

## Analisis Sesaran Batas Proporsional dan Maksimum Sambungan Geser Ganda Batang Kayu dengan Paku Majemuk Berpelat Sisi Baja Akibat Beban Uni-Aksial Tekan

Sucahyo Sadiyo

Bagian Rekayasa dan Desain Bangunan Kayu, Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor, E-mail: sucahyoss@gmail.com

### Abstrak

Sambungan tarik merupakan salah satu titik terlemah pada bangunan struktural. Penelitian ini mencoba mengamati dan menganalisis sesaran pada batas proporsional dan maksimum dari sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja untuk tujuh jenis kayu tropis Indonesia akibat beban uni-aksial tekan. Rataan kadar air batang kayu untuk sambungan paku sangat bervariasi dari terendah kayu Kempas dan tertinggi Borneo super. Sedangkan rata-rata berat jenis (BJ), kerapatan ( $\rho$ ), beban ijin tekan sejajar ( $F_{tk//}$ ) dan tarik sejajar serat kayu ( $F_{tr//}$ ) terendah kayu Meranti merah dan tertinggi dari Bangkirai. Terdapat kecenderungan umum bahwa  $F_{tk//}$  dan  $F_{tr//}$  berbanding lurus dengan BJ atau  $\rho$  kayu tersebut. Sebaran rata-rata  $F_{tr//}$  batang-batang kayu tersebut sekitar 1,5-2,0 kali lebih besar dari  $F_{tk//}$ -nya. Rataan  $Z$  meningkat dengan bertambahnya BJ kayu baik pada batas proporsional maupun maksimum. Rataan umum  $Z$  pada batas proporsional dan maksimum masing-masing adalah 3,8 kN dan 2,3 kN. Sesaran batas proporsional berkisar dari 1,12 mm (Bangkirai)-1,46 mm (Punak) atau lebih rendah dari sesaran yang ditetapkan oleh DNI (1961), yaitu sebesar 1,50 mm. Sesaran batas maksimum terjadi pada kisaran 2,93 mm (Kapur)-3,36 mm (Borneo super) atau lebih rendah dari sesaran yang ditetapkan Bleron dan Duchanois (2006), yaitu 5,0 mm.

**Kata-kata Kunci:** Sambungan geser ganda, nilai desain lateral, sesaran, batas maksimum, batas proporsional.

### Abstract

Tensile connection was the weakest point of structural buildings. This research tried to investigate and analyze displacement at the proportional and maximum limit of a double shear connections wood with a nail of steel side plate of seven species of Indonesian tropical wood under uni-axial compression loading. Average moisture content wood beam to the nail connection is very varies from the lowest Kempas and highest Borneo Super wood. Whereas the average specific gravity (SG), density ( $\rho$ ), allowable load of compression parallel to grain ( $F_{tk//}$ ) and tensile parallel to grain ( $F_{tr//}$ ) from the lowest on Meranti merah and the highest on Bangkirai wood. There were general tendencies that  $F_{tk//}$  and  $F_{tr//}$  were in proportion with wood SG or  $\rho$ . The average  $F_{tr//}$  was about 1.5 to 2 times larger than its  $F_{tk//}$ . The average value of  $Z$  was increasing in correlation with the rise in wood SG either at its proportional or maximum limit. The average value of  $Z$  at its proportional and maximum limit was 3.8 kN and 2.3 kN. The displacement at proportional limit was ranging from 1.12 mm (Bangkirai) - 1.46 mm (Punak) or lower than the appointed displacement from DNI (1961), which was 1.50 mm. At the maximum limit, the displacement was ranging from 2.93 mm (Kapur) - 3.36 mm (BorneoSuper) or lower than the appointed displacement from Bleron and Duchanois (2006), which was 5.0 mm.

**Keywords:** Double shear connection, lateral design value, displacement, maximum limit, proportional limit.

## 1. Pendahuluan

Pada prinsipnya suatu bangunan struktural memperhitungkan tiga unsur penting, yaitu kekakuan (*stiffness*), kekuatan (*strength*) dan kestabilan (*stability*) struktural. Salah satu faktor yang mempengaruhi ketiga aspek penting tersebut adalah macam/jenis sambungan yang digunakan. Menurut Tular dan Idris (1981) sambungan kayu merupakan

titik kritis atau terlemah yang terdapat pada elemen atau titik hubung dari suatu bangunan struktural, yaitu bangunan yang memperhitungkan keamanan struktur. Pada sistem perangkaan bangunan struktural maka seluruh komponen penyusun rangka batang (termasuk sambungan yang terdapat pada batang tersebut) harus diupayakan sedemikian rupa agar pada elemen tersebut hanya bekerja gaya uni-aksial tarik atau tekan saja. Macam sambungan kayu yang bersifat kritis dan perlu

diperhitungkan berdasarkan kaidah ilmiah adalah sambungan tarik, geser dan momen. Hal ini disebabkan kekuatan sambungan kayu khususnya yang menerima gaya tarik luas bidang kontak dari batang utamanya digantikan oleh luas bidang tarik atau geser dari alat sambungnya sehingga kekuatan sambungan tarik umumnya lebih rendah dan sulit menyamai besar kekuatan batang utamanya. Sambungan tarik pada kayu juga rentan terhadap sesaran dan ini merupakan kelemahan berikutnya. Menurut Faherty dan Williamson (1989) sambungan-sambungan kayu sekarang ini dapat didisain dengan ketelitian yang sama seperti bagian-bagian lain struktur. Suryokusumo *et al.* (1980) mengatakan bahwa kekuatan sambungan kayu sangat dipengaruhi oleh komponen pembentuk sambungan, yaitu balok kayu yang akan disambung, alat sambung dan macam atau bentuk sambungan.

Alat sambung tipe dowel seperti paku relatif murah dan mudah diperoleh dipasaran serta mudah pengerjaannya. Kebiasaan praktisi di Amerika Serikat menggunakan paku untuk disain sambungan dilakukan dengan pertimbangan bahwa gaya-gaya yang disalurkan relatif kecil. Walaupun paku secara umum digunakan untuk konstruksi ringan namun kemungkinan untuk digunakan pada konstruksi struktural yang memikul beban tinggi (*heavy timber construction*) bisa saja diterapkan. Praktek konstruksi tersebut telah dilakukan oleh beberapa disainer di Eropa dan New Zealand (Breyer *et al.*, 2007). Berbeda dengan kondisi di Indonesia saat ini dimana penelitian sambungan kayu ukuran pemakaian (*full scale*) dengan paku majemuk untuk jenis kayu yang memiliki kerapatan atau berat jenis sedang sampai tinggi belum dilakukan apalagi diaplikasikan pada *heavy timber construction*.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis sesaran pada batas proporsional dan maksimum dari sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja untuk tujuh jenis kayu tropis Indonesia akibat beban uni-aksial tekan.

