

## STUDI EKSPERIMEN PERILAKU MEKANIS PAPAN KAYU LAMINASI SILANG *Experimental Study on Mechanical Behaviour of Cross Laminated Timber*

I Gede Utama Hadi Sutrisna\*, Buan Anshari\*\*, Jauhar Fajrin\*\*

### Abstrak

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan kayu, pasokan kayu dari alam semakin berkurang. Untuk mengatasi pasokan tersebut salah satu produk yang dikenal luas memiliki kemampuan memikul beban struktur adalah Cross Laminated Timber (CLT) yaitu papan kayu yang dilekatkan menggunakan alat penyambung dengan posisi papan berselang seling dan saling tegak lurus.

Penelitian ini bertujuan melakukan pengujian eksperimental menggunakan metode dua titik pembebanan untuk mendapatkan MOR, MOE, daktilitas dan kemampuan CLT menerima beban pada syarat  $\delta_{ijin}$  L/300, metode penyambungan yang diteliti seperti CLT perekat Melamine Formaldehyde (MF), CLT variasi sekrup menyilang, dan CLT variasi sekrup sejajar, masing – masing memiliki 4 benda uji.

Hasil eksperimen menunjukkan MOR berturut – turut 0,41 MPa, 0,87 MPa, dan 0,82 MPa untuk perekat MF, variasi sekrup menyilang, variasi sekrup sejajar. MOE didapatkan nilai berturut – turut sebesar 149,67 MPa, 38,65 MPa, dan 42,19 MPa untuk perekat MF, variasi sekrup menyilang, variasi sekrup sejajar dan untuk daktilitas berturut – turut didapat 4,40 perekat MF, 2,31 variasi sekrup menyilang, 2,25 variasi sekrup sejajar, dari ketiga variasi CLT tersebut yang paling kuat menerima beban pada syarat lendutan ijin seperti CLT perekat Melamine Formaldehyde, beban yang diterima sebesar 1353,25 MPa.

Kata kunci : Beban, Penyambung, Variasi, Bajur, Lendutan ijin

### PENDAHULUAN

Ketersediaan kayu saat ini semakin menurun karena semakin menipisnya pasokan kayu produk alam, untuk mengatasi pasokan tersebut maka dilakukan pengolahan kayu dengan memanfaatkan kayu olahan dari limbah industri berupa kayu dengan potongan – potongan kecil yang berasal dari cabang, ranting atau kayu kelas kuat rendah.

Salah satu solusi untuk meningkatkan kegunaan kayu yang telah dikenal luas yang mampu menerima beban struktur adalah kayu laminasi. Kayu ini dibentuk sedemikian rupa dengan melekatkan beberapa lapis kayu menjadi satu kesatuan yang utuh. Kayu laminasi memiliki keunggulan bila dilakukan dengan mengkombinasikan kayu kelas kuat rendah dan kayu kelas kuat tinggi menjadi satu sehingga menghasilkan produk kayu yang memiliki kualitas yang lebih baik. Kayu laminasi ini menawarkan bentuk dan desain konstruksi yang hampir tidak terbatas. Salah satu bentuk aplikasi struktur kayu laminasi yang dipertimbangkan dalam studi ini adalah pelat lantai bermaterial kayu Bajur yang disusun saling menyilang antar lapisan, dan dikenal dengan istilah Teknologi papan kayu laminasi silang (*Cross Laminated Timber, CLT*). Produk kayu rekayasa ini, biasanya dirakit dari lapisan lamellas (kebanyakan kayu lunak) dengan orientasi tegak lurus dari arah serat. Alat penyambung yang digunakan berupa perekat lem dan sekrup ulir, karena bahan sekrup mudah didapat beratnya lebih ringan dari paku, tahan karat, dan terjangkau harganya, pola pemasangan sekrup menggunakan variasi menyilang dan variasi sekrup sejajar searah, menggunakan perekat lem mempunyai kelemahan yang serius dalam jangka panjang karena biasanya perekat akan mengalami kehausan seiring berjalannya waktu, alat penyambung/perekat lem *Melamine Formaldehyde* (MF). Penelitian ini dilakukan secara eksperimen untuk mengetahui perilaku struktur, MOE dan MOR CLT variasi pengencang sekrup menyilang dan

\* Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram, [dedy\\_item11@yahoo.com](mailto:dedy_item11@yahoo.com)

\*\* Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram, [buan.anshari@unram.ac.id](mailto:buan.anshari@unram.ac.id) dan [jauhar.fajrin@unram.ac.id](mailto:jauhar.fajrin@unram.ac.id)

variasi sekrup sejajar sebagai pembanding digunakan CLT perekat lem MF. Sebagai control kekakuan struktur digunakan syarat lendutan ijin untuk kontruksi terlindung L/300.

