}{24 \times I \times \delta} (3L_s^2 - 4a^2) \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan :

- P = beban maksimum (N)
- $L_s$  = jarak tumpuan (mm)
- a = jarak 1/3 L (mm)
- $\delta$  = defleksi balok (mm)
- I = momen inersia (mm<sup>4</sup>)

### Kuat Lentur

Kuat lentur adalah kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang berusaha melengkungkan kayu atau untuk menahan beban-beban mati maupun hidup selain beban pukulan yang harus dipikul oleh kayu tersebut (Dumanauw, 1990). Untuk mencari besarnya kuat lentur perlu diperhatikan momen yang terjadi pada pembebanan. Kuat lentur yang dicari adalah kuat lentur yang terjadi pada momen maksimum, sehingga persamaan yang digunakan adalah persamaan [6].

$$F_b = \frac{M \times y}{I} = \frac{y \times \left( \frac{P}{2} \times a \right)}{I} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan :

- P = beban maksimum (N)
- $L_s$  = jarak tumpuan (mm)
- q = berat sendiri (N/mm)
- a = jarak (1/3  $L_s$ )
- M = momen maksimum (N.mm)
- I = momen inersia penampang (mm<sup>4</sup>)
- y = ordinat titik berat (mm)

### METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental laboratorium dan analisis. Sebuah percobaan untuk mendapatkan suatu hasil yang menegaskan hubungan antara variabel-variabel yang diselidiki dilakukan dalam metode eksperimental. Penelitian ini bahan benda uji berupa kayu olahan *Laminated Veneer Lumber* (LVL) yang terbuat dari bahan 100% kayu sengon dengan dimensi masing-masing batang 8 cm x 1,8 cm, panjang balok 120 cm dengan jarak antar tumpuan 100 cm. Benda uji berupa balok susun dengan variasi susunan penampang. Alat sambung geser (shear connector yang digunakan pada penampang sepanjang balok LVL kayu sengon adalah paku dengan diameter 2,8 mm. Masing-masing penampang terdiri dari 3 sampel balok. Penelitian ini dilakukan dengan dua pengujian. Pengujian pertama adalah pengujian geser paku. Pengujian geser paku dilakukan sebelum menyusun balok LVL kayu sengon. Setiap paku dengan ukuran diameter berbeda diuji kuat gesernya. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mengetahui tahanan geser masing-masing paku. Tahanan geser tersebut yang digunakan untuk menentukan kebutuhan paku setiap balok. Pengujian kedua adalah pengujian lentur balok LVL kayu sengon. Uji lentur dilakukan dengan cara membebani benda uji secara bertahap dengan model pembebanan dua titik (*two point loading*). Data diambil sampai beban maksimum yang mengakibatkan kegagalan struktur dan besar lendutan yang terjadi.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengujian Geser Paku

Benda uji yang digunakan pada pengujian kuat geser paku adalah paku berdiameter 2,8 mm sebanyak 4 buah. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Material Fakultas Teknik UNS Surakarta, didapat hasil beban maksimum yang dapat diterima paku dan kuat geser pada Tabel 1. Data beban maksimum yang telah dirata-rata tersebut menjadi acuan untuk menganalisis kebutuhan paku pada balok susun LVL kayu sengon agar mampu menahan gaya geser yang terjadi.

Tabel 1 Hasil pengujian kuat geser paku 2,8 mm

Benda uji	Diameter (mm)	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	P <sub>maks</sub> (kN)	P <sub>maks rata-rata</sub> (kN)
-----------	---------------	-----------------------------------	------------------------	----------------------------------

P1	2,8	6,15	5,39	
P2	2,8	6,15	5,76	5,4775
P3	2,8	6,15	4,59	
P4	2,8	6,15	6,17	

### Hasil Pengujian Lentur Balok LVL Kayu Sengon

Dari pengujian kuat lentur kayu LVL kayu sengon diperoleh data besarnya beban dan lendutan yang terjadi pada saat pengujian. Data-data hasil pengujian tersebut tertera dalam Tabel 2.