## **2. Bahan dan Metoda**

Bahan penelitian untuk sambungan dengan paku yang dikaji adalah tujuh jenis kayu yang memiliki sebaran kerapatan ( $\rho$ ) atau berat jenis (BJ) sedang sampai tinggi, yaitu Borneo super, Meranti merah (*Shorea* spp), Punak (*Tetramerista glabra*), Kapur (*Dryobalanops* spp), Mabang (*Swintonia* sp), Kempas (*Koompassia malaccensis*) dan Bangkirai (*Shorea laevis*). Tujuh jenis kayu tropis tersebut di peroleh dari toko bangunan di Bogor dalam bentuk balok kayu berukuran 6 x 12 x 400 cm. Ketujuh jenis kayu tersebut dikeringkan secara alami selama 75 hari.

Bahan lain adalah paku terdiri dari tiga ukuran diameter, yaitu 4,1 mm (panjangnya 10 cm), 5,2 mm (12 cm) dan 5,5 mm (15 cm). Jumlah paku yang

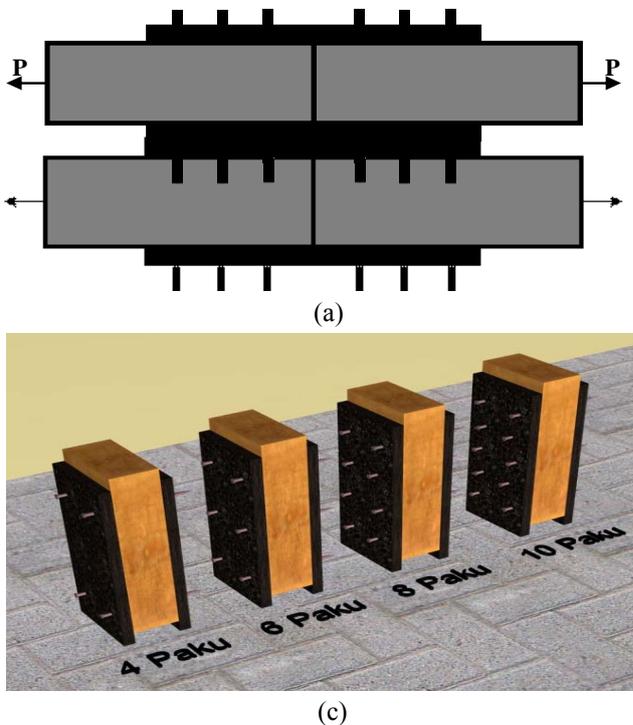
digunakan untuk setiap diameter adalah 588 batang. Pelat sambung yang digunakan adalah pelat baja berukuran 1,5 x 12 cm dengan panjang 30 cm sebanyak 12 pasang (24 lempeng). Pada setiap lempeng baja dibuat lubang bor dimana besarnya disesuaikan dengan diameter paku, sementara jarak lubang untuk paku disesuaikan dengan ukuran kayu dan pelat sambung (NDS, 2005). Metoda pengujian sifat fisik yang meliputi  $\rho$ , BJ dan KA didasarkan pada standar Amerika, yaitu *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D 143-94. Pengujian sifat mekanik meliputi kekuatan tekan//serat kayu menggunakan standar Inggris BS-373 tahun 1957 dan kekuatan sambungan kayu geser ganda batang kayu dengan paku majemuk berpelat sisi baja (arah gaya tegak lurus terhadap sumbu alat sambung) didasarkan standar ASTM D5652-95. Kekuatan tarik//serat kayu diduga dari model atau persamaan empirik yang dikembangkan oleh Tjondro (2007). Dimensi contoh uji tekan//serat adalah 2 x 2 x 6 cm dan contoh uji KA,  $\rho$  dan BJ dibuat dari contoh yang sama yaitu 5 x 5 x 5 cm. Contoh uji sambungan geser ganda seharusnya dibuat dari 2 buah balok kayu dari jenis yang sama dan berukuran sama, yaitu masing-masing balok berukuran penampang 6 x 12 cm dengan panjang 40 cm (**Gambar 1a**). Namun dalam pengujian hanya digunakan sebuah balok karena pengujian dilakukan dengan pembebanan uni-aksial tekan (**Gambar 1b**). Penyambungan mekanis balok tersebut dilakukan dengan menggunakan pelat sambung baja. Pada setiap pelat sambung baja dibuat lubang sebesar ukuran diameter paku. Selanjutnya pada setiap ukuran diameter per pelat sambung dibuat 4, 6, 8 dan 10 buah lubang sambungan (**Gambar 1c**). Contoh uji sambungan ini selanjutnya disebut sambungan geser ganda batang kayu dengan paku majemuk berpelat sisi baja atau selanjutnya cukup ditulis sambungan geser ganda. Pengaturan geometrik sambungan geser ganda mengacu pada AWC 2005 dan contoh sketsa gambar geometrik tersebut untuk 10 buah paku disajikan pada **Gambar 2**. Contoh uji sambungan geser ganda dan tekan//serat diuji kekuatan mekaniknya masing-masing menggunakan UTM merk *Baldwin* kapasitas 30 ton dan UTM *Instron* kapasitas 5 ton.