## TINJAUAN PUSTAKA

Evaluasi tidak merusak sifat elastis bahan kayu laminasi silang, laminasi ini menggunakan tiga lapisan material kayu, lapisan pertama dan ketiga ketebalannya 10 mm dan lapisan ke dua tebal 50 mm dengan tebal keseluruhan 70 mm, lebar benda uji 1,0 meter dan panjang 1,5 meter berat 44 kg. Penelitian bertujuan untuk menentukan sifat elastis global panel CLT dengan cara mengukur frekuensi resonansi (Steger et al, 2008).

Studi penelitian kayu laminasi silang berpanel dinding lima lapis kayu perekat lem Polyurethane (PU), dari lapisan 1, 3, dan lapisan 5 direkatkan sejajar kesatu arah dan lapisan 2 dan 4 direkatkan tegak lurus, dimensi CLT tersebut 4.95 meter panjang, 1.25 meter lebar dan 0.95 meter tebal (Vessby et al, 2009).

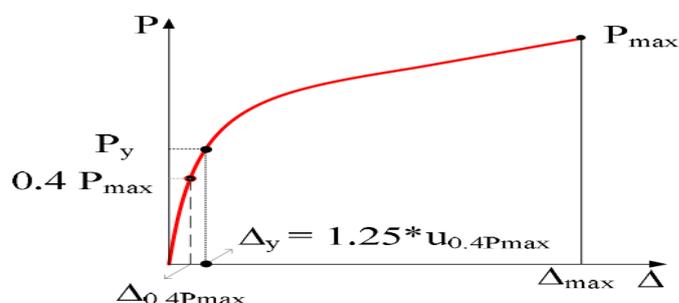
Mengembang kayu laminasi menggunakan kayu Albasia dengan perekat paku. Benda Uji bervariasi 3 dan 5 lapis papan kayu, saling bersilang 90°. ketebalan bersih papan kayu adalah 18 mm dan lebar 180 mm. Hasil tes menunjukkan bahwa Pelat Lantai tersebut dapat memikul beban sebesar 2,5 kPa untuk tebal 3 lapis dan 4,5 kPa untuk tebal 5 lapis (Tjondro, J.A., dkk, 2013a).

Papan kayu laminasi silang dengan paku. panjang total 1,80 m, lebar 0,36 m, tebal 0,1 m dan panjang bentang uji 1,65 m dan menerima dua beban total masing – masing  $\frac{1}{2} P$  berjarak 1/3 bentang sehingga dapat menerima beban antara 10 kN sampai 15 kN pada syarat lendutan ijin, dan daktilitas yang cukup antara 2,59 – 10,63 (Tjondro dkk, 2013c)

Mengembangkan papan kayu laminasi silang dengan perekat. Penelitian ini menggunakan kayu Albasia dengan perekat lem putih atau PvAc. Hasil penelitian menunjukkan berat papan kayu laminasi silang sangat ringan dan mempunyai daktilitas sehingga dapat mereduksi gaya inersia akibat gempa. Kekuatan dan rigiditas menggunakan perekat PvAc lebih kuat dan kaku dibandingkan dengan menggunakan penghubung paku (Tjondro dan Kusumo, 2013b).

### Penentuan Titik batas proporsional dan Ultimite

Untuk menentukan beban batas proporsional (linier) dan beban ultimite dalam pengujian ini menggunakan metode CSIRO seperti disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 1. Metode CSIRO

CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) menggunakan asumsi titik peralihan proporsional (yield point) diperoleh dari nilai defleksi saat 40% beban maksimum

dikalikan faktor 1,25 sehingga didapatkan defleksi yang koresponden dengan beban batas proposional,  $P_y$ . (Menoz et.al.,)

### MOE dan MOR

Metode yang digunakan untuk mendapatkan MOE (*modulus of elasticity*) dan MOR (*modulus of rupture*) digunakan metode dua titik pembebanan (RSNI T-08-2005).

