

# ANALISIS BALOK SENGON LAMINASI KOMPOSIT (SANDWICH) PADA TUMPUAN TERHADAP MOMEN NEGATIF

Teguh Mulyo Wicaksono <sup>1)</sup>, Fikri Praharseno <sup>1)</sup>, Vemi Widodoanindyawati <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Kota Semarang, 50275  
Email: [teguh.mulyo@polines.ac.id](mailto:teguh.mulyo@polines.ac.id)

## ABSTRAK

Kayu sengon merupakan kayu lemah dan merupakan jenis kayu cepat tumbuh dengan masa panen kurang dari 10 tahun dengan kuat tekan 16,91 MPa, kuat tarik 46,33 MPa, kuat geser 3,51 MPa, kuat lentur 23,52 MPa, MoE 6.898,45 MPa dan termasuk klasifikasi E6 sesuai SNI 7973-2013. Pengujian sebelumnya pada balok sengon utuh dan balok laminasi komposit sebagai perkuatan balok sengon pada bentang lapangan dalam menahan momen positif mampu meningkatkan MoE sebesar 10.419 Mpa dengan beban maksimum 16,82 kN setara dengan karakteristik mutu E11, sedangkan pada konstruksi portal terdapat beberapa variasi momen yang dialami oleh balok kayu sehingga penelitian ini ditujukan untuk mengetahui kemampuan balok sengon laminasi komposit balok sandwich pada sisi tumpuan terhadap momen negatif jika diterapkan pada konstruksi portal ataupun sebagai kantilever. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan metode analisis dan eksperimen untuk mengetahui kemampuan balok dalam menahan momen negatif. Dari analisis didapatkan beban ultimate balok adalah 22,17 kN yang ditinjau dari momen tekan penampang yang lebih lemah dibandingkan momen tarik sehingga bidang tekan diprediksi rusak lebih dulu. Dari hasil eksperimen didapatkan beban maksimum adalah 21,13 kN terdapat selisih 4,7% cukup dekat dari beban perkiraan. Hal ini dikarenakan kemampuan tekan steel plate tidak mampu menahan tekan dan terjadi tekuk lokal (local buckling) sehingga kemampuan tekan penampang hanya di dukung oleh kemampuan tekan sengon. Dari hasil pengujian balok laminasi komposit mampu menahan momen negatif dimana pembebanan rencana terfaktor sebesar 16,8 kN masih berada dibawah kemampuan balok komposit yang pada umumnya momen negatif justru lebih kecil dari pada momen positif akibat adanya stabilisasi beban pada sisi tumpuan.

**Kata kunci:** Sengon, Keruing, Steel plate, laminasi komposit, momen negatif.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Konstruksi kayu sendiri memiliki nilai historis budaya yang kental sebagai warisan leluhur ataupun *historical concept* dari segi arsitektur. Seiring dengan makin banyaknya penggunaan kayu dalam bidang konstruksi maka ketersediaan kayu ukuran besar dan bermutu baik menjadi semakin terbatas. Pembangunan yang semakin berkembang terutama pada konstruksi kayu yang berorientasi pada konsep pembangunan berkelanjutan menuntut penggunaan bahan kualitas baik sehingga meminimalkan penggantian akibat kerusakan yang disebabkan oleh

ketidakmampuan struktur menahan beban pada masa layan. Penggunaan konstruksi dengan kebutuhan bahan kayu berukuran besar dan mutu baik menyebabkan semakin menipisnya ketersediaan kayu di alam sehingga teknologi konstruksi kayu harus bisa berorientasi pada rekayasa mekanis terhadap kayu lemah sesuai dengan perilaku struktur yang bekerja saat menerima gaya sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengganti komponen struktur yang memadai.

Kayu sengon merupakan kayu lemah dan merupakan jenis kayu cepat tumbuh dengan masa panen kurang dari 10 tahun dengan kuat tekan 16,91 MPa,

kuat tarik 46,33 MPa, kuat geser 3,51 MPa, kuat lentur 23,52 MPa, MoE 6.898,45 MPa dan termasuk klasifikasi E6 sesuai SNI 7973-2013. Keberadaan kayu sengon yang sangat melimpah dipasaran merupakan potensi besar dimana kayu sengon dapat dioptimalkan menjadi komponen struktur yang murah, mudah dan berlimpah sehingga dapat mendukung pembangunan yang berkelanjutan dimana penggunaan elemen struktur tidak harus selalu berorientasi pada penggunaan kayu dengan mutu baik dan kuat saja. Perkuatan mekanis terhadap gaya lentur balok kayu sengon mengikuti konsep balok *Sandwich* yang terdiri dari papan lamina keruing sebagai perkuatan tekanan pada balok dengan kuat tekan 47,58 MPa serta *Steel plate* sebagai kekuatan tarik dengan kuat tarik 267,28 MPa.