Penentuan kekuatan tarik//serat kayu menggunakan persamaan empirik  $f_{tr//} = 172,5 SG^{1.05}$ , dimana SG adalah kerapatan kayu yang diukur pada rentang kadar air 12-15% (Tjondro, 2007). Nilai disain lateral (Z) yang dimaksud dalam penelitian ini adalah notasi yang menggambarkan nilai tegangan ijin per paku yang diperoleh dari pengujian empirik sambungan geser ganda berpelat sisi baja. Pada pengujian sambungan tarik dengan paku yang diberi beban tekan sulit menentukan beban maksimumnya. Oleh karena itu pada pengujian tersebut biasanya ditentukan besarnya beban yang terjadi pada *displacement* (sesaran) tertentu, yaitu sesaran sebesar 1,50 mm sebagaimana

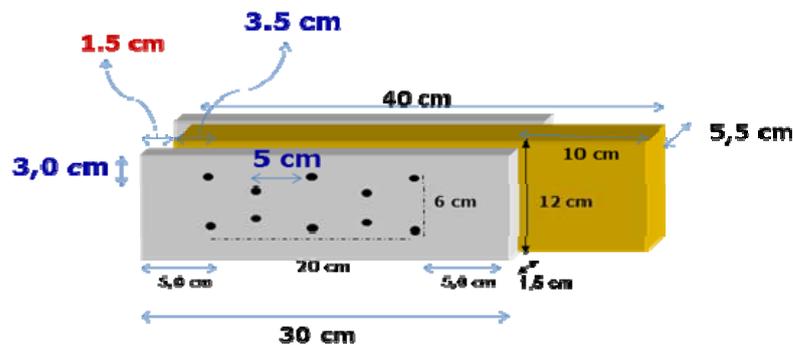
ditetapkan oleh DNI (1961) dan 5,0 mm (beban maksimum). Menurut Wiryomartono (1977) beban ijin sambungan dengan paku dapat ditetapkan  $1/3 \times$  beban maksimum/beban rusak atau ditetapkan dari beban pada sesaran 1,50 mm. Pada penelitian ini beban pada batas proporsional dan batas maksimum masing-masing ditentukan berdasarkan perpotongan antara garis/persamaan linier elastis (grs A) dengan persamaan polynomial inelastis (grs B) dan perpotongan antara garis polynomial inelastis (grs B) dengan garis linier inelastis (grs C) dari kurva gaya-sesaran (**Gambar 2**).

Penentuan kekuatan tarik//serat kayu menggunakan persamaan empirik  $f_{tr//} = 172,5 SG^{1,05}$ , dimana SG adalah kerapatan kayu yang diukur pada rentang kadar air 12-15% (Tjondro, 2007). Nilai disain lateral (Z) yang dimaksud dalam penelitian ini adalah notasi yang menggambarkan nilai tegangan ijin per paku yang

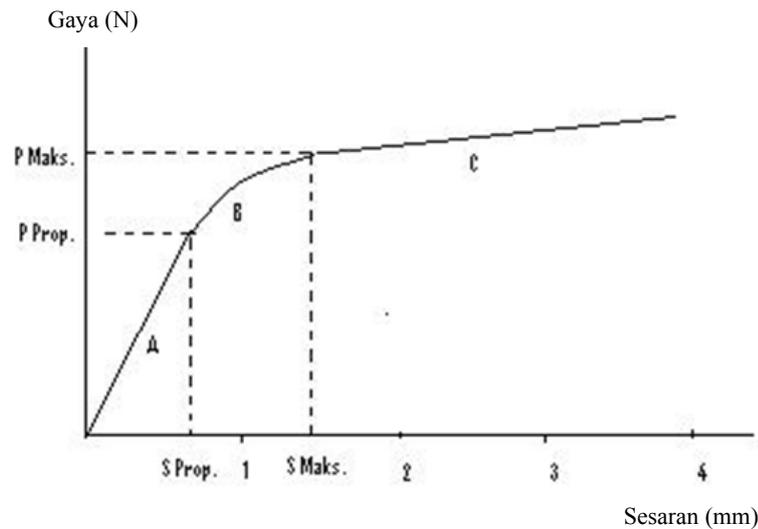
diperoleh dari pengujian empirik sambungan geser ganda berpelat sisi baja. Pada pengujian sambungan tarik dengan paku yang diberi beban tekan sulit menentukan beban maksimumnya. Oleh karena itu pada pengujian tersebut biasanya ditentukan besarnya beban yang terjadi pada displacement (sesaran) tertentu, yaitu sesaran sebesar 1,50 mm sebagaimana ditetapkan oleh DNI (1961) dan 5,0 mm (beban maksimum). Menurut Wiryomartono (1977) beban ijin sambungan dengan paku dapat ditetapkan  $1/3 \times$  beban maksimum/beban rusak atau ditetapkan dari beban pada sesaran 1,50 mm. Pada penelitian ini beban pada batas proporsional dan batas maksimum masing-masing ditentukan berdasarkan perpotongan antara garis/persamaan linier elastis (garis A) dengan persamaan polynomial inelastis (garis B) dan perpotongan antara garis polynomial inelastis (garis B) dengan garis linier inelastis (garis C) dari kurva gaya-sesaran (**Gambar 3**).



Gambar 1. Sketsa contoh uji sambungan tarik geser ganda untuk jumlah paku 6 buah (a) pengujian uni-aksial tekan dari contoh uji untuk jumlah paku 10 buah (b) dan sketsa contoh uji menurut jumlah paku (c) pada sambungan geser ganda batang kayu dengan paku majemuk berpelat sisi baja



Gambar 2. Geometrik contoh uji sambungan geser ganda untuk jumlah paku 10 buah



**Gambar 3. Kurva gaya-sesaran sambungan geser ganda**

Untuk mengetahui perilaku dan menentukan besar pengaruh diameter dan jumlah paku terhadap kekuatan dan sesaran sambungan geser ganda tujuh jenis kayu, maka data pengamatan diolah dan dianalisis dengan menggunakan percobaan faktorial dalam rancangan kelompok/blok 3 x 4 x 7. Faktor ukuran diameter paku (A) terdiri dari 3 variasi, yaitu A1 = 4,1 mm, A2 = 5,2 mm, A3 = 5,5 mm dan faktor jumlah paku (B) terdiri dari 4 variasi, yaitu B1= 4 buah, B2 = 6 buah, B3 = 8 buah dan B4 = 10 buah. Sedangkan faktor jenis kayu (C) merupakan kelompok/blok terdiri dari 7 jenis kayu, yaitu C1 = meranti merah, C2 = borneo super, C3 = punak, C4 = mabang, C5 = kempas, C6 = kapur dan C7= bangkirai. Dalam setiap satuan percobaan dilakukan tiga kali ulangan. Model umum statistik linier dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + C_k + \varepsilon_{ijkl}, \text{ dimana :}$$

$Y_{ijk}$  = nilai pengamatan pada faktor A taraf ke-i faktor B taraf ke-j pada ulangan ke-l

$\mu$  = rata-rata umum

$A_i$  = pengaruh utama faktor A taraf ke-i

$B_j$  = pengaruh utama faktor B taraf ke-j

$(AB)_{ij}$  = pengaruh interaksi faktor A taraf ke-i dan faktor B taraf ke-j

$C_k$  = pengaruh kelompok/blok C taraf ke-k

$\varepsilon_{ijkl}$  = kesalahan (galat) percobaan pada faktor A taraf ke-i dan faktor B taraf ke-j kelompok/blok C taraf ke-k ulangan ke-l.

