

Kekuatan Tekan Tegak Lurus Serat *Cross Laminated Timber* (CLT) Tiga Jenis Kayu Rakyat (*Compression Strength Perpendicular to the Grain of Cross Laminated Timber (CLT) of the Three Community Wood Species*)

Muthmainnah^{1*}, Sucahyo Sadiyo², Lina Karlinasari²

¹Fakultas Kehutanan, Universitas Tadulako Kampus Bumi Tadulako Palu, 94118

²Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB
Darmaga Bogor, 16680

*Penulis korespondensi: muthmainnah_a@yahoo.com

Abstract

Cross Laminated Timber (CLT) is an engineered wood products composed of multi-layered panel of lumber where each layer of boards is placed cross-wise to adjacent layers. The purpose of the present research was to evaluate the compression strength perpendicular to grain of CLT composed of 5 layers tested with line loads in square surface. The position of line loads was in the centre and edge of sample orientated both in parallel and perpendicular to the grain direction at the CLT-surface. The CLT specimens were (15x20x20) cm³ (thickness, width and length) in size and were prepared from three community timber, i.e. sengon (*Paraserianthes falcataria*), mindi (*Melia azedarach* L.), and angka (*Artocarpus heterophyllus* Lamk.). The result showed that the edge loading position resulted in lower compression strength than that of the central loading position. The highest compression strength was retained by CLT tested in the center loading position oriented to perpendicular to the grain direction. The highest compression strength perpendicular to grain was retained by CLT of angka wood (20.28 kg cm⁻²) followed successively by those of CLT of mindi (25.97 kg cm⁻²) and CLT of sengon (8.50 kg cm⁻²).

Keywords: CLT, compressive strength perpendicular to grain, line load, mindi, angka, sengon

Abstrak

Cross Laminated Timber (CLT) merupakan suatu produk rekayasa kayu yang disusun dari lamina-lamina berupa papan tipis secara bersilangan untuk arah tiap lapisannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan tekan panel CLT 5 lapis dari tiga jenis kayu rakyat (sengon, mindi, angka) yang diuji dengan pembebanan garis pada posisi tengah dan pinggir di permukaan CLT. Macam posisi pembebanan garis yang dimaksud adalah (1) posisi A₁, plat beban diletakkan di tengah CLT dengan permukaan plat sejajar serat kayu pada permukaan CLT, (2) posisi B₁, plat beban diletakkan di tengah CLT dengan permukaan plat tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT, (3) posisi A₂, plat beban diletakkan di pinggir CLT dengan permukaan plat sejajar serat kayu pada permukaan CLT, dan (4) posisi B₂, plat beban diletakkan di pinggir CLT dengan plat beban tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT. Contoh uji panel CLT berukuran (15x20x20) cm³ (tebal, lebar, dan panjang). Hasil penelitian menunjukkan berdasarkan posisi pembebanan maka posisi plat beban di pinggir menghasilkan kekuatan tekan yang lebih rendah dibandingkan posisi plat di tengah. Kekuatan tekan CLT posisi plat beban B₁ adalah yang tertinggi dibandingkan pengujian lainnya untuk semua jenis kayu. Panel CLT angka menghasilkan kekuatan tekan tegak lurus seratnya yang tertinggi (25,97 kg cm⁻²), diikuti kayu mindi (25,97 kg cm⁻²), dan yang terendah adalah panel CLT kayu sengon (8,50 kg cm⁻²).

Kata kunci: CLT, kekuatan tekan tegak lurus serat, pembebanan garis, mindi, angka, sengon

Pendahuluan

Kebutuhan bahan baku kayu bulat terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2013, kebutuhan bahan baku kayu bulat nasional diproyeksikan mencapai 54,5 juta. Industri *wood working* kebutuhan bahan bakunya diproyeksi mencapai 15,4 juta m³ pada tahun 2014 (Dirjen Industri Agro 2013). Untuk memenuhi pasokan kayu bulat tersebut, pembangunan Hutan Tanaman Industri (HTI) dan Hutan Rakyat (HR) diharapkan menjadi pemasok utama industri perindustri di masa mendatang. Kayu dari hutan tanaman dan hutan rakyat saat ini memiliki keterbatasan, diantaranya ukuran diameter yang kecil karena rotasi penebangannya yang lebih singkat dan bermutu kurang baik (mata kayu, lebih ringan, strukturnya lebih kasar, *juvenile wood*), sehingga kayu sebagai bahan alamiah berupa balok atau log belum merupakan produk yang efisien sebagai komponen struktural.

Cross Laminated Timber (CLT) merupakan produk kayu yang inovatif yang diperkenalkan awal tahun 1990-an di Austria dan Jerman dan mengalami perkembangan yang signifikan pada tahun 2000-an (Mohammad *et al.* 2012). CLT merupakan produk rekayasa kayu yang disusun dari lamina-lamina berupa papan dan direkatkan secara bersilangan (Sturzenbecher *et al.* 2010). Produk CLT dirancang untuk kapasitas struktural yang kuat dengan pembebanan pada arah longitudinal dan transversal dan produk ini dapat meminimalkan perubahan dimensi akibat kelembaban dan perubahan suhu. CLT digunakan sebagai komponen dinding dan lantai dan biasanya pada pembuatan bangunan bertingkat (*multi-story building*). Pembuatan CLT dapat mengatasi keterbatasan dimensi yang dimiliki kayu hutan rakyat

seperti jenis kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lamk) dan kayu Mindi (*Melia azedarach* L).