Teguh Mulyo W (2017) melakukan pengujian lentur untuk mengetahui kemampuan lentur pada balok *sandwich* sebagai penahan momen positif didapatkan peningkatan kemampuan sebagai berikut: Beban maksimum balok sengon utuh (BSU) 8,04 kN sedangkan balok laminasi komposit (BLK) beban maksimum 16,82 kN meningkat 109%. Modulus elastisitas lentur BSU 7.002 MPa sedangkan BLK sebesar 10.419 MPa meningkat 49%. Kuat lentur BSU 20,65 MPa, sedangkan pada BLK 39,72 MPa meningkat 92%. Kekakuan BSU pada beban proporsional 6,4 kN adalah 153,02 sedangkan pada BLK 325,06 meningkat 112,43%. Kelengkungan BSU -77,42 pada beban maksimum 8,04 kN sedangkan pada BLK adalah -24,03 meningkat 69%. Efisiensi struktur BSU sebesar 1,07 dan pada BLK didapatkan 1,24 meningkat 15,89%.

Sulistiyawati (2008) Balok merupakan komponen struktur yang

menahan gaya lentur. Dalam dunia konstruksi perkayuan di Indonesia sendiri balok kayu dipasang pada konstruksi lantai kayu, gording penglari ataupun balok kuda-kuda. Penggunaan balok kayu untuk keperluan struktur masih berorientasi pada kayu dari jenis dan mutu yang bagus. Untuk konstruksi balok kayu sendiri tinjauan utamanya adalah pada nilai MoE dimana dipengaruhi oleh faktor elastisitas dan kekakuannya. Kayu dengan mutu baik pada dasarnya sudah memiliki elastisitas dan kekakuan yang baik, sedangkan kayu lemah biasanya selain dipengaruhi nilai elastisitas dan kekakuan yang rendah juga dipengaruhi dengan adanya cacat kayu. Balok kayu yang memiliki homogenitas kurang baik seperti catat ataupun mata kayu dapat dilakukan rekayasa laminasi. Pada balok laminasi disusun dengan melakukan perkuatan balok dengan memanfaatkan karakteristik dan perilaku balok terlentur. Yaitu daerah yang mengalami tekan dan tarik maksimum sehingga dapat mengurangi bidang distribusi tegangan pada kondisi beban yang sama.

Suryawan (2006) telah mengkaji peningkatan kapasitas balok dari kayu lemah (Sengon) dengan lamina kruing pada balok tipe T yang dikompositkan dengan beton sebagai sayap tekannya. Peningkatannya cukup signifikan pada rasio laminasi kruing 50% sebesar 96,04% dengan rata – rata peningkatan sebesar 38,81%.

Penelitian sebelumnya lebih membahas perilaku lentur pada balok dengan konsep *simple beam* dengan analisis tumpuan sendi rol. Sehingga analisis baik lentur, elastisitas dan kemampuan menahan momen hanya terbatas pada momen positif ditengah bentang yang disangga oleh dua tumpuan. Tidak dapat dipungkiri bahwa pemanfaatan hasil penelitian sebelumnya

pada balok akan dirangkai dengan kolom dan membentuk sistem portal dengan beberapa variasi momen yang bekerja. Untuk itu pada penelitian ini dikhususkan dengan analisis balok komposit pada pengaruh adanya momen negatif di tumpuan konstruksi portal dimana perilakunya berkebalikan dengan analisis lentur normal balok pada umumnya. Perilaku momen negatif yang dialami oleh balok laminasi merupakan konsep kebalikan dari balok lentur pada pengujian sebelumnya dimana lamina keruing yang memiliki kemampuan tekan harus menahan gaya tarik sedangkan *Steel plate* yang didesain menahan gaya tarik harus menahan gaya tekan.

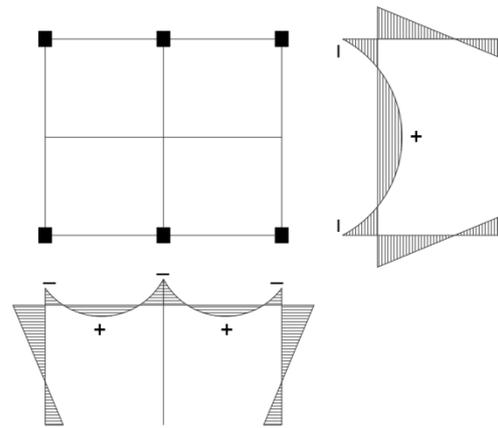
### Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah melakukan evaluasi kemampuan balok sengon laminasi komposit balok *sandwich* pada tumpuan terhadap momen negatif jika diterapkan pada konstruksi portal ataupun sebagai kantilever.