Apabila pengaruh faktor utama dan kelompok/blok atau interaksi antar faktor utama nyata pada tingkat

kepercayaan 95% atau 99%, maka pengolahan dan analisis data dilanjutkan dengan menggunakan uji beda wilayah Duncan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Berat jenis dan kerapatan

Hasil penelitian memperlihatkan sebaran rata-rata BJ batang kayu sambungan paku sangat bervariasi dari terendah kayu Meranti merah (0,52) sampai dengan tertinggi kayu Bangkirai (0,76) (**Gambar 4**). Fenomene sebaran nilai BJ ini sama seperti sebaran  $\rho$  kayu, dimana kayu Meranti merah memiliki  $\rho$  terendah (0,61 g/cm<sup>3</sup>) dan Bangkirai tertinggi (0,89 g/cm<sup>3</sup>). Tiga jenis kayu, yaitu Meranti merah, Borneo super dan Punak memiliki BJ dan atau  $\rho$  dengan klasifikasi sedang dan empat jenis lainnya termasuk klasifikasi tinggi. Klasifikasi tersebut yang didasarkan atas berat jenis kayu (rasio antara berat kering tanur dengan berat air pada volume kayu yang diukur) merupakan indikator kepadatan kayu yang dapat dijadikan dasar untuk mengelompokkan kayu yang diteliti menjadi beberapa klasifikasi kelas kuat kayu.

Menurut Sadiyo (1989) perbedaan BJ kayu disebabkan adanya perbedaan struktur anatomis kayu yang meliputi macam, jumlah dan pola penyebaran pori (saluran pembuluh), parenkima, jari-jari kayu dan saluran interseluler. Nilai BJ kayu lebih banyak ditentukan oleh tebal dinding sel atau zat kayu. Makin tebal dinding sel kayu atau makin kecil proporsi rongga/ruang-ruang (*void structure*) yang terdapat dalam kayu pada volume tertentu maka makin tinggi BJ kayu yang bersangkutan. Jumlah ruang-ruang di dalam kayu terutama ditentukan oleh diameter/lebar dan frekuensi

pori, rongga sel serta ada tidaknya saluran interselluler. **Gambar 3** memperlihatkan rata-ran  $\rho$  tujuh jenis kayu tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan rata-ran BJ nya. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh pengaruh KA saat pengukuran. Sebaran rata-ran KA balok kayu sambungan paku sangat bervariasi dari terendah Kempas (15,7%) dan tertinggi Borneo super (21,6%). Kadar air seluruh jenis kayu yang diteliti berada di bawah KA titik jenuh serat (30%) namun terdapat tiga jenis kayu diperkirakan belum mencapai kadar air kesetimbangan (KAK), yaitu kayu Mabang, Borneo super dan Kapur.

KAK daerah Bogor dan sekitarnya berkisar dari 15-18% tergantung suhu dan RH saat itu. Perbedaan kadar air ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya jenis kayu, tempat tumbuh dan umur pohon (Haygreen dan Bowyer, 1993). Tingginya KA rata-rata ketiga jenis kayu tersebut (> 18%) menandakan bahwa waktu pengeringan alami selama 75 hari belum mampu menurunkan KA kayu tersebut mencapai KAK dengan RH dan suhu lingkungan sekitarnya.

### 3.2 Beban ijin tekan dan tarik sejajar serat

Sebaran rata-ran beban ijin tekan sejajar serat ( $F_{tk//}$ ) untuk batang kayu sambungan paku sangat bervariasi dari terendah kayu Meranti merah 124,5 kN dan tertinggi Bangkirai 195,8 kN (**Gambar 5**). Kayu Punak dengan kerapatan tinggi (0,66) menghasilkan rata-ran  $F_{tk//}$  lebih rendah (129,7 kN) dibandingkan kayu Borneo super (144,1 kN). Menurut Courney (2000) perilaku tekan bahan padat seluler seperti kayu diantaranya dipengaruhi oleh tebal dinding sel dan distribusi kerapatan kayu tersebut. Beery et al. (1983) menyatakan perilaku elastis lebih tergantung pada kerapatan daripada sifat/karakteristik anatomi kayu. Perbedaan kuat tekan penelitian ini bersifat kontradiksi karena rata-ran KA dan juga berarti  $\rho$  kayu Borneo super yang lebih tinggi dibandingkan kayu Punak seharusnya berbanding lurus dengan kekuatan tekannya. Pola sebaran  $\rho$  ini fenomenanya sama seperti BJ kayu tersebut. Anomali ini diduga disebabkan kayu Borneo super memiliki serat terpadu (*interlock grain*) yang dapat meningkatkan kekuatan tekan. Gejala ini sama dengan kayu Kapur walaupun  $\rho$ -nya lebih tinggi (0,80 g/cm<sup>3</sup>) dibandingkan Kempas (0,77 g/cm<sup>3</sup>) tetapi rata-ran  $F_{tk//}$  nya (166,5 kN) lebih rendah dari Kempas (188,4 kN). Sifat ini menandakan bahwa disamping orientasi susunan seratnya yang terpadu, ikatan antar sel penyusunnya terutama antar sel jari-jari kayu dan antara sel jari-jari dengan sel didekatnya cukup kuat, sehingga kemampuan dalam menahan beban tekan tinggi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa  $\rho$  atau BJ bukan merupakan peubah atau variabel utama semata dalam menentukan kekuatan suatu jenis kayu. Walaupun secara umum terdapat tendensi  $\rho$  atau BJ berbanding lurus dengan kekuatan kayu.