Tabel 2 Data hasil pengujian lentur balok LVL kayu sengon

No	Benda Uji	Beban Maks (N)	Beban Rata-Rata (N)	Lendutan Maks (mm)	Lendutan Rata-Rata (mm)
	LVLA-1	8000		26,55	
1	LVLA-2	7000	7833,33	30,72	28,33
	LVLA-3	8500		27,72	
	LVLB-1	12150		23,8	
2	LVLB-2	12350	12250	23,5	22,47
	LVLB-3	12250		20,12	
	LVLC-1	10450		19,84	
3	LVLC-2	10650	11000	18,59	19,34
	LVLC-3	11900		19,6	
	LVL D-1	15700		24,35	
4	LVL D-2	16950	15583,33	26,92	24,04
	LVL D-3	14100		20,86	

### Analisis Kebutuhan Paku

Untuk memperoleh kebutuhan paku yang diperlukan pada balok susun diperlukan perhitungan gaya geser yang bekerja pada balok susun dan data beban maksimum paku yang didapat dari pengujian kuat geser. Pada perhitungan gaya geser diperlukan nilai tegangan geser dari balok dengan membuat grafik aliran tegangan geser. Hasil perhitungan kebutuhan paku balok LVL kayu sengon disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kebutuhan paku dan jarak antar paku

No	Kode Sampel	Diameter Paku (mm)	P <sub>maks</sub> (N)	V <sub>h</sub> (N)	N per baris	N total	Jarak Antar Paku (mm)
1	LVLA-1	2,8	5,4775	150305,84	28	56	43
2	LVLA-2	2,8	5,4775	150305,84	28	56	43
3	LVLA-3	2,8	5,4775	150305,84	28	56	43
4	LVLB-1	2,8	5,4775	91180,58	17	68	73
5	LVLB-2	2,8	5,4775	91180,58	17	68	73
6	LVLB-3	2,8	5,4775	91180,58	17	68	73
7	LVLC-1	2,8	5,4775	91180,58	17	68	73
8	LVLC-2	2,8	5,4775	91180,58	17	68	73
9	LVLC-3	2,8	5,4775	91180,58	17	68	73
10	LVL D-1	2,8	5,4775	69706,76	13	78	97
11	LVL D-2	2,8	5,4775	69706,76	13	78	97
12	LVL D-3	2,8	5,4775	69706,76	13	78	97

### Analisis Perbandingan Beban Maksimum Antara Perhitungan Secara Teoritis dan Hasil Pengujian Kuat Lentur

Analisa data perhitungan beban maksimum balok LVL kayu sengon selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama. Perbandingan antara perhitungan teoritis dan hasil pengujian kuat lentur disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan beban maksimum antara perhitungan teoritis dan hasil pengujian kuat lentur

No	Kode Sampel	F (N)	M (Nmm)	Teoritis		Pengujian		Rasio
				P maks (N)	P rata-rata (N)	Pmaks (N)	P rata-rata (N)	
1	LVLA-1	68881,66	5510532	33063,19		8000		
2	LVLA-2	68881,66	5510532	33063,19	33063,19	7000	7833,33	0,24
3	LVLA-3	68881,66	5510532	33063,19		8500		
4	LVLB-1	91842,21	7347377	44084,26		12150		
5	LVLB-2	91842,21	7347377	44084,26	44084,26	12350	12250	0,28
6	LVLB-3	91842,21	7347377	44084,26		12250		
7	LVLC-1	91842,21	7347377	44084,26		10450		
8	LVLC-2	91842,21	7347377	44084,26	44084,26	10650	11000	0,25
9	LVLC-3	91842,21	7347377	44084,26		11900		
10	LVL D-1	114802,76	9184221	55105,32		15700		
11	LVL D-2	114802,76	9184221	55105,32	55105,32	16950	15583,33	0,28
12	LVL D-3	114802,76	9184221	55105,32		14100		

#### Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Balok LVL Kayu Sengon

Perhitungan nilai modulus elastisitas menggunakan beban dan lendutan proposional. Untuk mencari beban dan lendutan proposional dapat menggunakan grafik hubungan beban dan lendutan kemudian dibuat garis linear sehingga beban dan lendutan proposional dapat dibaca.