Untuk menghitung modulus elastisitas  $CLT$  (MOE) digunakan Persamaan (1) dibawah ini :

$$E = \frac{P' L^3}{4,7bh^3 \Delta} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk menghitung kuat lentur,  $CLT$  (MOR,) digunakan Persamaan (2-2) seperti dibawah ini :

$$F_b = \frac{PL}{bh^2} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :  $P'$  = Beban balok pada batas proposional (N),  $b$  = Lebar benda uji (mm),  $h$  = Tinggi benda uji (mm),  $L$  = Panjang Bentang (mm),  $\Delta$  = Defleksi pada sumbu netral reaksi pada tegangan balok pada batas proposional (mm),  $P$  = Beban maksimum (N)

Metode yang digunakan untuk mendapatkan MOE dan MOR digunakan metode dua titik pembebanan (RSNI T-08-2005).

Untuk menghitung modulus elastisitas  $CLT$  digunakan Persamaan (3) berikut ini :

$$E = \frac{P' L^3}{4,7bh^3 \Delta} \dots\dots\dots (3)$$

Untuk menghitung kuat lentur  $CLT$  digunakan Persamaan (4) seperti berikut ini :

$$F_b = \frac{PL}{bh^2} \dots\dots\dots (4)$$

dengan :  $P'$  = Beban pada balok pada batas proposional (N),  $b$  = Lebar benda uji (mm),  $h$  = Tinggi benda uji (mm),  $L$  = Panjang Bentang (mm),  $\Delta$  = Defleksi pada sumbu netral reaksi pada tegangan balok pada batas proposional (mm),  $P$  = Beban maksimum (N)

### Daktilitas

Untuk menghitung daktilitas pada  $CLT$  digunakan Persamaan pada (5) dibawah ini :

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots (5)$$

dengan :  $\mu$  = Daktilitas,  $\Delta_u$  = Lendutan saat kondisi ultimit/keadaan plastis,  $\Delta_y$  = Lendutan saat batas kondisi proposional (linier/elastis)

Mengenai Konsep Desain Kapasitas Tahan gempa (Tata Cara Perencanaan Gempa Untuk Bangunan Gedung), SNI 03 – 1726 – 2003.

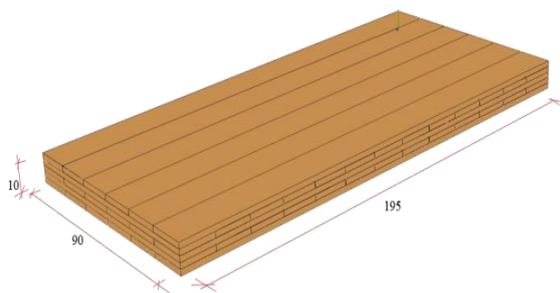
- a.  $\mu < 1,4$  nilai faktor daktilitas untuk struktur yang berperilaku elastik.
- b.  $1,4 < \mu < 5,2$  nilai faktor daktilitas untuk struktur yang berperilaku terbatas merupakan batasan daktilitas yang harus dicapai suatu struktur.
- c.  $\mu = 5,2$  nilai faktor daktilitas untuk struktur yang berperilaku maksimum atau daktail penuh  $\mu_m$ .

## METODE PENELITIAN

Kegiatan pembuatan benda uji dan pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram.

### Pembuatan *CLT* Perekat Melamine Formaldehyde (*MF*)

Papan kayu Bujur yang disusun saling bersilangan 90°. Sebagai kontrol digunakan papan kayu Bujur perekat *MF*. Papan kayu menggunakan tebal 20 mm dan lebar 150 mm dan panjang 1950 mm dan dikempa menggunakan usuk 5/7 menjadi satu kesatuan seperti pelat *CLT*.



(a)

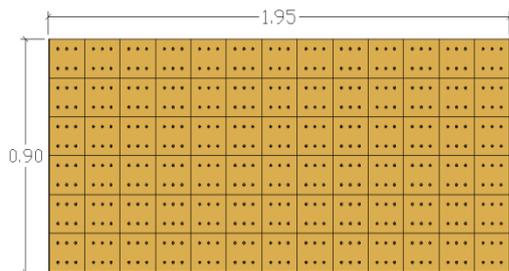


(b)

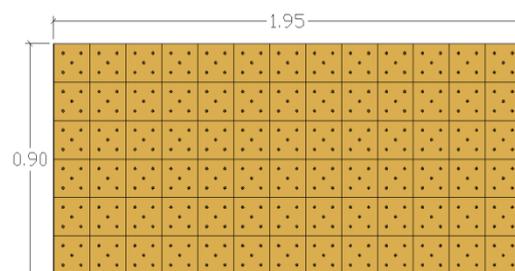
Gambar 2. *CLT* perekat Melamine Formaldehyde (*MF*): (a) *CLT* Perekat *MF*, dan (b) Pengempaan *CLT* *MF*

### Pembuatan *CLT* Variasi Pola Pemasangan Sekrup

Pemasangan sekrup pada *CLT* menggunakan variasi menyilang dan variasi sejajar searah dalam satu baris untuk papan penyusun berdimensi tebal 20 mm, lebar 150 mm dan panjang 1950 mm, menggunakan sekrup kayu Ø4 mm panjang 10 cm jenis sekrup kepala datar, pola pemasangannya disajikan pada Gambar 3.