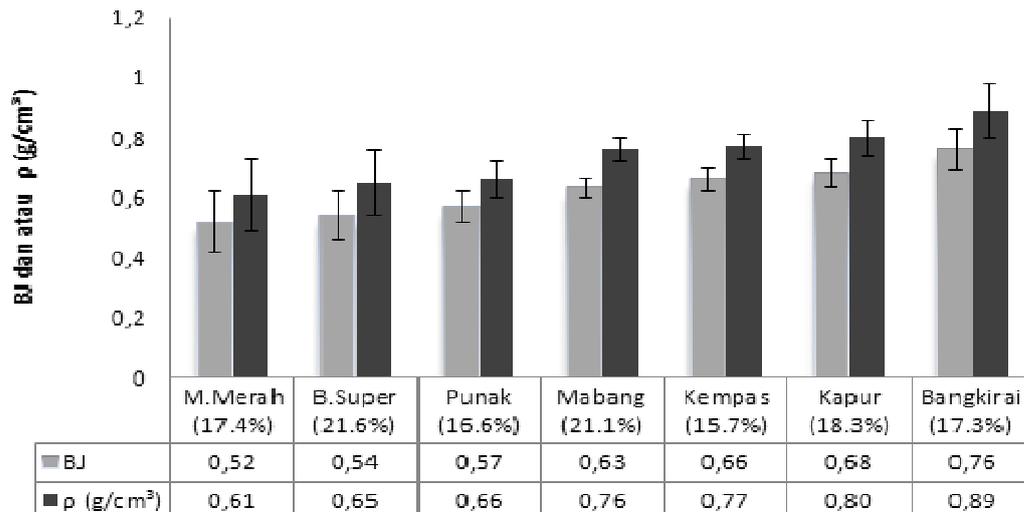
**Gambar 5** memperlihatkan adanya kecenderungan pola sebaran rata-ran  $F_{tk//}$  ini sejalan dengan beban ijin tarik sejajar serat ( $F_{tr//}$ ), namun pada beberapa kayu terdapat kontradiksi yang signifikan. Kayu Meranti merah dan Punak memiliki rata-ran  $F_{tk//}$  lebih rendah dibandingkan dengan kayu Borneo super tetapi kedua kayu tersebut memiliki  $F_{tr//}$  yang lebih tinggi; bahkan pada kayu Punak perbedaan kekuatan tersebut sangat signifikan.

Tampaknya kayu Borneo super memiliki  $\rho$  dan  $F_{tk//}$  yang tinggi tetapi tidak sebanding dengan  $F_{tr//}$ -nya. Sebenarnya rata-ran  $F_{tr//}$  ini bersifat linier karena diturunkan dan diperoleh dari persamaan empiris kuat tarik//serat ( $f_{tr//}$ ) (Tjondro, 2007). Namun dengan pertimbangan faktor penyesuaian kekuatan dan kekakuan kayu pada kadar air maksimal 19% dan 15% (ASTM D 143-94) sebaran rata-ran beban tarik sejajar serat 7 jenis kayu menunjukkan pola yang lebih mendekati rata-ran beban tekan sejajar serat dibandingkan pola sebaran BJ atau  $\rho$ . Adapun rata-ran  $F_{tk//}$  diperoleh dari uji empiris contoh kecil bebas cacat.

### 3.3 Nilai disain lateral z pada batas proporsional dan maksimum

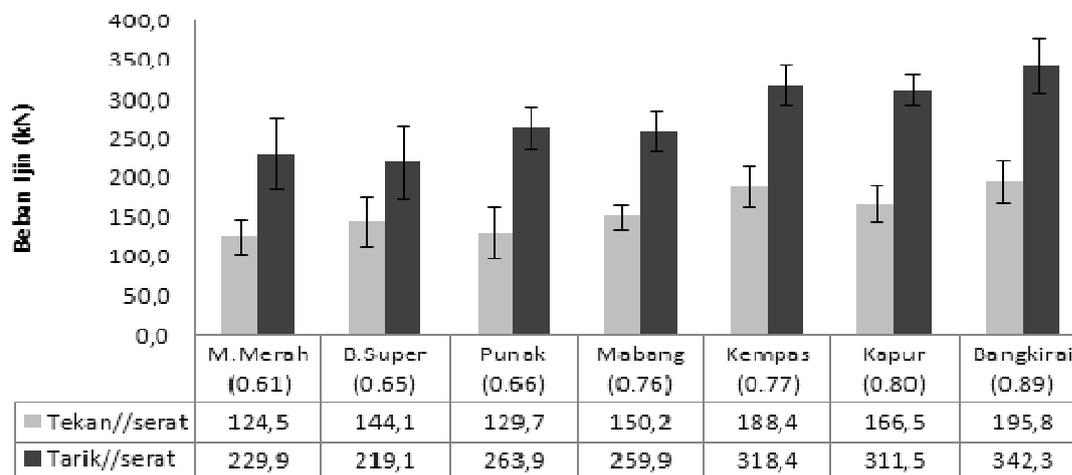
Hasil analisis keragaman untuk nilai disain lateral Z pada batas proporsional dan batas maksimum memperlihatkan bahwa selain jumlah paku, faktor blok/kelompok (jenis kayu) dan diameter paku sangat nyata pengaruhnya. Faktor interaksi antar diameter dan jumlah paku walaupun pengaruhnya nyata pada selang kepercayaan 99% tetapi besaran F tabelnya hampir mendekati F hitung. Dalam rangka penyederhanaan masalah dan kemudahan kepentingan aplikasi praktek konstruksi di lapangan pengaruh interaksi yang rumit ini dianggap kecil pengaruhnya atau dapat saja diabaikan.

Tanpa memperhatikan pengaruh perlakuan, yaitu diameter dan jumlah paku, terdapat kecenderungan umum dimana rata-ran Z sambungan geser ganda dengan paku semakin meningkat dengan meningkatnya  $\rho$  (jenis kayu) untuk kedua sesaran yang diteliti, kecuali kayu Kapur fenomenanya sedikit berbeda (**Gambar 6**). Kayu ini memiliki kerapatan tinggi tetapi keteguhan belahnya rendah. Dengan demikian ikatan antara sel atau serat kayu kapur tidak sekuat kayu lain yang memiliki berat jenis relatif sama. Namun garis rata-ran Z beban pada batas proporsional lebih tinggi atau berada di atas garis Z batas maksimum. Fenomena ini disebabkan letak atau perbedaan rata-ran beban batas proporsional tidak terlalu jauh dengan batas maksimum. Sementara penetapan nilai disain lateral Z untuk beban pada batas maksimum didasarkan atas pertimbangan digunakannya faktor aman sebesar 2,75 sedangkan Z untuk batas proporsional tidak memperhitungkan faktor aman (Wirjomartono, 1977).