Tabel 5 Hasil perhitungan modulus elastisitas balok LVL dari pengujian kuat lentur kayu

No	Kode Sampel	P prop (N)	$\delta$ prop (mm)	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	MOE Rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
1	LVLA-1	1000	0,7	3266,84	
2	LVLA-2	1100	1,35	1863,31	2816,56
3	LVLA-3	900	0,62	3319,53	
4	LVLB-1	1100	0,61	3752,37	
5	LVLB-2	1600	1,08	3082,76	3642,88
6	LVLB-3	1200	0,61	4093,50	
7	LVLC-1	1800	1,65	2270,03	
8	LVLC-2	1200	1,06	2355,69	2501,17
9	LVLC-3	1300	0,94	2877,79	
10	LVL D-1	2400	1,85	2476,49	
11	LVL D-2	2400	1,64	2793,60	2602,16
12	LVL D-3	1900	1,43	2536,38	

#### Hasil Perhitungan Tegangan Lentur Balok LVL Sengon

Tegangan lentur balok dapat diketahui dengan mencari nilai momen inersia masing-masing penampang terlebih dahulu. Beban maksimum yang didapat dari pengujian lentur balok LVL kayu sengon digunakan dalam perhitungan ini. Hasil perhitungan tegangan lentur dari seluruh benda uji balok LVL kayu sengon dapat dilihat dalam Tabel 6.

Tabel 6 Hasil perhitungan tegangan lentur benda uji

No	Kode	Momen maks	y	I	Tegangan	Tegangan
----	------	------------	---	---	----------	----------

	Sampel				Lentur	Lentur Rata2
		(Nmm)	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
1	LVLA-1	1333333,33	58	7760640	9,96	
2	LVLA-2	1166666,67	58	7760640	8,72	9,76
3	LVLA-3	1416666,67	58	7760640	10,59	
4	LVLB-1	2025000	58	8528640	13,77	
5	LVLB-2	2058333,33	58	8528640	14,00	13,88
6	LVLB-3	2041666,67	58	8528640	13,88	
7	LVLC-1	1741666,67	58	8528640	11,84	
8	LVLC-2	1775000	58	8528640	12,07	12,47
9	LVLC-3	1983333,33	58	8528640	13,49	
10	LVL D-1	2616666,67	58	9296640	16,32	
11	LVL D-2	2825000	58	9296640	17,62	16,20
12	LVL D-3	2350000	58	9296640	14,66	

### Analisis Pembahasan Hasil Perhitungan

Kapasitas lentur balok kayu tersusun erat kaitannya dengan gaya-gaya geser horisontal ( $V_h$ ) yang terjadi antar kayu saat diberi beban, sehingga perlu dilakukan perhitungan secara detail dan teliti untuk mengetahui jumlah *shear connector* yang diperlukan agar dapat memikul gaya-gaya geser horisontal ( $V_h$ ) yang terjadi. Penelitian ini menggunakan *shear connector* paku polos dengan harapan mudah diaplikasikan dan tidak mengurangi luas penampang secara signifikan. Pengujian geser paku dilakukan untuk mengetahui nilai beban geser yang mampu dipikul satu buah paku.

Kuat lentur ( $\sigma_{lt}$ ) dan modulus elastisitas (MOE) balok LVL kayu sengon dapat diketahui dengan uji kuat lentur. Pengujian kuat lentur menghasilkan nilai beban maksimal ( $P_{maks}$ ) yang mampu ditumpu oleh balok hingga terjadi kegagalan struktur dan lendutan ( $\delta$ ) yang terjadi. Nilai  $P_{maks}$  yang di dapat tersebut yang digunakan untuk menghitung nilai kuat lentur dan modulus elastisitas balok LVL kayu sengon. LVL kayu sengon sendiri mempunyai nilai properti yang telah diuji oleh pabrik dengan nilai MOE dan  $\sigma_{lt}$  masing-masing adalah 5700 MPa dan 39,33 MPa.