(a)



(b)

Gambar 3. Pola Pemasangan Sekrup : (a) Variasi sekrup sejajar searah dalam satu baris, dan (b) *CLT* variasi sekrup menyilang

### Pengujian Plat *CLT*

Metode pengujian papan kayu laminasi silang dengan dua titik pembebanan diperlihatkan pada Gambar 4 berikut :

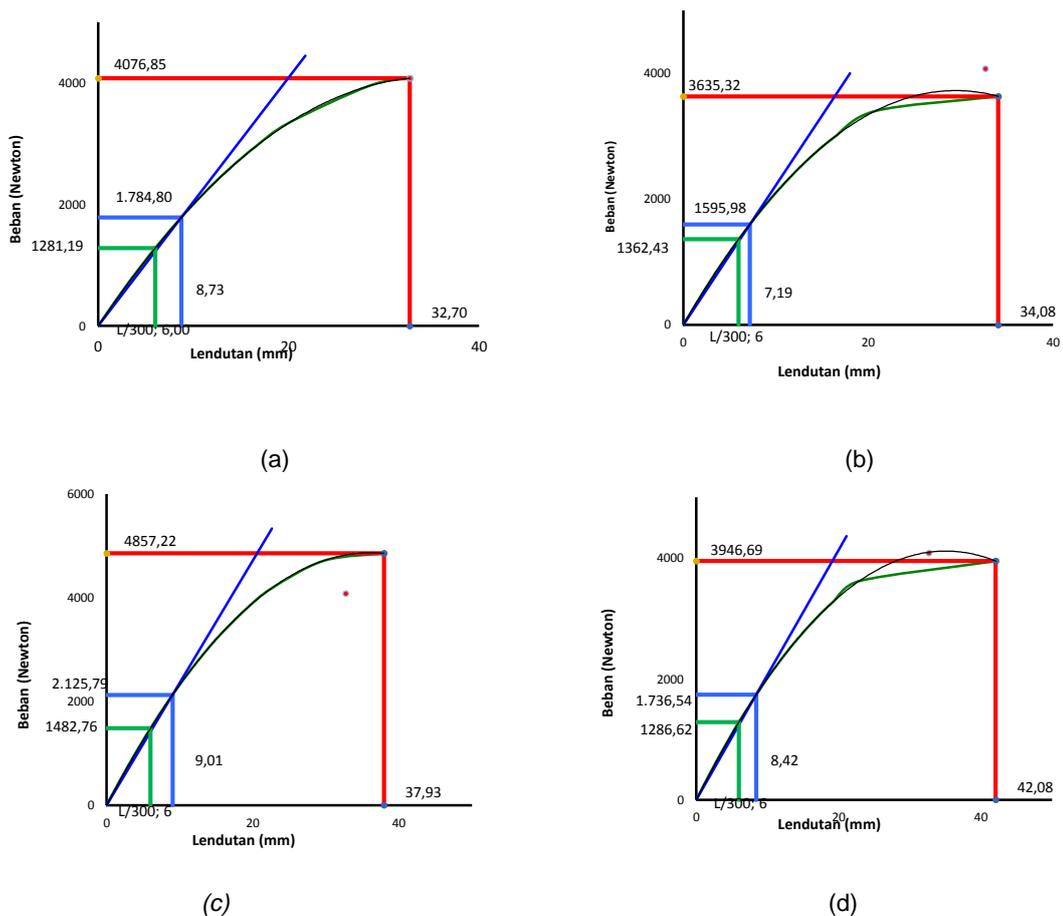


(a) (b)  
Gambar 4. Seting Up Pengujian Papan CLT : (a) Tampak Depan, dan (b) Tampak Samping Kanan