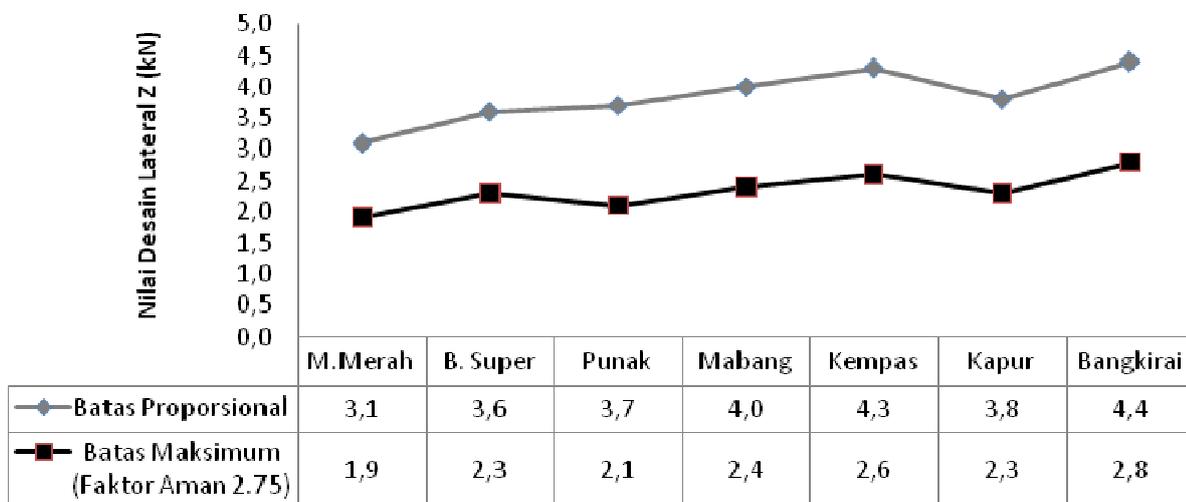
Keterangan: angka dalam tanda kurung adalah kadar air kayu

Gambar 4. Berat jenis dan kerapatan (g/cm<sup>3</sup>) tujuh jenis kayu



Keterangan: Angka dalam kurung adalah kerapatan kayu dalam g/cm<sup>3</sup>

Gambar 5. Beban ijin tekan//serat (Ftk//) dan beban ijin tarik//serat (Ftr//) tujuh jenis kayu



Gambar 6. Pola sebaran rata-rata nilai desain lateral Z sambungan geser ganda menurut jenis kayu pada batas proporsional dan maksimum

Berdasarkan Tabel 11P (AWC, 2005) dicantumkan nilai  $Z$  sambungan geser tunggal balok kayu dengan  $\rho$   $0,55 \text{ g/cm}^3$  (Mixed Maple dan Southern Pine) untuk paku umum diameter 4,1, 5,2 dan 5,5 mm masing-masing besarnya 209, 270 dan 285 lb. Menurut Wirjomartono (1977) beban ijin per paku ( $Z$ ) sambungan geser ganda 2 kali lebih besar dari geser tunggal. Dengan demikian nilai  $Z$  berdasarkan standar Amerika tersebut masing-masing adalah 1,9, 2,4 dan 2,5 kN atau menurut standar Indonesia (DNI, 1961) untuk kayu dengan  $\rho$   $0,60 \text{ g/cm}^3$  masing-masing adalah 1,8 dan 2,8 kN (tidak tersedia nilai  $Z$  untuk paku berdiameter 5,5 mm). Uji laboratorium (empirik) penelitian ini memperlihatkan dengan diameter paku dan  $\rho$  kayu yang relatif sama kayu-kayu tropis Indonesia memiliki  $Z$  pada sesaran batas proporsional kurang lebih 1,5 kali lebih tinggi untuk diameter 4,1 dan 5,2 mm serta kurang lebih sama pada sesaran batas maksimum untuk semua diameter paku. Fenomena tersebut berlaku juga untuk kelas kerapatan kayu lainnya. Sebaran rataaan  $Z$  dengan meningkatnya rataaan kerapatan pada sesaran batas maksimum relatif sejalan (sejajar) dengan garis rataaan  $Z$  pada batas proporsional untuk tujuh jenis kayu yang diteliti.

Sejalan dengan hasil analisis keragaman dimana semua variabel yang diteliti, yaitu faktor kelompok (jenis kayu), faktor perlakuan (jumlah dan diameter paku) serta interaksi antar perlakuan tidak mempengaruhi sesaran pada batas proporsional pada tingkat nyata 1%. Hasil pengamatan sambungan geser ganda ini (**Gambar 7**) menunjukkan bahwa rataaan sesaran pada batas proporsional terjadi antara 1,12 mm sampai dengan 1,46 mm atau berada di bawah 1,50 mm (DNI, 1961).

Wirjomartono (1977) menetapkan sesaran 1,50 mm sambungan dengan paku, baut, pasak atau perekat sebagai dasar dalam menetapkan nilai disain lateral  $Z$  atau beban ijin per alat sambung karena dipandang masih berada di daerah elastis. Selanjutnya dikatakan apabila beban ijin per paku ( $Z$ ) akan ditetapkan berdasarkan batas maksimum yang dalam penelitian ini diasumsikan terjadi pada sesaran 5,0 mm maka harus diperhitungkan faktor aman sebesar 3,0 atau 2,75 (DNI, 1961). Dalam penelitian ini rataaan  $Z$  pada batas maksimum terjadi pada kisaran 2,98 mm (Meranti merah)-3,36 mm (Borneo super). Hal ini sejalan dengan penelitian Bleron dan Duchanois (2006) bahwa sambungan geser tunggal dengan alat sambung dowel menurut berbagai diameter dowel dan sudut beban-serat pada sesaran (*displacement*) 5,0 mm telah berada atau memasuki daerah plastis sambungan. Demikian halnya pada kurva gaya-sesaran batas proporsional dari berbagai variabel yang diuji berada di bawah 2,0 mm atau sejalan dengan uji laboratorium penelitian ini (sesaran batas proporsional berkisar 1,12,-,1,46 mm).