Produk CLT pada umumnya berbeda dengan kayu. CLT tersusun atas papan-papan yang memiliki lapisan sejajar dan tegak lurus membentuk sudut 90° yang akan mempengaruhi kekuatan tekan yang dihasilkan. Penelitian mengenai kekuatan tekan tegak lurus CLT antara lain dilakukan Hasuni *et al.* (2009) dan Serrano dan Enquist (2010) pada kayu dengan kerapatan 400-439 kg m⁻³. Kekuatan tekan yang dihasilkan berkisar 2,9-5,8 MPa. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi besarnya kekuatan tekan tegak lurus serat dari panel CLT lima lapis dari tiga jenis kayu rakyat yang diuji dengan pembebanan garis pada posisi tengah dan pinggir.

Bahan dan Metode

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lamk) dan kayu mindi (*Melia azedarach* L.) yang diperoleh dari daerah Jasinga, Bogor dengan perkiraan umur ± 7 tahun dan berdiameter 25-35 cm. Perekat yang dipakai adalah perekat isosianat merek Koyo Bond KR-560 (*Aqueous Polymer-Isocyanate Adhesive*) dengan penambahan *hardener* Koyo Bond *crosslinker* AP.

Persiapan bahan

Balok dari sengon, nangka dan mindi digergaji menggunakan *circular saw* yang menghasilkan papan dengan ketebalan $\pm 3,2$ cm, panjang ± 205 cm, dan lebar ± 18 cm. Papan-papan tersebut kemudian dikeringkan sampai mencapai kadar air kering udara 12-15%, dan selanjutnya diserut serta diampelas sampai mencapai ketebalan 3 cm.

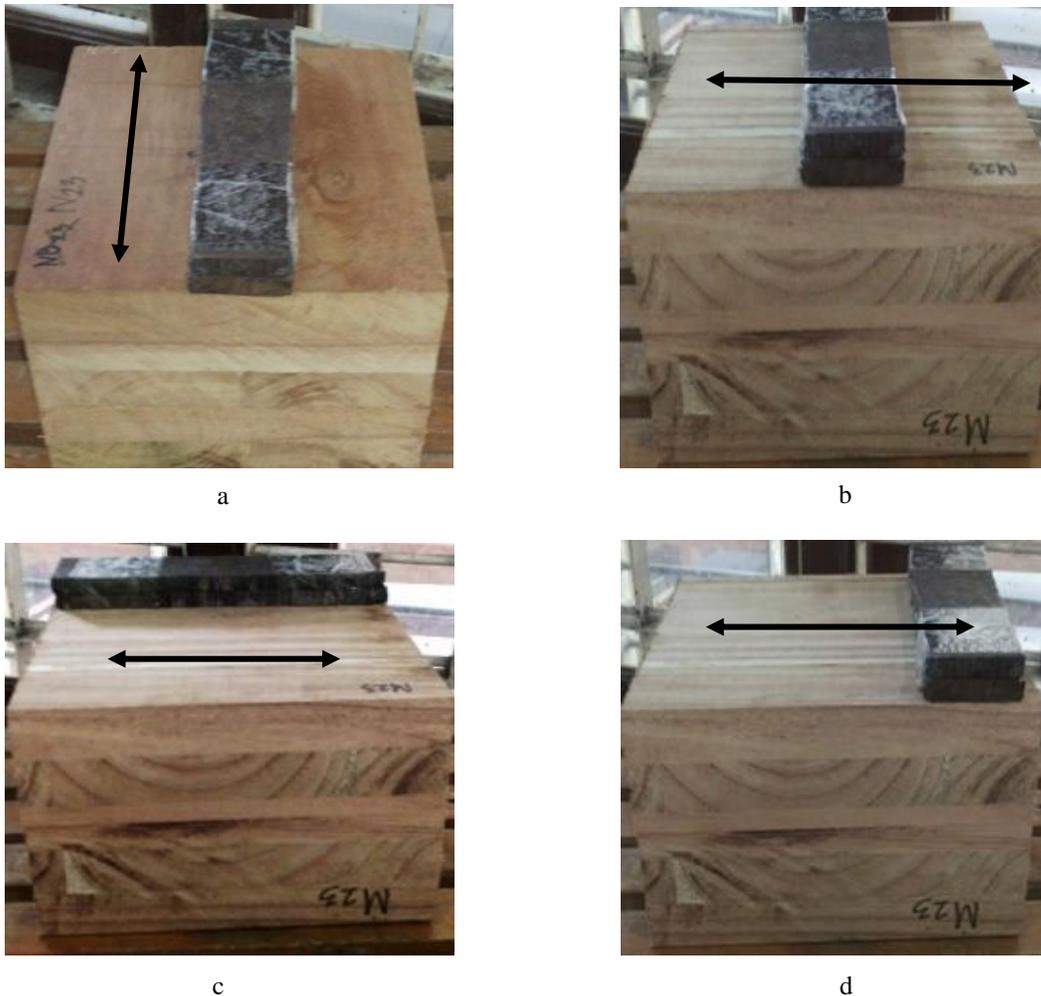
Pembuatan CLT diawali dengan dengan penyusunan dan perekatan papan-papan atau lamina dalam 5 lapisan yang saling bersilangan atau tegak lurus satu dengan yang lainnya. Lapisan sejajar berukuran tebal 3 cm, lebar 14 cm dan panjang 168 cm ditempatkan pada bagian permukaan atas, tengah dan bawah. Sedangkan lapisan bersilangan dengan ukuran tebal 3 cm, lebar 14 cm dan panjang 84 cm terletak diantara ketiga lapisan tersebut. Lapisan sejajar dan lapisan bersilangan kemudian direkatkan per lapisan dengan menggunakan perekat isosianat dengan berat labur 280 g m^{-2} pada dua permukaan (*double spread*). Lamina-lamina tersebut kemudian dirakit menjadi panel CLT dengan ukuran akhir $(15 \times 84 \times 168) \text{ cm}^3$ untuk tebal, lebar dan panjang. Selanjutnya panel CLT dikempa menggunakan mesin kempa dingin dengan tekanan pengempaan 15 MPa selama 12 jam. Setelah itu CLT dikeluarkan dari mesin kempa dan dikondisi keringudarkan selama 1 minggu sebelum dilakukan pengujian.