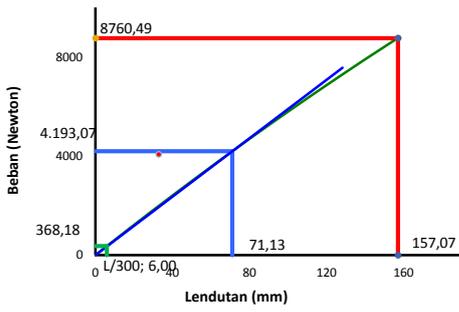
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan Titik Batas Proporsional dan Ultimate

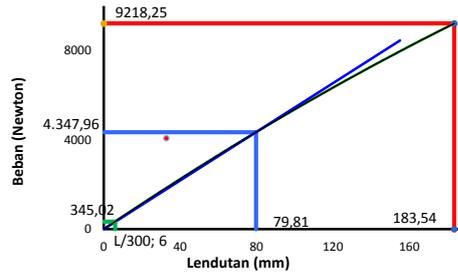
Masing-masing variasi CLT dari hasil pengujian eksperimen untuk mendapatkan rata – rata menggunakan pendekatan garis polynomial, dan ditentukan titik batas proporsional dan ultimate menggunakan pendekatan dengan metode CSIRO suatu garis lurus yang ditarik dari grafik hubungan beban dan lendutan yang disajikan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



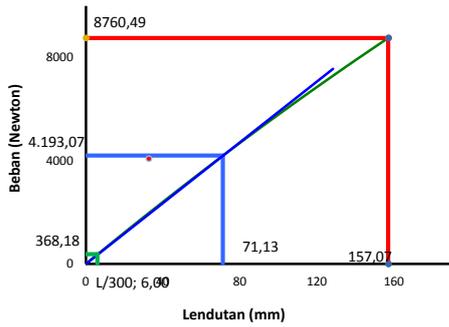
Gambar 5. CLT Perekat MF : (a) Benda Uji 1, (b) Benda Uji 2, (c) Benda Uji 3, dan (d) Benda Uji 4



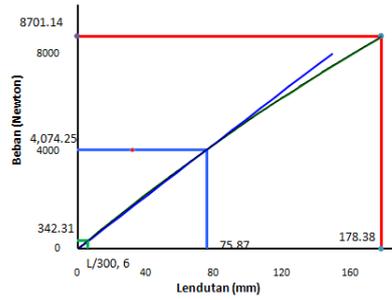
(a)



(b)

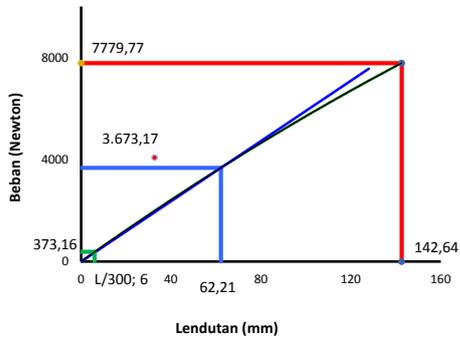


(c)

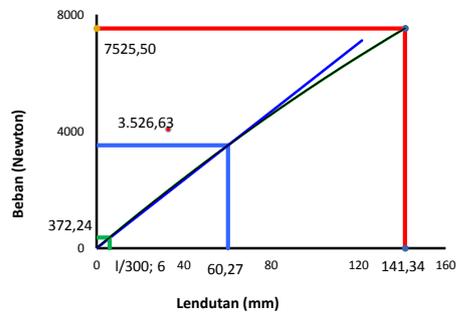


(d)

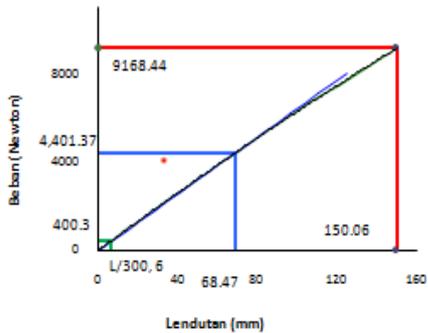
Gambar 6. CLT Variasi Sekrup Menyalang: (a) Benda Uji 1, (b) Benda Uji 2, (c) Benda Uji 3, dan (d) Benda Uji 4



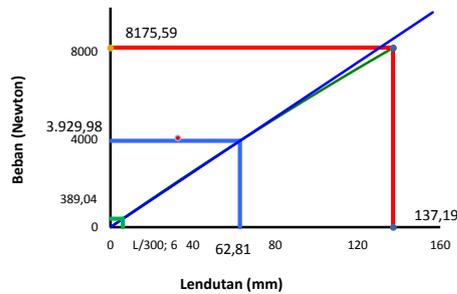
(a)