## METODE PENELITIAN

### Analisis Balok Komposit

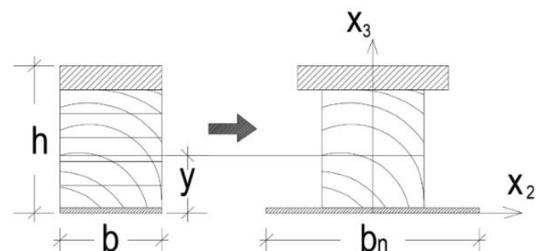
Pada pelaksanaan konstruksi portal yang terdiri dari balok dan kolom, balok akan mengalami beberapa variasi momen untuk mendapatkan kesetimbangan gaya dan momen yang bekerja yaitu momen positif atau momen lentur pada tengah bentang serta momen negatif yang berada pada tumpuan pertemuan balok dan kolom ataupun pada konstruksi kantilever. Bentuk *Bending Moment Diagrams* (BMD) pada konstruksi portal ditampilkan pada gambar 1 berikut:



**Gambar1.** Perilaku momen pada struktur portal

Ditunjukkan pada gambar 1 adalah perilaku momen tahanan yang dimiliki oleh konstruksi portal, dan secara spesifik ditunjukkan dalam kotak berwarna merah adalah titik tinjau perilaku momen negatif yang akan dibahas pada penelitian ini.

Balok komposit dihitung untuk mendapatkan prediksi atau kemungkinan yang terjadi baik itu beban, lendutan tegangan - tegangan bidang yang terjadi pada balok komposit. Analisis penampang balok kayu komposit dapat dihitung dengan metode tampang transformasi. Menurut Bowes, dkk (1984) dalam *Mechanics of Engineering Materials* sesuai dengan Gambar 2 menjelaskan bahwa analisis tampang transformasi adalah analisis dengan melakukan perubahan penampang struktur dengan mempertimbangkan rasio modulus elastisitas bahan penyusun.



**Gambar 2.** Penampang Transformasi

Langkah analisis momen negatif pada tampang transformasi adalah sebagai berikut:

**Penentuan Garis Netral Balok**

$$y = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots (1.a)$$

$$\sum A_i = \int_i b n . h \dots\dots\dots (1.b)$$

$b$  = lebar balok,  $n$  = rasio modulus  $\frac{E_1}{E_n}$

$h$  = tinggi balok,  $y_i$  = jarak titik berat bahan terhadap serat tarik terluar.

Sedangkan Gere & Timoshenko, dalam *Mekanika Bahan Jilid 1*, (2000:385) menambahkan tentang analisis balok komposit (*sandwich*) dengan beberapa kombinasi material.

$$T1 = \sigma i 1 . b . h1 \dots\dots\dots (2.a)$$

$$T2 = \sigma i 2 . b . (y - h1) \dots\dots\dots (2.c)$$

$$M = T1 (h1 + e) + T2 \frac{4e}{3} \dots\dots\dots (2.d)$$

$M$  = Momen,  $T1$  atau  $C1$  = daerah tarik atau tekan,  $\sigma i$  = Tegangan tarik atau tekan,  $h1$  = tebal elemen 1,  $y$  = jarak garis netral terhadap serat terluar,  $e$  = selisih tebal terhadap garis netral

$$P = \frac{M_{maks}}{a} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

$P$  = Beban maks,

$M_{maks}$  = Momen maksimum,  $a$  = Jarak beban ke titik tumpuan terdekat.

Adanya pembebanan lentur menyebabkan terjadinya lendutan pada balok. Lendutan maksimum yang terjadi adalah berada pada tengah bentang untuk penampang balok persegi yang prismatik dengan beban 2 titik dapat dihitung dengan persamaan 3.5.

$$\delta = \frac{P.a}{24.E.I_t} (3L^2 - 4a^2) \dots\dots\dots (4)$$

Dengan  $P$  = Beban,  $L$  = Panjang bentang,  $E$  = Modulus Elastisitas,  $I_t$  = Momen Inersia Transformasi dan  $a$  = Jarak beban ke tumpuan.

Pembatasan yang disyaratkan SNI yakni  $\delta_{maks} \leq 1/300L$  untuk konstruksi terlindung dan dibatasi  $\delta_{maks} \leq 1/400L$  untuk balok yang tidak terlindung. Spesifikasi NDS-1991 memberikan batasan  $\delta_{maks} \leq 1/240L$  untuk struktur balok yang menerima beban kombinasi.