Faktor aman sebagai faktor penyesuaian inilah yang menyebabkan rataaan  $Z$  yang ditetapkan menurut beban rusak (daerah plastis) pada sesaran 5,0 mm lebih rendah dibandingkan rataaan  $Z$  pada sesaran 1,5 mm (daerah elastis). Walaupun demikian rataaan  $Z$  pada sesaran 5,0 mm untuk beberapa jenis kayu berkerapatan tinggi seperti Kempas, Kapur dan Bangkirai masih lebih tinggi dibandingkan dengan yang ditetapkan oleh DNI (1961) dan AWC (2005).

Kayu tropis atau kayu daun lebar memiliki struktur anatomi lebih kompleks dibandingkan kayu daun jarum yang lebih homogen. Dengan struktur seperti ini kayu daun lebar (*hardwood*) diduga memiliki kekuatan dan kekakuan lebih tinggi dibandingkan kayu daun jarum (*softwood*) pada tingkat kerapatan kayu yang sama. Secara genetik kayu yang tumbuh di daerah tropis lebih beragam sehingga rentang variasi sifat fisis, mekanis dan struktur anatominya sangat tinggi. Dengan demikian variasi BJ atau  $\rho$  kayu penelitian ini yang bersumber dari kayu sejenis, antar jenis kayu dan atau tempat tumbuh yang berbeda yang menyebabkan berbedanya rataaan  $Z$  yang dihasilkan.

Berbeda dengan sesaran pada batas proporsional, hasil analisis keragaman untuk sesaran pada batas maksimum menunjukkan semua faktor yang diteliti berpengaruh nyata kecuali interaksi antara diameter dan jumlah paku pengaruhnya tidak nyata. Hasil uji laboratorium (**Gambar 8**) memperlihatkan garis sesaran karena peningkatan diameter paku untuk sesaran pada batas maksimum lebih tajam dibandingkan garis sesaran batas proporsional, terutama perubahan sesaran dari diameter paku 5,2 mm ke 5,5 mm. Sesaran pada batas maksimum semakin meningkat dengan bertambahnya diameter paku. Sesaran terbesar (3,48 mm, standar deviasi 0,26 mm) terjadi pada paku berdiameter 5,5 mm dan nilai ini berbeda nyata dengan sesaran paku 5,2 mm dan 4,1 mm.

Di samping faktor atau sifat daktilitas bahan seluler perilaku sesaran pada batas maksimum juga dipengaruhi oleh luas permukaan bidang paku. Dengan beban yang sama paku berdiameter besar memiliki kemampuan membelah atau menggeser sel/serat pada arah sejajar sumbu memanjang sel lebih besar dibandingkan paku diameter kecil. Apabila beban ditingkatkan maka kayu akan terbelah atau terjadi luncuran (sesaran) yang besar.

Analisis keragaman memang menunjukkan jumlah paku berpengaruh nyata terhadap sesaran pada batas maksimum, tetapi tidak untuk sesaran batas proporsional. Besarnya sesaran pada batas maksimum sambungan geser ganda dengan 4 batang paku (2,89 mm) lebih rendah dan berbeda nyata dengan sesaran ketiga jumlah paku lainnya. Sambungan dengan jumlah 6, 8 dan 10 batang paku relatif sama besar sesarannya

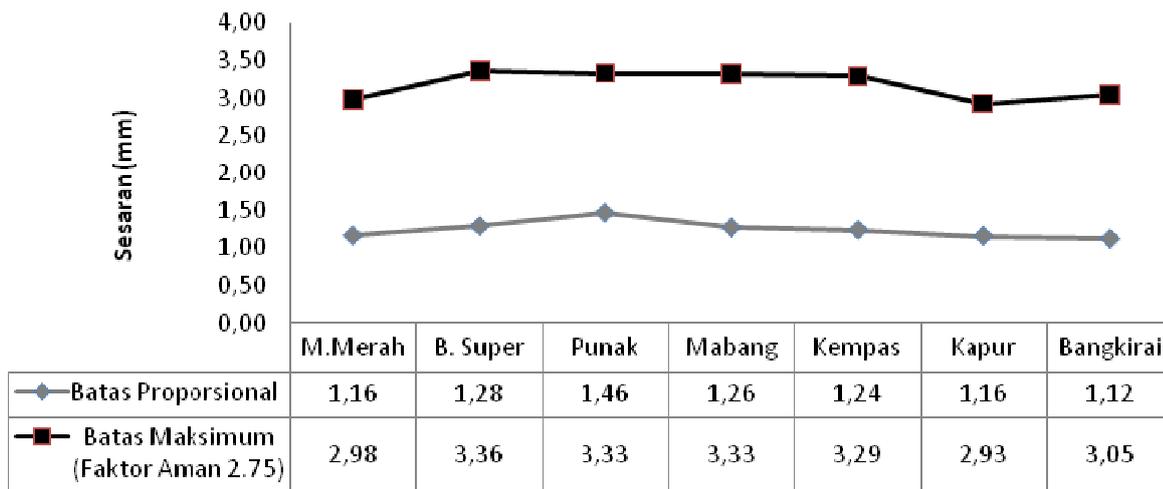
pada batas maksimum, yaitu masing-masing sebesar 3,27,mm, 3,26 mm dan 3,30 mm. Walaupun terdapat perbedaan sesaran pada batas maksimum tersebut namun untuk kepentingan praktis perencanaan disain sambungan di lapangan perbedaan tersebut dapat diabaikan karena tidak mengandung makna yang berarti.

