

# NILAI DISAIN LATERAL SAMBUNGAN GESER GANDA BATANG KAYU TROPIS DENGAN PAKU BERPELAT SISI BAJA

## *Lateral Design Value of Double Shear Connections of Tropical Wood Lumber with Nail Steel Side Plates*

Sucahyo SADIYO<sup>1</sup>, Naresworo NUGROHO<sup>1</sup>, Surjono SURJOKUSUMO<sup>1</sup>, Imam WAHYUDI<sup>1</sup>  
 Corresponding Author : [sucahyoss@gmail.com](mailto:sucahyoss@gmail.com)

### ABSTRACT

Connection is the weakest point of the structural building system. Structural construction building system must ensure that there is only a tensile force or just axial compression that is working on the connection. Data on the lateral design values (Z) double shear connection wood beam with nails of steel side plates for various types of tropical Indonesian wood have not studied much. Average moisture content (MC) for the main member varies from 13.3 to 22.5% while average specific gravity ( $\rho$ ) from 0.27 to 0.76 and then wood density from 0.31 to 0.89 g/cm<sup>3</sup>. From this average value of MC, SG and wood density the lowest is sengon and the highest is rasamala wood. Average allowable load of compression parallel to grain ( $\bar{F}_c//$ ) and parallel tensile ( $\bar{F}_t//$ ) is sengon, but the highest is bangkirai. There is a general tendency that  $\bar{F}_c//$  and  $\bar{F}_t//$  is linear to  $\rho$  of those wood.  $\bar{F}_t//$  is approximately 2 times greater than its  $\bar{F}_c//$ . The number of nail (4-10 pieces) did not give effect of average Z, but with the nail diameter 4.1 to 5.2 mm Z increased significantly and this value decreased on 5.5 mm diameter nail. Average Z also increases with increasing of  $\rho$  for displacement 1.50 mm (Indonesian Standard PKKI NI-5 1961) and 5.0 mm (breaking load). The increasing of Z happens because  $\rho$  effect. At 5.0 mm displacement the increase of Z is not as sharp as that of 1.5 mm. Power regression type is the best equation to predict Z of wood density for several diameters of nails.

**Keywords :** Allowable load of tensile parallel to grain, density, displacement, double shear connection, lateral design values

### PENDAHULUAN

Pada prinsipnya disain suatu struktur bangunan menuntut tiga aspek penting, yaitu kekakuan (*stiffness*), kekuatan (*strength*) dan kestabilan (*stability*) struktur. Salah satu faktor yang mempengaruhi ketiga aspek penting tersebut adalah macam sambungan yang digunakan. Menurut Tular *et al.* (1981) sambungan kayu merupakan titik kritis atau terlemah yang terdapat pada elemen atau titik hubung dari suatu sistem struktur bangunan. Pada sistem perangkannya harus diupayakan agar sambungan pada elemen atau titik-titik hubungnya hanya bekerja gaya uniaksial 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 & Williamson (1989) sambungan-sambungan kayu sekarang ini dapat didisain dengan ketelitian yang sama seperti bagian-bagian lain dari struktur. Surjokusumo *et al.* (1980) mengatakan bahwa kekuatan sambungan kayu sangat dipengaruhi oleh komponen pembentuk sambungan, yaitu balok kayu yang akan disambung, alat sambung dan macam sambungan.

Alat sambung tipe dowel seperti paku relatif murah dan mudah diperoleh di pasaran 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 construction*) bisa saja diterapkan. Praktek konstruksi tersebut telah dilakukan oleh beberapa disainer di Eropa dan New Zealand (Breyer *et al.* 2007). Berbeda dengan Indonesia dimana penelitian sambungan kayu ukuran pemakaian (*full scale*) dengan paku untuk jenis kayu yang memiliki kerapatan atau berat jenis

<sup>1</sup> Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor

sedang sampai tinggi belum banyak dilakukan apalagi diaplikasikan pada konstruksi struktural.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai disain lateral sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja pada sesaran 1,5 mm (PKKI-NI 1961) dan 5,0 mm (beban runtuh/hancur) sepuluh jenis kayu.