**Pengujian Eksperimental**

Pengujian eksperimental lentur dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Gadjah Mada. Dengan langkah-langkah adalah sebagai berikut:

**Pemilihan Bahan**

- a) Kayu sengon

Kayu Sengon dipakai dari toko / hutan rakyat melalui proses grading dengan pengujian fisis dan mekanis. Ukuran dipakai 8x12x320cm dipakai untuk pengujian awal dan dipotong untuk membuat lamina dengan ukuran 2x8x320cm.

- b) Kayu Keruing

Kayu Keruing yang dipakai adalah berupa lamina dengan ukuran 2x8x320 cm

- c) *Steel Plate*

Baja Lembaran dan Gulungan Lapis Panduan Aluminium – Seng (BjLAS) dengan lebar 8 cm tebal 1 mm sesuai SNI 4096:2007

- d) Perekat

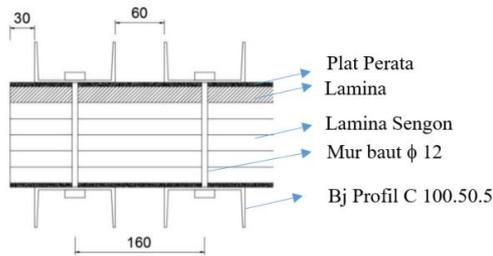
Perekat yang dipakai adalah Polyuretan untuk perekat kayu dan epoxy resin untuk perekat *steel plate*.

**Pengujian Properties Bahan**

Pengujian properties bahan terdiri dari: kadar air, Uji tekan, tarik, lentur, Modulus elastisitas, geser.

### Pembuatan Benda Uji

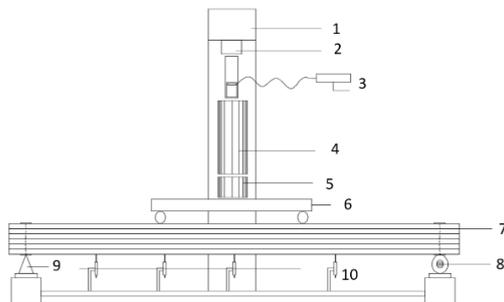
Benda uji dibuat dengan menyusun lamina dengan urutan keruing 1 lapis – sengon 5 lapis - steel plate sehingga membentuk penampang balok dengan ukuran 8x12 cm. Dijepit dengan pelat dan dikencangkan dengan kunci torsi yang dikalibrasi setara dengan tekanan kempa 4 Mpa.



Gambar 3. Perakatan Benda Uji

### Pengujian Terhadap Momen Negatif

Pengujian terhadap momen negatif dilakukan dengan pengujian lentur dengan penempatan terbalik dari pengujian sebelumnya yang pernah dilakukan berdasarkan ASTM Standard D-198, *Standard Test Methods of Static Test of Lumber in Structural Size*, ASTM, West Conshohocken, PA. Dipasang LVDT sejumlah 4 buah pada *setting-up* pengujian, yang nantinya digunakan untuk mendapatkan rekaman data kelengkungan (*curvature*). Pendekatan pengujian momen negatif adalah dengan memisalkan titik beban yang bekerja adalah tumpuan (kolom) pada konstruksi portal.



Gambar 4. *Setting up* pengujian

Keterangan:

1. Loadingframe

2. Loadcell
3. Data Loger
4. Hidrolicjack
5. Pembebanan titik
6. Plat tumpuan pembebanan
7. Benda uji
8. Tumpuan rol
9. Tumpuan sendi
10. LVDT

Data yang dikumpulkan dari pengujian adalah data beban dan displacement dari beberapa titik untuk kemudian di olah. Pengolahan data meliputi diagram beban lendutan, kekakuan lentur (*bending stiffnes*), kelengkungan (*curvatur*), MoE dan MOR, efisiensi struktur ( $\lambda$ ).

$$MOE = \frac{Pa}{4 \delta bh^3} x(3L^2 - 4a^2) \dots\dots\dots (5)$$

$$MOR = \frac{3 Pmax.a}{bh^2} \dots\dots\dots (6)$$

Besarnya kekakuan pada balok dihitung dengan persamaan 7.

$$k = \frac{P}{\delta} \dots\dots\dots (7)$$

Besarnya faktor kekakuan (EI)

$$EI = \frac{M}{\varphi} \dots\dots\dots (8.a)$$

Dengan  $\varphi$  = Kelengkungan balok,  $M$  = Momen,  $EI$  = Faktor kekakuan. Dimana kelengkungan balok dihitung dengan persamaan 8.b

$$\varphi = \frac{l}{r} = \frac{(y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}))}{(\Delta_x)^2} \dots\dots\dots (8.b)$$

Dengan  $y_{i-1}$  dan  $y_{i+1}$  adalah lendutan pada posisi sebelum (i-1) dan sesudah (i+1) dari posisi titik tinjau (i),  $\Delta_x$  = jarak antara titik tinjauan terhadap sumbu x.