(b)



(c)

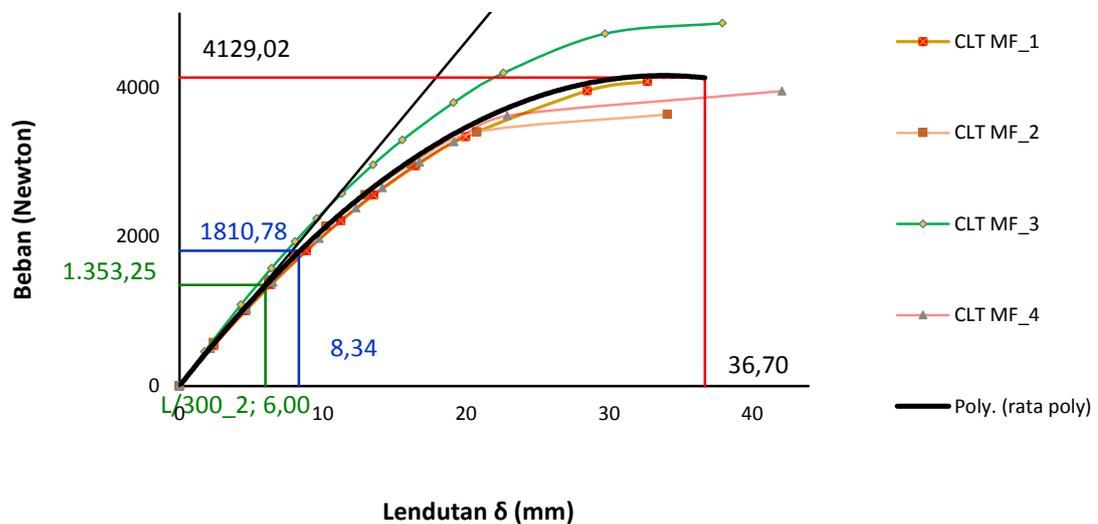


(d)

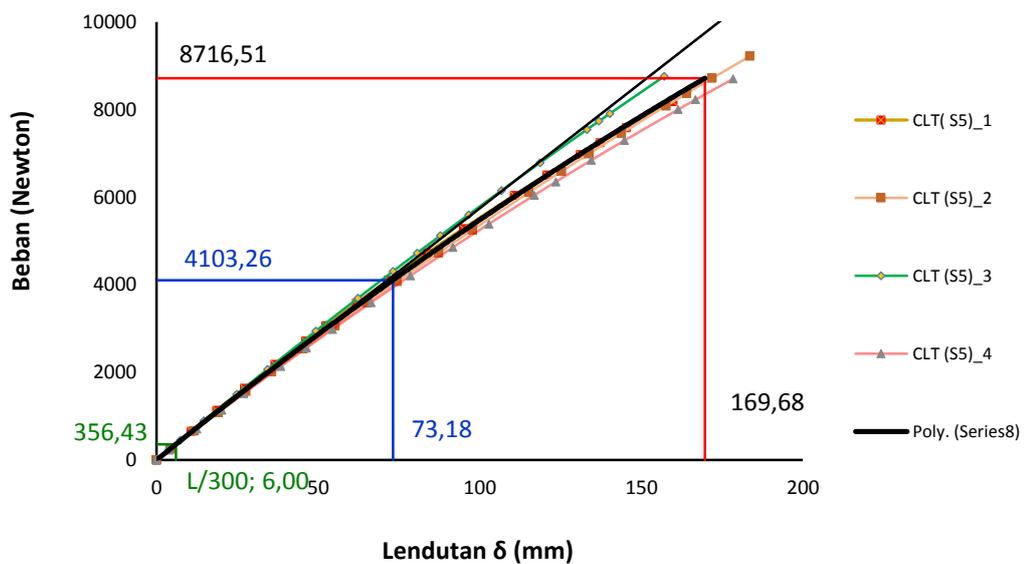
Gambar 7. CLT Variasi Sekrup Sejajar : (a) Benda Uji 1, (b) Benda Uji 2, (c) Benda Uji 3, dan (d) Benda Uji 4

Dari hasil pengujian laboratorium masing – masing variasi mempunyai 4 (empat) spesimen yang menggunakan pendekatan garis polynomial, didapatkan hasil untuk rata-rata beban Ultimate dari masing-masing variasi CLT, hasil pendekatan menggunakan garis polynomial tersebut didapatkan nilai, untuk pelat CLT yang menggunakan perekat MF rata-rata bebannya sebesar 4129.02 Newton dengan rata-rata lendutan yang dihasilkan sebesar 36,70 mm disajikan pada Gambar 8, CLT variasi sekrup menyilang rata-rata bebannya sebesar 8716.52 Newton dan rata-rata lendutan 169.68 mm disajikan pada Gambar 9, dan CLT variasi sekrup sejajar dan searah rata-rata bebannya sebesar 8162.33 Newton dan rata-rata lendutan 142.81 mm disajikan pada Gambar 10.