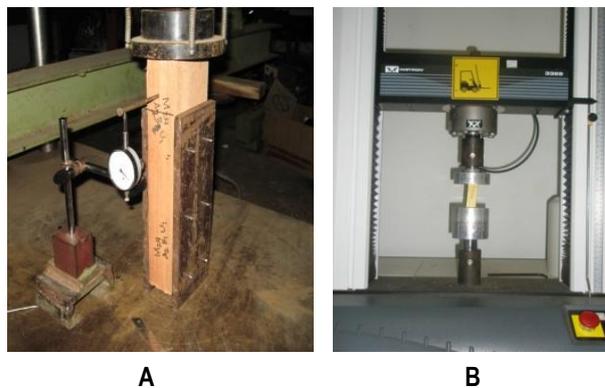
## BAHAN DAN METODA

Bahan penelitian yang digunakan adalah sepuluh jenis kayu yang memiliki sebaran kerapatan ( $\rho$ ) atau berat jenis (BJ) rendah sampai tinggi, berturut-turut sengon (*Paraserianthes falcataria*), kayu nangka (*Arthocarpus* sp), borneo super, meranti merah (*Shorea* spp), punak (*Tetramerista glabra*), kapur (*Dryobalanops* spp), rasamala (*Altingia Excelsa*), mabang (*Swintonia* sp), kempas (*Koompassia malaccensis*) dan bangkirai (*Shorea laevis*). Kayu sengon dan nangka diperoleh dari penggergajian yang berlokasi di Kampung Carangpulung Desa Cikarawang Dramaga sedangkan kayu rasamala dari penggergajian yang berlokasi di Desa Leuwiliang Jasinga Bogor. Tujuh jenis kayu tropis lainnya di peroleh dari toko bangunan di Bogor dalam bentuk balok kayu berukuran 6 cm x 12 cm x 400 cm. Kesepuluh 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 (panjang 12 cm); dan 5,5 mm (panjang 15 cm). Jumlah paku yang digunakan untuk setiap diameter adalah 840 buah. Pelat sambung yang digunakan adalah pelat baja berukuran 1,5 cm 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 kadar air (KA) kayu didasarkan pada standar Amerika, yaitu *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D 143-94 (Reapproved 2000) *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber* dan kekuatan tekan sejajar serat kayu didasarkan pada *British Standard-BS 373* tahun 1957. Dimensi contoh uji tekan//serat kayu adalah 2 cm x 2 cm x 6 cm dan contoh uji KA,  $\rho$  dan BJ dibuat dari contoh yang sama yaitu 5 cm x 5 cm x 5 cm. Contoh uji sambungan geser ganda seharusnya dibuat dari 2 buah batang kayu dari jenis yang sama dan berukuran sama, yaitu masing-masing batang berukuran penampang 6 cm x 12 cm dengan panjang 40 cm. Namun dalam pengujian hanya digunakan satu sisi sambungan yang berarti hanya sebuah batang uji karena pengujian dilakukan dengan pembebanan uniaksial tekan. Penyambungan mekanis batang tersebut dilakukan dengan menggunakan pelat sambung baja berukuran penampang 1,5 cm x 12 cm dengan panjang 30 cm. 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 masing-masing terdiri dari dua baris sambungan.

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 (Gambar 1). Penentuan kekuatan tarik sejajar serat kayu (tarik//serat) menggunakan persamaan empirik  $\sigma_{t//s} = 172,5\rho^{1,05}$ , dimana  $\rho$  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 1,5 mm sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) tahun 1961 dan 5,0 mm (beban runtuh/hancur). Menurut Wiryomartono (1977) beban ijin sambungan dengan paku dapat ditetapkan 1/3 x beban maksimum/beban runtuh atau ditetapkan dari beban pada sesaran 1,5 mm. Untuk mengetahui perilaku dan menentukan besar pengaruh diameter dan jumlah paku terhadap nilai Z sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja sepuluh jenis kayu yang diteliti data diolah dan dianalisis secara deskriptif.