Pengujian sifat fisis dan kekuatan tekan CLT

Sifat fisis yang diuji adalah kerapatan dan kadar air dengan ukuran contoh uji $(15 \times 5 \times 5) \text{ cm}^3$ (tebal, lebar dan panjang). Pengujian kekuatan tekan tegak lurus CLT menggunakan sampel berukuran $(15 \times 20 \times 20) \text{ cm}^3$ (tebal, lebar dan panjang) yang mengacu pada Serrano dan Enquist (2010). Sampel diambil dari hamparan CLT yang dibuat sebanyak 12

buah secara acak. Proses pengujian dilakukan dengan memberi beban berupa beban segaris atau *line load* menggunakan plat berukuran tebal 2 cm lebar 5 cm dan panjang 20 cm. Pembebanan dilakukan dengan 4 macam posisi peletakan beban (Gambar 1), yaitu (1) posisi A1, plat beban diletakkan di tengah CLT dengan permukaan plat sejajar serat kayu pada permukaan CLT, (2) posisi B1, plat beban diletakkan di tengah CLT dengan permukaan plat tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT, (3) posisi A2, plat beban diletakkan di pinggir CLT dengan permukaan plat sejajar serat kayu pada permukaan CLT, dan (4) posisi B2, plat beban diletakkan di pinggir CLT dengan permukaan plat beban tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT. Pada masing-masing posisi pengujian dilakukan ulangan sebanyak 3 kali untuk 3 jenis kayu yang diuji. Total sampel pengujian tekan CLT adalah 36 sampel.

Data hasil pengujian tekan CLT berupa beban, deformasi dan kekuatan tekan dari empat macam posisi pembebanan dianalisis secara statistik deskriptif dan menggunakan rancangan percobaan acak kelompok (Rancangan Acak Kelompok, RAK) subsampling dari tiga ulangan. Uji lanjut Duncan dilakukan apabila terdapat pengaruh jenis kayu dan posisi pembebanan secara nyata pada tingkat kepercayaan 95% terhadap parameter yang diuji.



Gambar 1 Posisi pembebanan tekan panel CLT (↔ : arah serat kayu permukaan CLT; a. Posisi pembebanan A₁, b. Posisi pembebanan B₁, c. Posisi pembebanan A₂; d. Posisi pembebanan B₂)

Hasil dan Pembahasan

Sifat fisis

Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata kadar air panel CLT untuk ketiga jenis kayu berkisar antara 13,00% sampai 14,60%. JAS 234:2003 untuk panel laminasi kayu mempersyaratkan kadar air maksimal 15%. Berdasarkan standar tersebut, maka kadar air panel CLT yang dibuat telah memenuhi standar. Kadar air dalam panel CLT berpengaruh terhadap kekuatan lentur dan kekakuan geser (Gulzow *et al.* 2011). Sifat kekakuan CLT menurun

secara signifikan dengan meningkatnya kadar air kayu pada kisaran higroskopis. Produk balok laminasi dengan kadar air 12% memiliki kekuatan kayu 50% lebih tinggi dibandingkan dengan balok laminasi berkadar air 20% (Frese *et al.* 2012). Kadar air sangat berpengaruh terhadap proses perekatan produk komposit kayu. Air yang banyak terdapat pada kayu akan menghambat ikatan dari cairan perekat. Kondisi ideal pada proses perekatan komposit kayu adalah kayu dengan kadar air 6-14% (Ruhendi *et al.* 2007).

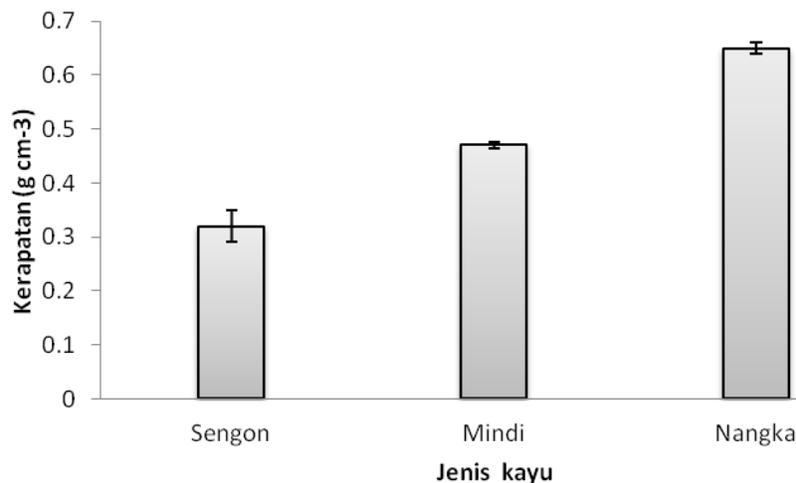
Rataan kerapatan panel CLT dari ketiga panel CLT sengon, mindi dan nangka masing-masing $0,32 \text{ g cm}^{-3}$, $0,47 \text{ g cm}^{-3}$ dan $0,64 \text{ g cm}^{-3}$ (Gambar 2). Dengan asumsi bahwa panel CLT ini dianggap sama dengan kayu solid, maka menurut Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) 1961, ketiga panel CLT memiliki kerapatan yang berbeda nyata satu dengan lainnya. Berdasarkan kerapatan panel tersebut, panel CLT sengon, mindi dan nangka masing-masing tergolong dalam kelas kuat IV, III dan II.