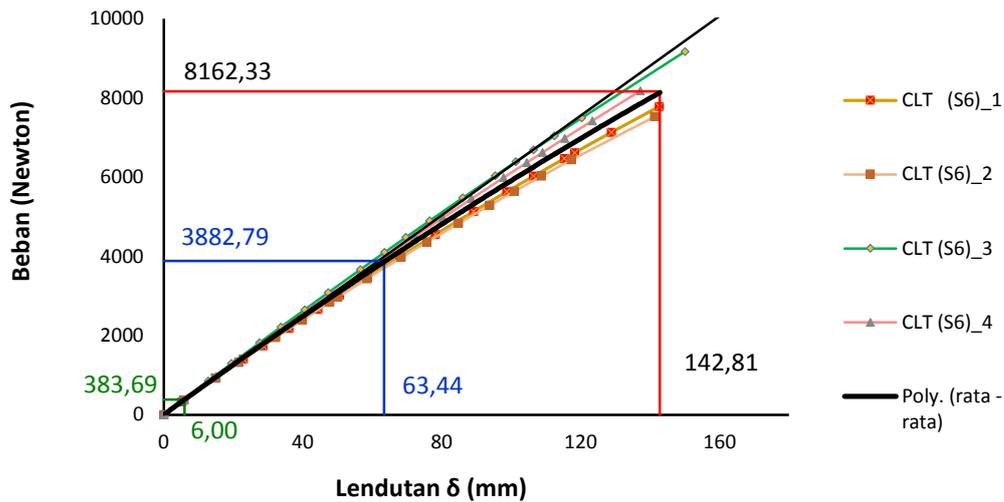
Untuk aplikasinya ditetapkan pada lendutan ijin L/300 persyaratan kontruksi terlindung, hasil analisis lendutan ijin ( $\delta_{ijin}$ ) diperoleh sebesar 6 mm, sehingga dari masing-masing CLT didapatkan nilai beban (P) yang disajikan pada Tabel 1 dan di sajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 8. Beban dan Lendutan CLT Perekat Melamine Formaldehyde



Gambar 9. Beban dan lendutan CLT variasi sekrup menyilang

Gambar 10. Beban dan lendutan *CLT* variasi sekrup sejajarTabel 1. Beban Maksimum Syarat Lendutan  $L/300$ 

Laminasi Silang (CLT)	Beban (Newton)	Lendutan (mm)	Penurunan (%)
Melamine Formaldehyde (MF)	1353.25	6.00	
Sekrup Menyilang	356.43	6.00	74.18%
Sekrup sejajar dan Searah	383.49	6.00	71.65%

Dari Tabel 1 dapat diambil keputusan untuk penurunan bebannya 71,65 % pada *CLT* variasi sekrup sejajar dan searah, untuk *CLT* variasi sekrup menyilang penurunan bebannya sebesar 74,18%.

Beban terbesar dari masing – masing variasi *CLT*, *CLT* perekat *MF* yang paling kuat menerima perlakuan beban sebesar 1353,25 Newton dan yang paling rendah menahan beban pada *CLT* variasi sekrup menyilang sebesar 356,43 Newton.

### MOE dan MOR Pelat CLT

Hasil pengujian eksperimen yang menggunakan metode dua titik pembebanan dari masing – masing variasi *CLT* sehingga didapatkan MOE dan MOR rata – rata, yang disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. MOE masing – masing variasi *CLT*

Pengujian CLT	B (mm)	H (mm)	P (N)	L (mm)	$\Delta$ (mm)	MOE (N/mm <sup>2</sup> )
CLT Melamine Formaldehyde	900	100	1810.78	1800	8.34	299.35
CLT Variasi Sekrup Menyilang	900	100	4103.26	1800	73.18	77.31
CLT Variasi Sekrup Sejajar dan Searah	900	100	3882.79	1800	63.44	84.38

Tabel 3. MOR masing – masing variasi CLT

Pengujian CLT	B (mm)	H (mm)	P (N)	L (mm)	MOR (N/mm <sup>2</sup> )
CLT Melamine Formaldehyde	900	100	4129.02	1800	0.83
CLT Variasi Sekrup Menyilang	900	100	8716.52	1800	1.74
CLT Variasi Sekrup Sejajar dan Searah	900	100	8162.33	1800	1.63

MOE rata-rata terbesar didapatkan pada CLT perekat MF 299,35 MPa. Untuk MOR CLT perekat MF yang paling kecil dibandingkan dengan CLT yang menggunakan variasi penyambung mekanik, kuat lentur CLT perekat MF didapatkan sebesar 0,83 MPa.