**Gambar 1.** Pengujian contoh uji (a) sambungan geser ganda dan (b) tekan sejajar serat kayu

## HASIL DAN PEMBAHASAN

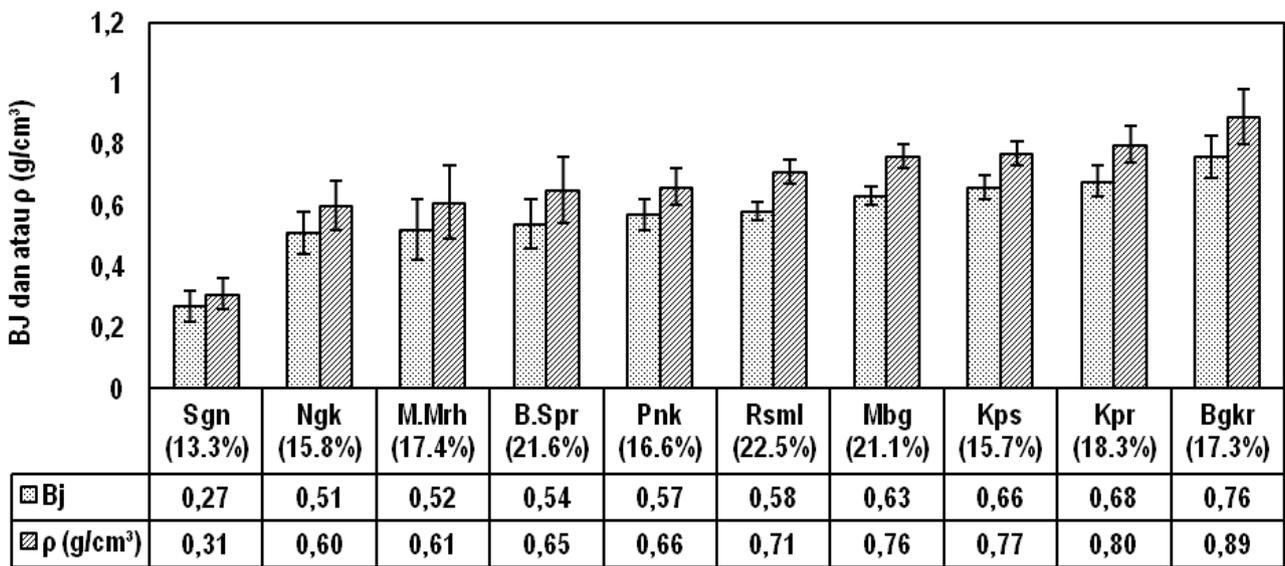
### Berat Jenis dan Kerapatan

Berat jenis dan atau kerapatan kayu merupakan salah satu sifat fisik utama disamping kadar air kayu yang mempunyai korelasi kuat dengan sifat mekanik atau kekuatan kayu. Pada kayu kecil bebas cacat umumnya peningkatan BJ kayu berbanding lurus dengan kekuatannya. Sebaliknya kekuatan

dan kekakuan kayu meningkat justru dengan menurunkan kadar air kayu di bawah titik jenuh serat. Gambar 2 memperlihatkan sebaran rata-rata BJ batang kayu sambungan paku sangat bervariasi dari terendah kayu sengon (0,27) sampai dengan tertinggi kayu bangkirai (0,76). Sebaran nilai BJ ini sejalan dengan  $\rho$  kayu, dimana kayu sengon memiliki  $\rho$  terendah (0,31 g/cm<sup>3</sup>) dan bangkirai tertinggi (0,89 g/cm<sup>3</sup>). Selain sengon kayu lainnya memiliki BJ dan atau  $\rho$  dengan klasifikasi sedang sampai tinggi. Berat jenis kayu yang ditentukan berdasarkan berat kayu tanpa air dapat dijadikan dasar untuk mengelompokkan kayu yang diteliti menjadi beberapa klasifikasi, yaitu sangat rendah (sengon), sedang

(nangka, meranti merah, borneo super, punak, rasamala dan mabang) dan tinggi (kempas, kapur dan bangkirai).