Kerapatan panel CLT bervariasi disebabkan adanya perbedaan lapisan lamina-lamina penyusun panel CLT. Panel CLT nangka memiliki nilai kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel CLT sengon dan mindi, hal ini dikarenakan kayu nangka memiliki dinding sel yang tebal dan lumen kecil. Kecenderungan sel yang memiliki dinding tebal dan lumen kecil memiliki kerapatan tinggi, sebaliknya sel yang memiliki dinding tipis dan lumen besar memiliki kerapatan yang rendah (Ruhendi *et al.* 2007). Lepage (2012)

menyatakan bahwa semakin tinggi berat jenis kayu penyusun CLT maka semakin tinggi pula kerapatan panel CLT yang dihasilkan.

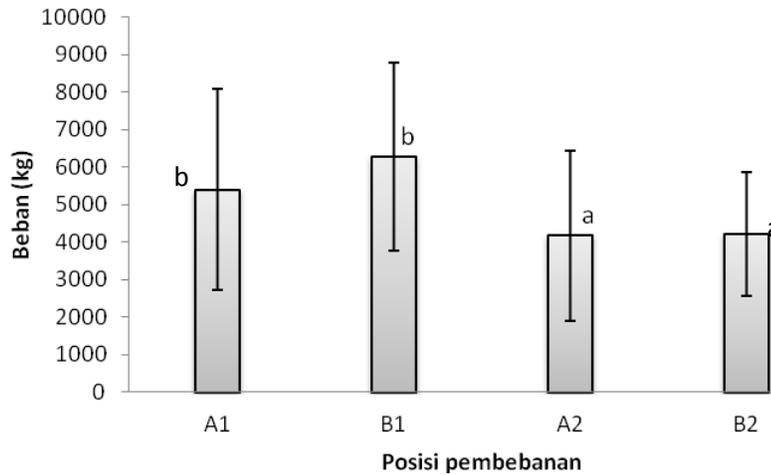
Beban batas proporsional panel CLT

Pengujian beban dan kekuatan tekan tegak lurus dalam penelitian ini diambil hanya dari nilai tegangan serat pada batas proporsional. Menurut (Mardikanto *et al.* 2010), efek pertama yang terjadi akibat tekanan tegak lurus serat kayu adalah pemadatan sel karena dinding bagian atas dan bawah sel menyatu. Dengan kejadian tersebut, maka kekuatan kayu seolah-olah menjadi meningkat lagi, sebenarnya sudah terjadi kerusakan. Lebih lanjut Serrano dan Enquist (2010) menyatakan kegagalan yang diperoleh dari tekan tegak lurus serat akan menyebabkan deformasi yang berlebihan. Dengan demikian pendekatan yang digunakan mengacu pada standar Eropa, bahwa perhitungan kekuatan dengan memperkirakan tegangan pada 1%, dimana regangan tekan tidak akan kembali lagi.



Gambar 2 Histogram kerapatan panel CLT sengon, mindi dan nangka.

(Keterangan: notasi dengan huruf kecil yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nilai yang signifikan pada taraf nyata 5%).



Gambar 3 Histogram beban batas proporsional berdasarkan posisi pembebanan panel CLT.

(Keterangan: A₁= plat beban diletakkan di tengah CLT dengan permukaan plat sejajar serat kayu pada permukaan CLT, B₁ = plat beban diletakkan di tengah CLT dengan permukaan plat tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT, A₂ = plat beban diletakkan di pinggir CLT dengan permukaan plat sejajar serat kayu pada permukaan CLT, dan B₂ = plat beban diletakkan di pinggir CLT dengan permukaan plat tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT, notasi dengan huruf kecil yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nilai yang signifikan pada taraf nyata 5%).

Tanpa memperhatikan pengaruh jenis kayu sebagai kelompok/blok, rata-rata beban batas proporsional yang dihasilkan panel CLT pada empat posisi pembebanan berkisar antara 4206 kg sampai 6275 kg dengan rata-rata umum sebesar 5011 kg (Gambar 3). Analisis sidik ragam memperlihatkan bahwa posisi plat pada pembebanan garis berpengaruh nyata terhadap besarnya beban batas proporsional panel CLT pada taraf nyata 5%. Hasil uji lanjut *duncan* memperlihatkan beban batas proporsional pada posisi pembebanan A₁ tidak berbeda nyata dengan beban proporsional pada tipe B₁, namun berbeda nyata dengan tipe A₂ dan B₂. Posisi plat beban A₂ tidak berbeda nyata dengan tipe B₂ namun berbeda nyata dengan tipe A₁ dan B₁. Posisi pembebanan A₁ dengan plat baja ditengah menghasilkan beban yang lebih tinggi daripada pengujian tipe A₂ dengan plat baja yang ditempatkan dipinggir.