Nilai rasio  $P_{maks}$  hasil eksperimen terhadap  $P_{maks}$  hasil analisis menunjukkan selisih yang cukup jauh dimana hipotesa awal diharapkan selisih yang terjadi tidak terlalu jauh. Hasil perhitungan teoritis MOE LVL kayu sengon yaitu 8839,6 MPa apabila mengacu pada nilai kuat acuan dari SNI 03-xxxx-2002, didapat nilai kuat lentur sebesar 18 MPa. Hasil analisis MOE dan kuat lentur dari penelitian ini apabila dibandingkan dengan nilai tersebut mempunyai selisih yang sangat jauh. Secara teoritis, hal ini mungkin terjadi karena rumus untuk perhitungan yang dilakukan cenderung untuk kayu kuat, sedangkan produk LVL kayu sengon merupakan kayu lunak dan terdiri dari lapisan vinir sehingga perlu kajian lebih lanjut untuk kuat cabut paku sejajar serat vinir dan kuat cabut paku tegak lurus serat vinir. Hal ini juga disebabkan aksi komposit antara batang yang dihubungkan oleh paku polos sebagai *shear connector* tidak terjadi cukup baik dibuktikan oleh bentuk kegagalan struktur yang terjadi, lihat Gambar 4.(b). Gambar 4.(b) menjelaskan bahwa adanya adanya pergeseran pada sayap balok LVL kayu sengon. Hal itu dikarenakan kuat cabut paku yang ditancapkan searah lapisan vinir merusak lapisan vinir LVL kayu sengon sehingga terjadi pergeseran pada sayap balok. Kegagalan struktur yang terjadi pada badan balok seperti pada Gambar 4.(a) juga menjadi penyebab kecilnya nilai rasio  $P_{maks}$  hasil eksperimen terhadap  $P_{maks}$  hasil analisis. Kegagalan struktur yang terjadi pada badan balok kemungkinan dikarenakan tekanan paku yang menyebabkan rusaknya kayu yang terjadi pada bagian badan balok LVL kayu sengon dan lebih cepat terjadi retakan pada badan balok LVL kayu sengon. Hal tersebut pun berpengaruh pada kecilnya nilai MOE dan  $\sigma_{lt}$  yang dihasilkan dari keempat penampang tersebut dibandingkan dengan nilai properti LVL kayu sengon yang telah diuji oleh pabrik.



(a)



(b)

Gambar 4 (a) Kegagalan struktur pada badan balok LVL kayu sengon, (b) Pergeseran sayap balok LVL kayu sengon

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan analisis balok LVL Sengon, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian lentur balok LVL Sengon diperoleh nilai beban maksimum ( $P_{maks}$ ); lendutan maksimum ( $\delta$ ); modulus elastisitas (MOE); dan tegangan lentur ( $\sigma_t$ ) dari keempat penampang berturut-turut adalah sebagai berikut:
  - a. Penampang A : 7833,33 N; 28,33 mm; 2854,02 N/mm<sup>2</sup>; 9,76 N/mm<sup>2</sup>
  - b. Penampang B : 12250 N; 22,47 mm; 3693,41 N/mm<sup>2</sup>; 13,88 N/mm<sup>2</sup>
  - c. Penampang C : 11000 N; 19,34 mm; 2532,58 N/mm<sup>2</sup>; 12,47 N/mm<sup>2</sup>
  - d. Penampang D : 15583,33 N; 24,04 mm; 2627,65 N/mm<sup>2</sup>; 16,20 N/mm<sup>2</sup>
2. Perbandingan beban maksimum hasil eksperimen terhadap perhitungan teoritis keempat penampang berturut-turut adalah 0,24; 0,28; 0,25; 0,28. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kapasitas beban yang mampu ditahan oleh balok susun LVL Sengon dengan *shear connector* paku polos hasilnya masih jauh dari perhitungan teoritisnya. Kapasitas lentur belum mencapai kapasitas lentur yang seharusnya karena kayu telah rusak oleh paku terlebih dahulu dibuktikan oleh kegagalan struktur yang terjadi bahwa adanya adanya pergeseran pada sayap balok LVL kayu sengon. Hal itu dikarenakan kuat cabut paku yang ditancapkan searah lapisan vinir merusak lapisan vinir LVL kayu sengon sehingga terjadi pergeseran pada sayap balok. Kegagalan struktur yang terjadi pada badan balok LVL kayu sengon dikarenakan tekanan paku yang menyebabkan rusaknya kayu mengakibatkan lebih cepatnya terjadi retakan pada badan balok LVL kayu sengon. Hal ini juga menjadi penyebab kecilnya nilai rasio  $P_{maks}$  hasil eksperimen terhadap  $P_{maks}$  hasil analisis.