Perbedaan BJ kayu pada dasarnya dapat disebabkan oleh adanya perbedaan struktur anatomis kayu yang meliputi macam, jumlah, dan pola penyebaran pori (saluran pembuluh), parenkima, jari-jari kayu, dan saluran interselluler (Sadiyo 1989). 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 didalam kayu terutama ditentukan oleh diameter/lebar dan frekuensi pori, rongga sel serta ada tidaknya saluran interselluler.



Keterangan : angka dalam kurung menunjukkan nilai KA (%)

Gambar 2. Berat jenis dan kerapatan (g/cm<sup>3</sup>) sepuluh jenis kayu

Gambar 2 juga menyajikan rata-rata  $\rho$  untuk 10 jenis kayu tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata BJ nya. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh pengaruh KA saat pengukuran. Sebaran rata-rata KA balok kayu sambungan paku sangat bervariasi dari terendah sengon (13,2%) - tertinggi rasamala (22,6%). Kadar air seluruh jenis kayu yang diteliti berada dibawah KA titik jenuh serat (30%) namun terdapat empat jenis kayu diperkirakan belum mencapai kadar air kesetimbangan (KAK), yaitu kayu mabang, borneo super, rasamala 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 dari pohon (Haygreen dan Bowyer 1993). Tingginya KA rata-rata kelima 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.

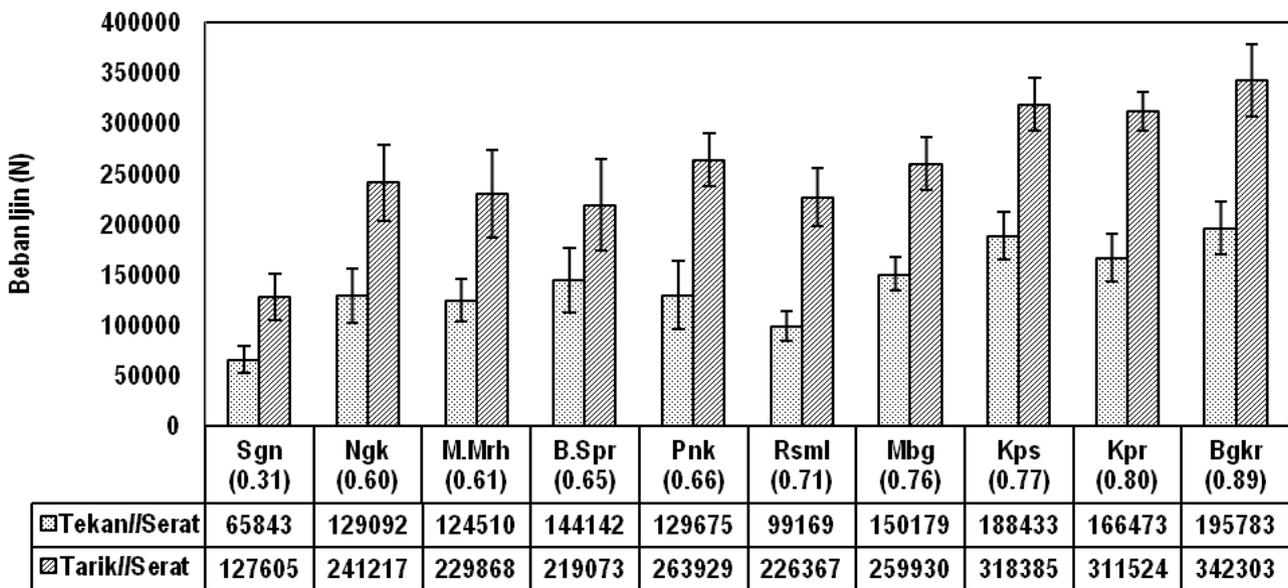
**Beban Ijin Tekan dan Tarik Sejajar Serat**