Rataan beban pada batas proporsional tertinggi pada posisi pembebanan B₁ (6275 kg) dan terendah pada tipe A₂ (4168 kg). Posisi B₁ dengan pembebanan ditempatkan ditengah dengan arah memanjang tegak lurus serat kayu pada permukaan panel CLT menghasilkan beban yang lebih tinggi dibanding dengan tipe pengujian lainnya. Hal ini diduga, karena beban yang dibutuhkan untuk memutuskan rantai selulosa pada mikrofibril lebih besar dibanding untuk memisahkan rantai pada molekul-molekul selulosa. Hal ini sejalan dengan yang disampaikan Mardikanto *et al.* (2010) yang menyatakan bahwa kekuatan geser tegak lurus serat lebih besar dibandingkan dengan kekuatan geser sejajar serat. Lebih lanjut Gupta dan Siller (2005) menyatakan bahwa kekuatan geser tegak lurus LVL pada bidang tegak lurus lebih besar (7,66 kg cm⁻²) dibanding bidang sejajar (5,83 kg cm⁻²). Sementara itu berdasarkan jenis

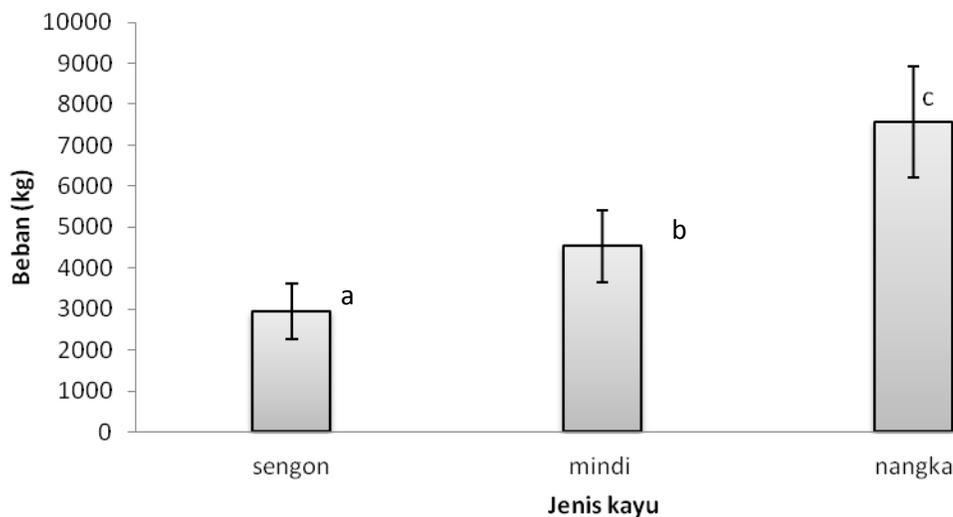
kayu, hasil penelitian menunjukkan rata-rata beban yang dihasilkan panel CLT sengon, mindi dan nangka masing-masing 2938 kg, 4533 kg dan 7563 kg (Gambar 4).

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa kelompok jenis kayu berpengaruh nyata terhadap beban batas proporsional pada taraf 95%. Hasil uji lanjut *duncan* juga menunjukkan bahwa beban batas proporsional panel CLT sengon berbeda nyata dengan jenis kayu mindi dan nangka. Panel CLT kayu nangka menghasilkan beban yang lebih tinggi dibanding dengan panel kayu mindi dan sengon. Hal ini diduga karena adanya

perbedaan berat jenis kayu penyusun panel CLT. Semakin tinggi berat jenis dan kerapatan kayu, semakin kuat kayu tersebut dalam hal menerima beban (Mardikanto *et al.* 2010).

Kekuatan tekan serat batas proporsional panel CLT

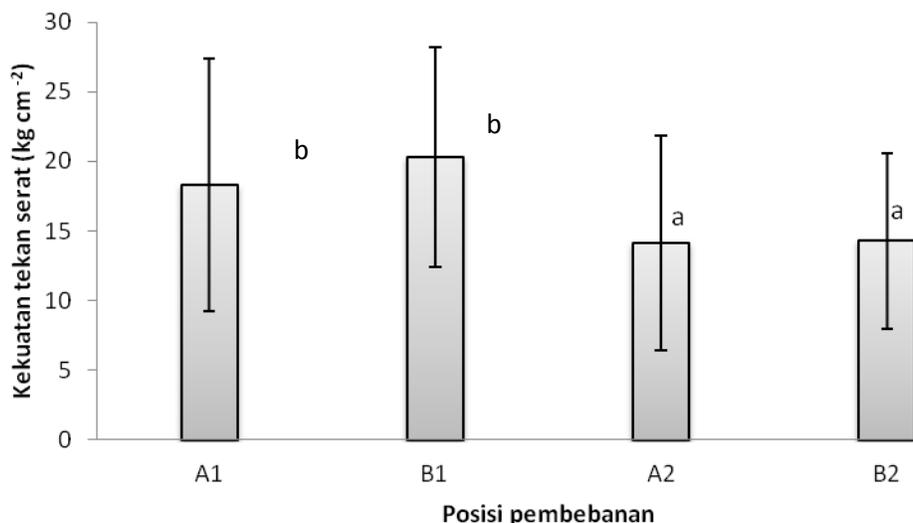
Kekuatan tekan adalah kekuatan batas yang dapat dicapai kayu ketika komponen kayu tersebut mengalami kegagalan akibat tekan. Rataan kekuatan tekan tegak lurus serat dari tiga jenis kayu dan empat tipe pengujian disajikan pada Tabel 1. Rataan kekuatan tekan serat batas proporsional dari empat tipe pembebanan disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4 Histogram beban batas proporsional panel CLT sengon, mindi dan nangka. (Keterangan: notasi dengan huruf kecil yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nilai yang signifikan pada taraf nyata 5%).