Sedangkan efisiensi struktur untuk melihat rasio kemampuan struktur dalam menahan momen dibanding dengan berat struktur.

$$\lambda = \frac{M_{max}}{w} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

$\lambda$  = Efisiensi struktur

$M_{max}$  = Momen maksimum

w = Berat sendiri.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian *Properties*

Pengujian *properties* material terdiri dari pengujian sifat fisis dan mekanis keruing, sengon dan steel plate, data yang dihasilkan digunakan untuk melakukan perhitungan analisis balok komposit.

Pengujian sifat fisis digunakan untuk mengetahui dasar karakteristik bahan yang akan dipakai meliputi pengujian kadar air dan berat jenis atau kerapatan. Pengujian kadar air Sengon dilakukan untuk mengetahui kadar air kesimbangan berkisar 12% – 20%. Lamina Sengon dari log kayu setelah dibelah-belah memiliki kadar air yang cukup tinggi, maka pengujian dapat dilakukan setelah lamina di keringkan selama kurang lebih 1 minggu didalam oven atau ruang pengeringan. Pemeriksaan kadar air menggunakan moisture meter didapatkan kisaran 13% - 15%. Untuk kayu Keruing kadar air pengeringan relatif lebih stabil terhadap kelembaban lingkungan karena kerapatan dari kayu Keruing cukup baik. Hasil pengujian kadar air kayu Keruing berkisar 14%. Bila melihat pada ketentuan perekatan yang disyaratkan untuk perekatan lamina, kadar air yang diperoleh sudah sesuai yaitu berada di bawah 16% dengan masa *curing polyuretan* dapat dicapai selama 40 menit. Karena kayu memiliki sifat higroskopis yang cukup tinggi maka lamina tetap diletakkan pada ruangan isolasi untuk mempertahankan kadar airnya.

Berat jenis kayu Sengon dari hasil pengujian 0,300 – 0,444 t/m<sup>3</sup> dengan rata – rata adalah 0,385 t/m<sup>3</sup>. Dengan berat jenis tersebut kayu sengon termasuk kayu ringan berdasarkan SNI 7973-2013 sehingga harus disesuaikan sebagai acuan dalam desain kuat tumpu. Hasil pengujian berat jenis kayu Keruing mempunyai rata - rata 0,994 t/m<sup>3</sup> dan termasuk kayu berat.

Sedangkan pengujian sifat mekanis meliputi pengujian tekan sejajar serat, uji tarik sejajar serat dan pengujian modulus elastisitas. Hasil pengujian sifat mekanis bahan disajikan dalam tabel 1 berikut:

**Tabel 1.**

Data hasil pengujian *properties* bahan

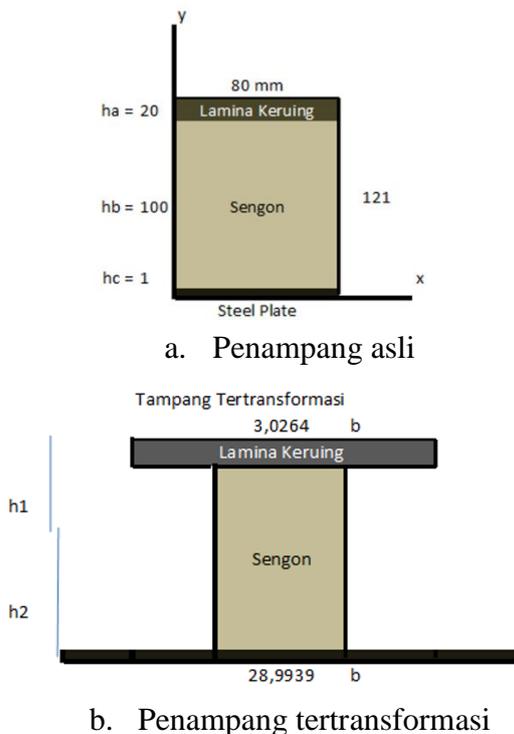
No Benda Uji	Tekan // (MPa)	Tarik //(MPa)	MoE (elastisitas)
<b>Sengon</b>			
S1	17,36	56,24	7.946
S2	15,72	41,05	6.914
S3	17,51	41,69	6.246
Rata-rata	16,91	46,33	6.898
<b>Keruing</b>			
K1	60,13	150,25	19.713
K2	41,78	149,86	22.239
K3	52,05	170,58	19.201
Rata-rata	47,58	171,13	20.876
<b>Steel Plate</b>			
Sp1	-	279,71	-
Sp2	-	239,22	-
Sp3	-	282,92	-
Rata-rata	-	267,28	200.000