**4. Kesimpulan**

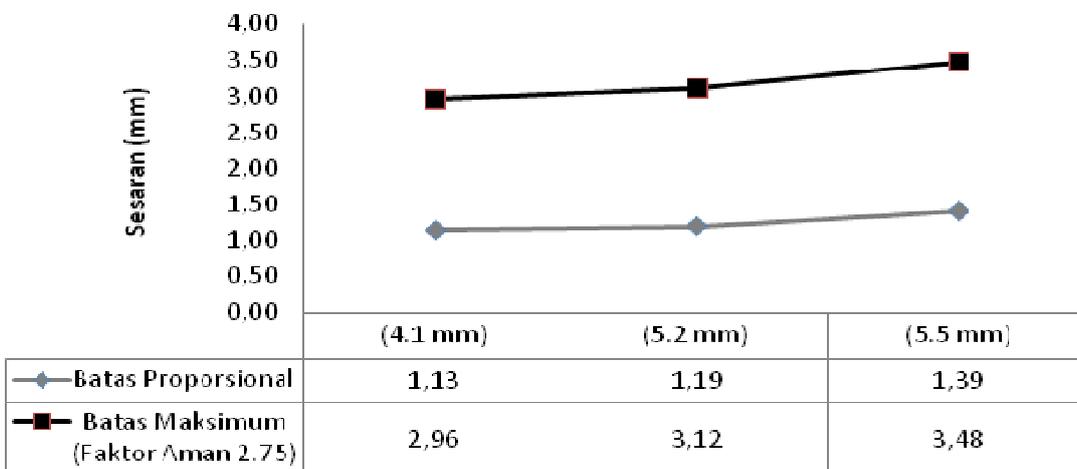
1. Nilai disain lateral Z sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja meningkat dengan meningkatnya BJ atau kerapatan kayu baik pada sesaran batas proporsional maupun batas maksimum. Rataan umum nilai disain lateral Z pada batas proporsional dan maksimum masing-masing adalah 3,8 kN dan 2,3 N.
2. Berdasarkan jenis kayu uji laboratorium sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja menunjukkan bahwa sesaran batas proporsional berkisar dari 1,12 mm (Bangkirai)-1,46 mm (Punak) atau lebih rendah dari sesaran sebesar 1,50 mm

(DNI, 1961). Sesaran pada batas maksimum terjadi pada kisaran 2,93 mm (Kapur)-3.36 mm (Borneo super) atau lebih rendah dari sesaran yang ditetapkan Bleron dan Duchanois (2006), yaitu sebesar 5,0 mm.

3. Paku berjumlah 4; 6; 8 dan 10 batang tidak memberikan perbedaan yang nyata pada sesaran batas proporsional (berkisar 1,17 - 1,31 mm) dari sambungan geser ganda batang kayu dengan pelat sisi baja. Namun pada batas maksimum, paku berjumlah 4 batang sesarannya (2,89 mm) lebih rendah dan berbeda nyata dengan sesaran ketiga jumlah paku lainnya, yaitu masing-masing sebesar 3,27 mm (6 paku), 3,26 mm (8 paku) dan 3,30 mm (10 paku).
4. Penetapan sesaran sebesar 1,0 mm untuk batas proporsional dan 4,0 mm sebagai batas maksimum sambungan geser ganda batang kayu dengan paku majemuk berpelat sisi baja dapat dijadikan dasar bagi praktek konstruksi kayu di Indonesia karena dipandang lebih efisien, obyektif dan rasional.



**Gambar 7. Pola sebaran rata-rata sesaran sambungan geser ganda pada batas proporsional dan maksimum**



Keterangan: Angka dalam kurung adalah ukuran diameter paku

**Gambar 8. Pola sebaran rata-rata sesaran sambungan geser ganda pada batas proporsional dan maksimum**

## 5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DITJEN DIKTI atas bantuan biaya pada skim Penelitian Hibah Fundamental TA 2008-2009 dan Penelitian Disertasi Doktor TA 2010; juga ucapan terima kasih kepada Yeyet, Sriyanto, Ace Amirudin Mansur dan Riva Fachrurrazi alumni Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB atas bantuan teknisnya dalam mempersiapkan contoh uji dan pengujian di laboratorium.

## Daftar Pustaka

- American Society for Testing and Materials. 2002a, *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. ASTM Standard D143-94. Philadelphia, PA: Annual Book of ASTM Standards v4.10. ASTM.
- American Society for Testing and Materials, 2002b, *Standard Test Methods for Mechanical Fastener in Wood*. ASTM Standard D5652-95. Philadelphia, PA: Annual Book of ASTM Standard v4.10. ASTM.
- American Wood Council, 2005, *National Design Specification: for Wood Construction*, ASD/LRFD. Washington, DC 20036: American Forest & Paper Association.
- Beery, W.H., Ifju, G., and McLain, T.E., 1983, *Qualitative Wood Anatomy-Relating Anatomy to Transverse Tensile Strength*. Wood Fiber Sci. 15:395-407.
- Bleron, L and Duchanois, G., 2006, Anggle to the Grain Embedding Strength Concerning Dowel Type Fasteners. *Forest Product Journal*; 56,3; ABI/INFORM Global pg.44.
- Breyer, D.E., Fridley, K.J., Cobean, K.E., and Pollock, D.G., 2007, *Design of Wood Structures*, ASD/LRFD. RR Donnelley. Two Penn Plaza, New York: NY 10121-2298: McGraw-Hill Professional.
- British Standard Institution, 1957, *Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber*. BS 373:1957. Decorporated by Royal Charter. London: British Standard House.
- Courney, T.H., 2000, *Mechanical Behaviour of Materials*. Chapt. 14:686-714. McGraw-Hill International Editions.
- Dewan Normalisasi Indonesia, 1961, *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia*. NI-5. Yayasan Dewan Normalisasi Indonesia.
- Faherty, K.F and Williamson. T.G., 1989, *Wood Engineering and Construction Handbook*. New York: McGraw-Hill Publishing Company.
- Haygreen, J.G. and Bowyer, J.L., 1993, *Forest Product and Wood Science, An Introduction*. Iowa State University Press. Ames, Iowa.
- Sadiyo, S., 1989, *Pengaruh Kombinasi Jenis kayu dan Jenis Perekat Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Panel Diagonal Lambung Kapal*, Bogor: Tesis, Fakultas Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Suryokusumo, S., Sadiyo, S. Marzufli, Bismo, A.A., and Setyo, A.Ch., 1980, *Sistim Keteknikan Kayu. Studi Sambungan Gang Nail dan Sambungan Paku*. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Tjondro, J.A., 2007, *Behaviour of Single-Bolted timber Connections with Steel Side Plates Under Uni-Axial Tension Loadin*. Bandung: Disertasi, Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Katolik Parahyangan.
- Tular dan Idris, 1981, Sekilas Mengenai Struktur Bangunan Kayu di Indonesia. *Proceeding Lokakarya Standarisasi Kayu Bangunan*, Bogor: Departemen Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor.
- Wirjomartono, S., 1977, *Konstruksi Kayu*, Jilid I, Cetakan VI, Yogyakarta: Bahan-Bahan Kuliah Penerbit Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.