Tabel 1 Rata-rata kekuatan tekan CLT (kg cm^{-2}) menurut jenis kayu dan posisi pembebanan panel CLT pada batas proporsional

| Jenis Kayu | Posisi Pembebanan | | | | Rata-rata |
|------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| | A ₁ | B ₁ | A ₂ | B ₂ | |
| Sengon | 8,97 | 11,41 | 5,79 | 7,83 | 8,5 |
| Mindi | 16,44 | 19,7 | 13,67 | 13,19 | 15,75 |
| Nangka | 29,44 | 29,74 | 22,9 | 21,8 | 25,97 |
| Rata-rata | 18,28 | 20,28 | 14,12 | 14,27 | |



Gambar 5 Histogram kuatantekanserat berdasarkan posisi pembebanan panel CLT. (Keterangan: A₁= plat beban diletakkan di tengah CLT dengan permukaan plat sejajar serat kayu pada permukaan CLT, B₁ = plat beban diletakkan di tengah CLT dengan permukaan plat tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT, A₂ = plat beban diletakkan di pinggir CLT dengan permukaan plat sejajar serat kayu pada permukaan CLT, dan B₂ = plat beban diletakkan di pinggir CLT dengan permukaan plat tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT, notasi dengan huruf kecil yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nilai yang signifikan pada taraf nyata 5%).

Kekuatan tekan CLT sangat tergantung dari posisi pembebanan (Serrano dan Enquist 2010). Rataan kekuatan tekan tegak lurus serat batas proporsional berkisar 14,12 kg cm⁻² sampai 20,28 kg cm⁻². Analisis sidik ragam menunjukkan posisi pembebanan berpengaruh signifikan terhadap nilai kekuatan tekan serat batas proporsional. Berdasarkan hasil uji lanjut Duncan, posisi pembebanan B₁ (20,28 kg cm⁻²) tidak berbeda dengan A₁ (18,28 kg cm⁻²), namun berbeda nyata dengan posisi pembebanan A₂ (14,27 kg cm⁻²) dan B₂ (14,27 kg cm⁻²).

Miller (1999) menyatakan molekul-molekul selulosa tersusun dari helai-helai yang disebut mikrofibril yang akan membentuk dinding sel. Posisi B₁ dengan plat beban ditempatkan ditengah dengan arah memanjang tegak lurus serat kayu pada permukaan panel CLT memberikan hasil kekuatan tegak lurus

serat yang lebih tinggi dibanding dengan posisi pengujian lainnya. Hal ini diduga, karena kekuatan tekan yang dibutuhkan untuk memutuskan rantai selulosa pada mikrofibril lebih besar dibanding untuk memisahkan rantai pada molekul-molekul selulosa. Hasuni *et al.* (2009), menyatakan bahwa kekuatan tekan tegak lurus serat lebih tinggi dibanding dengan kekuatan tekan sejajar serat, hal ini disebabkan karena lapisan permukaan dengan arah tegak lurus serat dan bagian CLT tersebut terlibat dalam mendistribusikan beban. Selanjutnya, Serrano dan Enquist (2010) menyatakan bahwa tipe pembebanan di tengah tegak lurus serat menghasilkan nilai kekuatan tekan yang tertinggi, hal ini disebabkan karena beban yang diterapkan hanya sebagian kecil dari bidang pengujian. Bidang diluar pembebanan mencegah terjadinya deformasi dan bertindak sebagai pendukung kearah transversal.

Pengujian posisi pembebanan A_1 mirip dengan pengujian yang dilakukan pada A_2 . Pengujiannya dilakukan pada arah sejajar serat, namun berbeda dalam hal letak beban. Pada A_1 plat pembebanan di tengah dan tipe A_2 plat beban diletakkan di pinggir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tekan dari tipe A_2 ($14,2 \text{ kg cm}^{-2}$) lebih kecil dibanding dengan tipe A_1 ($18,28 \text{ kg cm}^{-2}$). Hal ini diduga disebabkan karena ketika suatu sampel diber beban dan ketika bebannya meningkat, maka sel-sel dinding kayu akan runtuh pada daerah yang dikenai beban dan daerah diluar pembebanan. Posisi A_1 yang memiliki daerah lebih luas yang terlibat dalam distribusi beban dibanding A_2 , sehingga akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar (Hasuni *et al.* 2009). Hal inilah yang menyebabkan kekuatan tekan tipe A_1 lebih besar dibanding tipe A_2 . Lebih lanjut Serrano dan Enquist (2010) menyatakan, beban garis dipinggir sejajar serat, kekuatannya lebih rendah dari semua posisi pembebanan, hal ini dikarenakan densifikasi pada tegangan tidak terjadi karena kurangnya interaksi antar papan-papan dalam lapisan CLT.

Rataan kekuatan tekan serat batas proporsional pada kelompok jenis kayu disajikan pada Gambar 6.