Dari data Tabel 1 diketahui kemampuan tekan sejajar serat sengon adalah 16,91 Mpa dan keruing 47,58 Mpa, kemampuan tarik sejajar serat sengon 46,33 MPa, keruing 171,13 Mpa serta steel plate 267,28 MPa, pengujian modulus elastisitas sengon 6.898 MPa, Keruing 20.876 MPa dan elastisitas steel plate 200.000 MPa. Berdasarkan spesifikasi desain untuk konstruksi kayu SNI 7973-2013 mutu sengon tersebut

masuk dalam klasifikasi mutu E6 dengan kisaran modulus elastisitas 6000-7000 MPa, sedangkan keruing termasuk dalam klasifikasi mutu E20 dengan nilai modulus kisaran 20000-21000 Mpa.

### Hasil Analisis Balok Komposit

Analisis balok komposit terhadap momen negatif merujuk pada analisis tampang transformasi. Dari data perbandingan modulus didapat rasio modulus bahan penyusun dibanding dengan modulus sengon adalah sengon 1:1 ; keruing 1:3,02 ; steel plate 1: 28,99 sehingga perubahan transformasinya dapat dilihat pada gambar 5 berikut:



**Gambar 5.** a. penampang asli, b. penampang transformasi

Dari tampang yang tertransformasi dengan skala rasio tersebut dicari nilai kesetimbangan berat untuk menentukan garis netral dengan menggunakan data luas penampang tiap bahan ( $A_i$ ) dan titik berat tiap bahan ( $y_i$ ) sehingga didapatkan  $y$  atau  $h_2 = 73,623\text{mm}$ , dan  $h_1 = 47,37\text{mm}$ .

Hasil perhitungan garis netral digunakan untuk menganalisis kemampuan lentur pada momen negatif dengan paduan data pengujian awal. Pada tinjauan sisi tarik dengan penampang elemen keruing memiliki tegangan tarik sejajar serat 171,13 MPa dan tegangan tarik sejajar serat kayu sengon sebesar 46,33 MPa. Hasil dari perhitungan didapatkan besarnya tarik (*tension*) elemen 1  $T_1 = 273.600\text{ N}$  ;  $T_2 = 101.469\text{ N}$  sehingga didapatkan momen tarik  $M_t = 13.930.130\text{ Nmm}$ .

Tinjauan pada sisi tekan dengan asumsi kemampuan tekan *steel plate* sama dengan tarik sebesar 267,28 MPa, serta kemampuan tekan sengon sejajar serat sebesar 16,91 MPa didapatkan hasil perhitungan tekan (*compression*) elemen 1  $C_1 = 21.382\text{ N}$  serta kemampuan elemen 2  $C_2 = 98.246\text{ N}$  sehingga didapatkan momen tekan  $M_c = 11.087.383\text{ Nmm}$ .

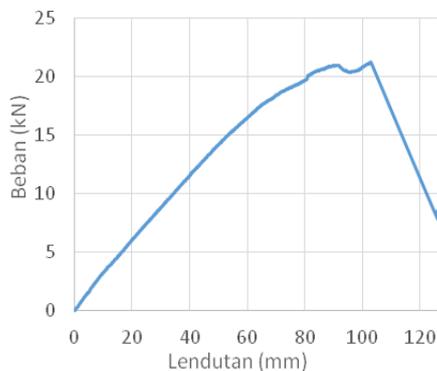
Dari perhitungan momen diatas tinjauan terhadap momen tekan memiliki kemampuan lebih kecil daripada momen tarik sehingga elemen tekan diperkitrakan akan rusak lebih dulu. Selanjutnya nilai dari momen tekan ( $M_c$ ) dipakai untuk perhitungan beban maksimum. Didapatkan besarnya beban  $P = 11.087\text{ N}$  untuk satu titik pembebanan sehingga dari analisis beban maksimum untuk dua titik pembebanan adalah 22.174 N atau 22,174 kN.

Prediksi lendutan terbesar berada pada tengah bentang untuk pembebanan 2 titik didapatkan besarnya lendutan maksimum = 51,2mm. Jika dibandingkan dengan batasan lendutan pada SNI untuk konstruksi terlindung adalah sebesar  $1/300L$  maka maksimum yang bisa dipakai adalah 10mm hal ini diberikan mengingat jika diterapkan maka kondisi struktur masih elastis pada masa layan

untuk kenyamanan pengguna (*service ability*).