### Daktilitas

Masing – masing CLT memiliki nilai daktilitas, untuk CLT perekat MF 4,40 untuk CLT variasi sekrup menyilang 2,32 dan CLT variasi sekrup sejajar daktilitasnya 2,25 yang memiliki daktilitas terbesar pada CLT perekat MF dan yang terkecil pada CLT variasi sekrup sejajar.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan, dari hasil pengujian didapatkan MOE kayu laminasi silang untuk perekat melamine formaldehyde, variasi pengencang menyilang, dan variasi pengencang sejajar, searah berturut - turut didapatkan 299.35 MPa perekata MF, 77.31 MPa variasi sekrup menyilang, dan 84,38 MPa variasi sekrup sejajar, MOR masing - masing CLT 0.83 MPa perekat MF, 1.74 MPa variasi sekrup menyilang dan 1.63 MPa variasi sekrup sejajar. Daktilitas masing-masing CLT, untuk variasi perekat MF, variasi pengencang menyilang, dan variasi pengencang sejajar, searah berturut – turut sebesar 4,40 perekat MF, 2,32 variasi sekrup menyilang, dan 2,25 variasi sekrup sejajar, masing – masing CLT tersebut mencapai batasan daktilitas  $1,4 < \mu < 5,2$ . Eksperimen menunjukkan untuk syarat  $\delta_{ijin} L/300$  dari ke tiga variasi tersebut CLT perekat MF yang paling besar menerima perlakuan beban (P) 1353.25 Newton, sehingga CLT variasi sejajar dan searah mengalami penurunan beban 71,65% dan CLT variasi sekrup menyilang mengalami penurunan beban 73,66%, sehingga dinyatakan dari ke tiga variasi pelat CLT perekat Melamine Formaldehyde yang paling kuat.

### Saran

Pada saat pembelian kayu dipasaran, sebaiknya diketahui jenis dan kondisi kayu terutama karakteristik dari kayu tersebut yang akan digunakan sebagai laminasi silang. Pada pembuatan kayu laminasi silang, dibutuhkan alat yang lebih teliti dalam pengeleman dan pengeboran untuk mendapatkan hasil yang optimum. Perlu diperhatikan pada proses pengempaan, sebaiknya menggunakan alat tekan sesuai dengan dimensi kayu laminasi silang yang sudah terbentuk menjadi plat yang lebih besar dan kaku agar tekanan yang dihasilkan merata.

## DAFTAR PUSTAKA

Munoz W., Mohammad M., Salenikovich A., dan Quenneville P., 2010, Determination Of Yield Point And Ductility Of Timber Assemblies, In Search For A Harmonised Approach

Farmati A., dan Surjokusumo S., RSNI T-08-2005, Metode Pengujian Lentur posisi tegak kayu dan bahan bangunan berbasis kayu

Steiger R., A., Gulzow D., Gsell., 2008, Non Destructive Evaluation Of Elastic Matrial Properties Of Cross – Laminated Timber (CLT)

Tjondro J., A., D., R., Widarda and B. Hartanto, 2013, The flexural strength and behaviour of cross nail-laminated timber floor. The 6<sup>th</sup> Civil Engineering Conference in The Asian Region, Jakarta, August 20-22, 2013

Tjondro, J.A., dan Beni K., 2013, Kuat Lentur dan Perilaku Balok Papan Kayu Laminasi Silang dengan Perekat. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (Konteks 7), Surakarta, 24-25 Oktober 2013

Tjondro, J.A., Segara, A. dan Marco, S., 2013, Kuat Lentur dan Perilaku balok papan kayu laminasi silang dengan paku. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (Konteks 7), Surakarta, 24-25 Oktober 2013

Vessby Johan, Enquist B., Petersson H., dan Alsmaker T., 2008, Experimental Study of-Cross Laminated Timber Wall Panels. Departemen of Design and Technology