Berdasarkan penelitian Serrano dan Enquist (2010), rata-rata kekuatan tekan tegak lurus CLT tertinggi dari kayu dengan kerapatan 427 kg m^{-3} juga dihasilkan dari pengujian tipe B_1 (plat ditengah dengan arah tegak lurus serat) berkisar $5,8 \text{ MPa}$. Namun, jika dibandingkan dengan hasil penelitian ini, kayu mindi dengan kerapatan yang hampir sama, memiliki nilai kekuatan tekan tegak lurus yang lebih rendah. Hal ini mungkin disebabkan karena perbedaan jumlah lapisan.

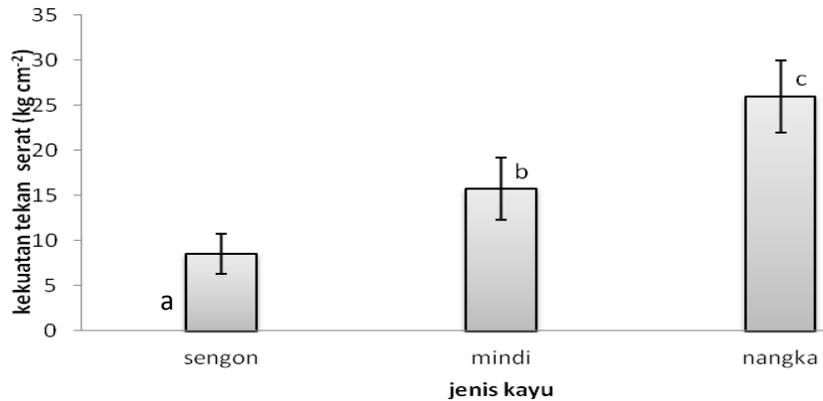
Kekuatan tekan tegak lurus serat dari CLT bervariasi dari $2,85 \text{ MPa}$ (Bogensperger *et al.* 2011) sampai $3,3 \text{ MP}$ (Serrano and Enquist 2010). Penelitian Augustin *et al.* (2006) dari glulam spruce (*Picea abies*) menghasilkan nilai kekuatan tekan tegak lurus serat sebesar $2,1 \text{ N mm}^{-2}$. Berdasarkan hasil penelitian ini, kekuatan tekan tegak lurus terbesar dihasilkan dari panel CLT angka sebesar $25,97 \text{ kg cm}^{-2}$, nilai ini masih lebih rendah dibandingkan penelitian Bogensperger *et al.* (2011) dan Serrano and Enquist (2010), namun masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan Augustin *et al.* (2006). Ini mengindikasikan bahwa CLT masih memiliki nilai kekuatan tekan tegak lurus serat yang lebih tinggi dari glulam.

Tipe kerusakan panel CLT

Secara umum, kerusakan sampel CLT untuk ketiga jenis kayu disajikan pada Gambar 7. Kerusakan yang terjadi tergantung dari posisi plat beban pada saat pengujian. Pengujian posisi A_1 dan B_1 memiliki tipikal kerusakan yang hampir sama, begitu pula dengan pengujian posisi A_2 dan B_2 . Posisi pengujian dengan beban ditengah pada arah sejajar permukaan serat, kerusakannya lebih besar dibanding pada arah tegak lurus serat permukaan. Tipikal kerusakannya berupakerusakan pada bekas pembebanan pada daerah tekan. Untuk tipe A_2 dan B_2 dengan beban dipinggir, kerusakannya sangat lokal dan jauh lebih rapuh. Terjadi retak kearah horizontal (*barissel*). Hal ini sejalan dengan (Ed dan Hasselqvist, 2011) yang menyatakan bahwa ketika kayu mendapat tekanan tegak lurus serat diawali dengan keretakan dinding sel kayu dibagian luar yang berasal dari pusat sel yang mengarah terhadap kerusakan sel. Perilaku ini terjadi

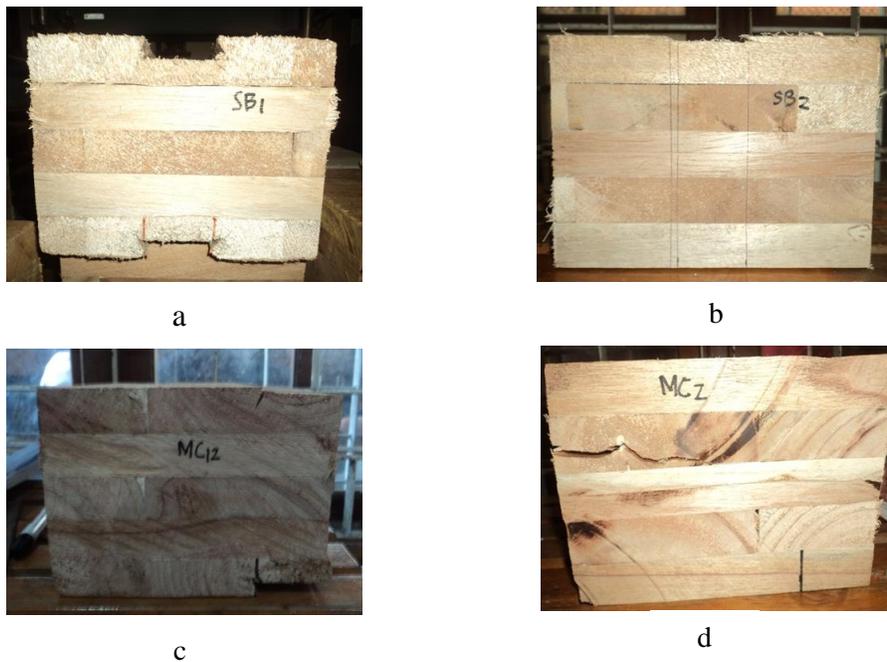
diseluruh baris sel, dan diikuti dengan kerusakan baris sel berikutnya. Kerusakan panel CLT pada posisi beban dipinggir dapat pula berupa patahan pada sampel di bagian lingkaran tahun. Serrano dan Enquist (2010) menyatakan

bahwa pola kegagalan pada tipe A₂ dan B₂ mengikuti pola lingkaran tahun, sehingga orientasi lingkaran tahun merupakan faktor penting yang mempengaruhi kerusakan CLT.