### Hasil Pengujian Eksperimen Balok Komposit Terhadap Momen Negatif

Pada penggunaannya sebagai balok lantai, balok komposit ini tentunya dimungkinkan akan mengalami mekanisme bentang tumpuan dimana terjadi momen negatif. Pada pengujian balok komposit telah dilakukan pengujian terbalik pada sampel uji untuk mengetahui seberapa besar kemampuan momen negatif balok dimana lamina Keruing menahan gaya tarik dan steel plate mengalami gaya tekan. Pada konsep seperti ini *steel plate* akan mengalami *local buckling* karena penampang yang tipis dengan bentang yang cukup panjang sehingga gaya tekan yang bekerja dominan pada Sengon itu sendiri dan tariknya di sangga oleh lamina Keruing. Hasil grafik beban lendutan pengujian sampel eksperimen untuk kemampuan momen negatif seperti pada Gambar 6 berikut:



**Gambar 6.** Grafik Hasil pengujian momen negatif

Dari hasil pengujian berdasarkan gambar 6 didapatkan beban maksimum sebesar 21,13 kN dimana mendekati hasil analitis perhitungan beban perkiraan sebesar  $P = 22,174$  kN dengan error rasio 4,71%. Hasil pengujian mendapatkan beban maksimum sedikit lebih kecil dari beban perkiraan

dikarenakan adanya pengaruh tekuk lokal (*local buckling*) pada *steel plate* yang menyebabkan degradasi kemampuan sehingga kebutuhan tegangan tekan dilimpahkan pada penampang sengon. Pola kerusakan ditunjukkan ada gambar 7 adalah menunjukan bentuk kerusakan yang dimulai dari tekuk lokal pelat kemudian disusul dengan rusak lentur pada daerah tarik keruing.



**Gambar 7.** Pola kerusakan pengujian momen negatif

Pada pengujian momen negatif mendapatkan beban maksimum lebih besar daripada pengujian sebelumnya terhadap perletakan lentur momen lapangan dimana beban ( $P$ ) hanya berkisar pada 16 – 18 kN hal ini menyebabkan adanya mode kerusakan yang tiba-tiba dimana serat keruing terputus dengan lendutan yang belum begitu besar, sedangkan pada perletakan lapangan steel plate akan memberikan lendutan yang cukup dimana struktur menjadi cukup liat/daktail.

Lendutan maksimum pada eksperimen didapatkan 86mm lebih besar daripada lendutan maksimum prediksi yang hanya 51,2mm hal tersebut dikarenakan idealisasi saat pengujian baik itu perletakan, kandungan kadar air dan ketelitian ketebalan bahan penyusun benda uji serta daktalitas kombinasi dari struktur komposit.

### Pembahasan

Dari hasil pengujian awal digunakan sebagai data untuk melakukan

analisis sehingga pendekatan dengan menggunakan cara analisis untuk memprediksi beban dan lendutan cukup mendekati hasil pengujian eksperimental. Data dari hasil pengujian selanjutnya di gunakan untuk menghitung kemampuan modulus elastisitas (MOE) dimana diambil beban pada batas proporsional pada lendutan 51 mm dan beban 14,8 kN didapatkan MOE = 12.070 MPa dan kuat lentur MOR = 47,6 MPa karakter tersebut setara dengan spesifikasi mutu kayu E13 pada SNI 7973-2013 dan meningkatkan kemampuan lentur sengon utuh yang berada pada MOE 7.002 Mpa setara dengan mutu E6 meningkat sebesar 72,4%.

Kekakuan merupakan representasi dari kemampuan struktur untuk mempertahankan bentuk asli akibat gaya yang diterima. Semakin sulit struktur berubah bentuk akibat gaya maka dapat dikatakan struktur tersebut semakin kaku. Kekakuan balok dianalisis dengan memanfaatkan beban dan lendutan yang terjadi. Kekakuan balok Sengon utuh dilihat pada beban proporsional 6,4 kN adalah sebesar 153,02. Sedangkan pada pengujian momen negatif ini didapatkan kekakuan yang lebih baik sebesar 281 pada beban proporsional.

Pemasangan sejumlah 3 LVDT di setengah bentang digunakan untuk mengetahui kelengkungan (*Curvature*) balok. Pada pengujian balok Sengon utuh kelengkungan maksimum sebesar -108,67 dan rata-rata sebesar -77,42 pada beban maksimum rata-rata 8,04 kN sedangkan pada balok komposit lentur normal memiliki kelengkungan -24. Kemudian kelengkungan yang terjadi pada balok laminasi komposit momen negatif pada beban yang sama 8,04 kN adalah -22,6 meningkat sebesar 71,4% dari kelengkungan sengon utuh.

Efisiensi struktur merupakan perbandingan antara kemampuan momen maksimum terhadap berat sendiri struktur tersebut, pada pengujian balok laminasi komposit didapatkan nilai efisiensi struktur sebesar 1,25 jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Gannbari, dkk (2016) efisiensi struktur dengan hasil koefisien efisiensi struktur paling baik pada kayu dengan penambahan FRP yaitu sebesar 2,51.