## REKOMENDASI

Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan *shear connector* paku ulir (sekrup) yang kemungkinan cukup kuat dan tidak mudah tercabut. Penancapan paku dilakukan dengan alat untuk menancapkan paku seperti *nail gun* sehingga paku dapat tertancap tegak lurus. Perlu dikaji lebih dalam kuat cabut paku yang ditancapkan tegak lurus lapisan vinir LVL dan sejajar lapisan vinir LVL.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terelesaikannya penyusunan penelitian ini berkat dukungan dan doa dari orang tua, untuk itu saya ucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Achmad Basuki, ST, MT dan Dr. Tech. Ir. Sholihin As'ad, MT selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan.

## REFERENSI

- Akbar, Firdaus. 2012. *Pengaruh Panjang Batang Terhadap Kuat Tekan Kolom Laminated Veneer Lumber (LVL) dari Bahan Kayu Sengon (Paraserianthes Falcataria L. Nielsen)*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Alves, P.M.D., Sina, D.A.T., Cornelis, R. 2013. *Tinjauan Kuat Lentur Balok Komposit Kayu Beton dengan Penghubung Geser Paku Polos dan Paku Ulir*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. II, No. 2. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Nusa Cendana. Kupang.
- Awaludin, Ali. 2005. *Konstruksi Kayu*. Biro Penerbit KMTS Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2002. *Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia*. (SNI 03-xxxx-2002). Jakarta.



- Bakar, E.S. 1996. *Kayu Laminasi Vinir Sejajar*. Buletin Teknologi Hasil Hutan,
- Basuki, A., Kristiawan, S.A., Priyantono, H.K., 2011b. *Kekuatan Tekuk Batang LVL Kayu Sengon*. Laporan Penelitian Kerjasama JTS FT UNS dengan PT Sumber Graha Sejahtera, Tangerang.
- Dumanauw, J.F. 1990. *Mengenal Kayu*. Pendidikan Industri Kayu Atas. Semarang.
- Gere, J M dan Timoshenko, S. 2000. *Mekanika Bahan*, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Handayani, Nia Dwi. 2011. *Pengaruh Variasi Sudut Serat pada Kuat Tumpu Kayu Laminated Veneer Lumber (LVL)*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Ma'ali, Muhammad Rosa. 2013. *Analisis Perilaku Prototip Struktur Rangka Kuda-Kuda Laminated Veneer Lumber (LVL) Kayu Sengon*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Pujianto. 2013. *Uji Kuat Lentur Kayu dengan Tambalan Serbuk Gergaji, Serbuk Ketam dan Serbuk Amplasan Kayu*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Rochman, A., dan Sudjatmiko A. 2008. *Teknologi Pembuatan Balok Susun Kayu Komposit Berukuran Besar dari Balok-Balok Kayu Berukuran Pendek dan Kecil*. Surakarta. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Theodarmo, Hendra. (2013). *Kekuatan dan Kekakuan Balok Susun LVL Sengon untuk Sistem Lantai Kayu*. Thesis. Yogyakarta: Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Widianto, Ari. (2010). *Perbandingan Nilai Kapasitas Lentur Balok Laminasi Berpenampang Persegi Panjang dan Balok I (I Joist) dari Bahan Papan Kayu Sengon dengan Volume yang Sama*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.