Gambar 6 Histogram kekuatan tekan serat batas proporsional panel CLT sengon, mindi dan nangka.

(Keterangan: notasi dengan huruf kecil yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nilai yang signifikan pada taraf nyata 5%).



Gambar 7 Kerusakan kekuatan tekan serat pada posisi pembebanan panel CLT. (Keterangan: a. Kerusakan pada posisi pembebanan A₁; b. Kerusakan pada posisi pembebanan B₁; c. Kerusakan pada posisi pembebanan A₂; d. Kerusakan pada posisi pembebanan B₂).

Kesimpulan

Nilai kekuatan tekan tegak lurus yang dihasilkan dari tiga jenis panel CLT bervariasi tergantung posisi beban pada permukaan contoh uji. Kekuatan tekan tegak lurus dengan posisi plat beban ditengah permukaan CLT menghasilkan nilai kekuatan tekan yang lebih tinggi dibanding dengan peletakan beban di pinggir permukaan CLT.

Kekuatan tekan tegak lurus dengan posisi pembebanan B_1 yaitu plat beban diletakkan di tengah dengan plat beban tegak lurus serat kayu pada permukaan CLT pada batas proporsional menghasilkan nilai tertinggi ($20,28 \text{ kg cm}^{-2}$) dibanding pengujian lainnya.

Panel CLT nangka menghasilkan kekuatan tekan tegak lurus serat yang tertinggi ($25,97 \text{ kg cm}^{-2}$), diikuti kayu mindi ($15,75 \text{ kg cm}^{-2}$), dan yang terendah adalah panel CLT kayu sengon ($8,50 \text{ kg cm}^{-2}$).

Daftar Pustaka

- Augustin M, Ruli A, Brandner R, Schichofer G. 2006. Behavior of glulam perpendicular to grain in different strength grades and load configuration. In: *Proceeding of CIB W18*; Florence, 28-31 August 2006; Italy. Pp. 39-12-6.
- Bogensperger T, Augustin M, Schikhofer G. 2011. Properties of CLT – Panels Exposed to Compression perpendicular to their llane. In: *International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Working Commission W18 – Timber Structures*; Alghero. 28 August – 1 September 2011, Italy. Pp. 1–15.
- [Dirjen Industri Agro] Direktorat Jenderal Industri Agro. 2013. Bahan Baku kebutuhan kayu bulat meningkat. <http://agro.kemenperin.go.id/site/index>. [15April 2014].
- Ed D, Hasselqvist F. 2011. Timber compression strength perpendicular to the grain-testing of glulam beams with and without reinforcement. [Disertasi]. Sweden: Lund Institute of Technology.
- Frese M, Enders-Comberg M, Blab HJ, Glos P. 2012. Compressive strength of spruce glulam. *European Journal of Wood and Wood Products*. 70 (6):801-809.
- Gulzow A, Richter K, Steiger R. 2011. Influence of wood moisture content on bending and shear stiffness of cross laminated timber panels. *Eur. J. Wood Wood Prod*. 69(2):193-197.
- Gupta R, Siller T. 2005. Shear strength of structural composite lumber using torsion test. *J. Test. Eval*. 33(2): 110-117.
- [JPIC] Japan Plywood Inspection Corporation. 2003. *Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber*. Tokyo: JPIC. Pp. 234.
- Lepage RTM. 2012. Moisture response of wall assemblies of cross laminated timber construction in cold Canadian climates. Canada: [Thesis]. University of Waterloo.
- Mardikanto TR, Karlinasari L, Bahtiar ET. 2010. Sifat Mekanis Kayu. Bogor (ID): IPB Press.
- Mohammad M, Gagnon S, Douglas BK, Podesto L. 2012. Introduction to cross laminated timber. *Wood Design Focus*. 22(2):3-12.
- Miller RB. 1999. Structure of Wood. In: *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Chapter 2. USA: Forest Products Society. Pp. 2-1 – 2-4.

- [PKKI] Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia. 1961. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Jakarta.
- Ruhendi S, Koroh DS, Syamani FA, Yanti H, Nurhaida, Saad S, Sucipto T. 2007. *Analisis Perekatan Kayu*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Stürzenbecher R, Hofstetter K, Eberhardsteiner J. 2010. Structural design of Cross Laminated Timber (CLT) by advanced plate theories. *Compos. Sci. Technol.* 70(9):1368-1379.
- Serrano E, Enquist B. 2010. Compression strength perpendicular to grain in Cross laminated Timber (CLT). In: Ceccotti A, editor. *11th World Conference on Timber Engineering*; Trentino, 20-24 June 2010. Italy: Trees and Timber Institute, National Research Council.

Riwayat naskah (*article history*)

Naskah masuk (*received*): 12 Maret 2014

Diterima (*accepted*): 28 Mei 2014