Balok laminasi komposit diharapkan memiliki kemampuan untuk menahan momen negatif pada konstruksi portal atau sebagai kantilever. Pada konstruksi portal dalam menahan momen negatif dari analisis perhitungan pembebanan direncanakan untuk beban lantai dengan bentang 3m, jarak antar balok 1 m, dan beban hidup rencana adalah 350 Kg/m<sup>2</sup> maka beban maksimum yang terjadi dengan *load factor* 1,6 adalah 1680 Kg atau 16,8 kN. Sedangkan pada pengujian didapatkan beban maksimum 21,13 kN atau 2113 Kg sehingga balok komposit masih mampu menahan beban yang bekerja. Sedangkan pada konstruksi balok kantilever dengan beban hasil pengujian tersebut didapatkan panjang kantilever yang mampu ditopang oleh balok laminasi komposit balok *sandwich* 1,23 meter dengan jarak balok 1 meter.

Tinjauan terhadap momen negatif dari pengujian yang telah dilakukan biasanya momen negatif cenderung lebih kecil daripada momen positif hal itu disebabkan adanya stabilitas akibat pengaruh tekanan beban hidup yang bekerja pada daerah momen negatif di tumpuan, sedangkan dari hasil pengujian balok komposit untuk momen negatif didapatkan kemampuan menahan beban dengan bentang yang sama justru memiliki kemampuan lentur lebih baik, baik itu diukur dari beban maksimum,

modulus elastisitas (MOE), kuat lentur (MOR), kekakuan, kelengkungan (*curvature*), maupun efisiensi struktur.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang pengujian balok laminasi komposit pada tumpuan dalam menahan momen negatif, balok laminasi komposit dengan model *sandwich* memiliki kemampuan lentur yang baik setara dengan klasifikasi mutu E11 pada SNI 7973-2013 dapat disimpulkan bahwa balok laminasi mampu menahan momen negatif apabila diterapkan pada konstruksi portal atau sebagai balok kantilever pada bentang tumpuan.

### Saran

Dari penelitian ini masih dapat dikembangkan dalam menganalisis komposisi komposit yang lebih ideal dari segi kemudahan, biaya dan efisiensi struktur apabila diterapkan dalam menahan momen negatif dikarenakan adanya tekuk lokal (*local buckling*) pada sisi tekan yang menyebabkan peran steel plate dalam menahan beban menjadi tidak maksimal sehingga hanya ditumpu oleh kemampuan tekan serat sengon.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang. Laboratorium Teknik Struktur Universitas Gadjah Mada. Adapun pendapat, temuan, dan kesimpulan atau rekomendasi dalam materi ini adalah dari penulis dan tidak berkaitan dengan substansi yang bersifat institusional..

## DAFTAR PUSTAKA

ASTM Standard D-198-1999, *Standard Test Methods of Static Test of Lumber in Structural Size*, ASTM,

West Conshohocken, PA.

Bowes, W.H, Russell L.T., Suter G.T. ,1984. *Mechanics of Engineering Materials*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Ghanbari G.T, Jiao H., Holloway D. ,2016. “*Composite Timber Beams Strengthened by Steel and CFRP*”. ASCE. J. Compos. Constr., 04016059. Univ. of Tasmania. Australia.

Gere, J.M., Timoshenko, S. 2000. *Mekanika Bahan Jilid 1 Edisi Keempat*. Jakarta. Erlangga.

Mulyo W, Teguh. 2017. *Analisis Perilaku Perkuatan Lentur Balok Kayu Sengon Dengan Sistem Komposit Balok Sandwich (Papan Lamina Dan Steel Plate)*. Tesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

SNI 4096:2007. *Baja Lembaran dan Gulungan Lapis Panduan Aluminium – Seng (BjLAS)*. PUSLITBANG-Badan Standarisasi Nasional.

SNI 7973-2013. *Spesifikasi desain untuk konstruksi kayu*. PUSLITBANG-Badan Standarisasi Nasional.

Sulistiyawati I., Nugroho N., Suryokusumo S., Hadi YS. ,2008. *Kekakuan dan Kekuatan Lentur Maksimum Balok Glulam dan Utuh Kayu Akasia*. Jurnal Teknik Sipil, Vol.15 No.3 Desember 2008, Lab Keteknikan Kayu IPB, Bogor, Jawa Barat.

Suryawan LH., Purwodiharjo, FE. ,2006. *Pengujian Laminasi Kayu Keruing – Sengon Pada Balok Komposit Beton Tipe T*. Teodolita Vol. 7, No. 2., Desember 44 2006:44-55. Teknik Sipil PST. Unsoed Purwokerto. pp. 962–969.