Kekuatan tekan dan tarik maksimum sejajar serat kayu hasil uji laboratorium yang telah direduksi dengan faktor keamanan dinamakan sebagai tegangan ijin. Apabila tegangan ijin ini dikalikan dengan luas penampang batang kayu maka akan diperoleh beban ijin. Faktor keamanan untuk *softwood* adalah  $\frac{1}{2,1}$  dan *hardwood*  $\frac{1}{2,3}$ . Gambar 3 menunjukkan

sebaran rata-rata beban ijin tekan sejajar serat ( $\bar{F}_c//$ ) untuk batang sambungan paku sangat bervariasi dari terendah kayu sengon 65.843 N dan tertinggi bangkirai 196.114 N. Kayu rasamala dengan kerapatan tinggi (0,71) menghasilkan rata-rata  $\bar{F}_c//$  lebih rendah (99.169 N) dibandingkan kayu nangka (129.092 N), meranti merah (124.510 N), borneo super (144.142 N) dan punak (129.092 N) walaupun kerapatan empat jenis kayu yang disebutkan terakhir memiliki kerapatan  $\leq 0,66$ . 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 bahwa perilaku elastis lebih tergantung pada kerapatan daripada karakteristik anatomi kayu. Perbedaan kuat tekan penelitian ini disebabkan rataan KA dan juga berarti  $\rho$  rasamala lebih tinggi dibandingkan rataan KA dan  $\rho$  keempat jenis kayu tersebut. Pola sebaran  $\rho$  ini fenomenanya sama seperti BJ kayu tersebut. Selain faktor KA kayu rasamala bersifat regas. Gejala ini sama dengan kayu kapur walaupun  $\rho$ -nya lebih tinggi ( $0,80 \text{ g/cm}^3$ ) dibandingkan kempas ( $0,76 \text{ g/cm}^3$ ) tetapi rataan  $\bar{F}_c//$ -nya ( $166.473\text{N}$ ) lebih rendah dari kempas ( $188.433\text{N}$ ). Sifat ini menandakan bahwa ikatan antar sel penyusunnya terutama antar sel jari-jari kayu dan antara sel jari-jari dengan sel didekatnya kurang kuat, sehingga

kekuatan dalam menahan beban tekan rendah. 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. Selanjutnya Gambar 2 juga memperlihatkan adanya kecenderungan pola sebaran rataan  $\bar{F}_c//$  ini sejalan dengan beban ijin tarik sejajar serat kayu ( $\bar{F}_t//$ ), namun pada beberapa kayu terdapat kontradiksi yang signifikan. Kayu angka, meranti merah, punak dan rasamala memiliki rataan  $\bar{F}_c//$  lebih rendah dibandingkan dengan kayu borneo super tetapi keempat kayu tersebut justru memiliki  $\bar{F}_c//$  yang lebih tinggi bahkan kayu punak perbedaan kekuatan tersebut sangat signifikan.



Gambar 3. Beban ijin tekan//serat dan tarik//serat sepuluh jenis kayu

Kayu borneo super memiliki  $\rho$  dan  $\bar{F}_c//$  yang tinggi tetapi tidak sebanding dengan  $\bar{F}_t//$ -nya. Rataan  $\bar{F}_t//$  ini bersifat linier karena diturunkan dan diperoleh dari persamaan empiris kuat tarik sejajar serat ( $\sigma_{t//}$ ) (Tjondro, 2007). Namun dengan pertimbangan faktor penyesuaian kekuatan dan kekakuan kayu pada kadar air maksimal 19% dan 15% (ASTM D 143-94) sebaran rataan beban tarik sejajar serat 10 jenis kayu menunjukkan pola yang lebih mendekati rataan beban tekan sejajar serat dibandingkan pola sebaran BJ atau  $\rho$ . Adapun rataan  $\bar{F}_c//$  diperoleh dari uji empiris contoh kecil bebas cacat.

**Nilai Disain Lateral Z Sambungan Geser Ganda**

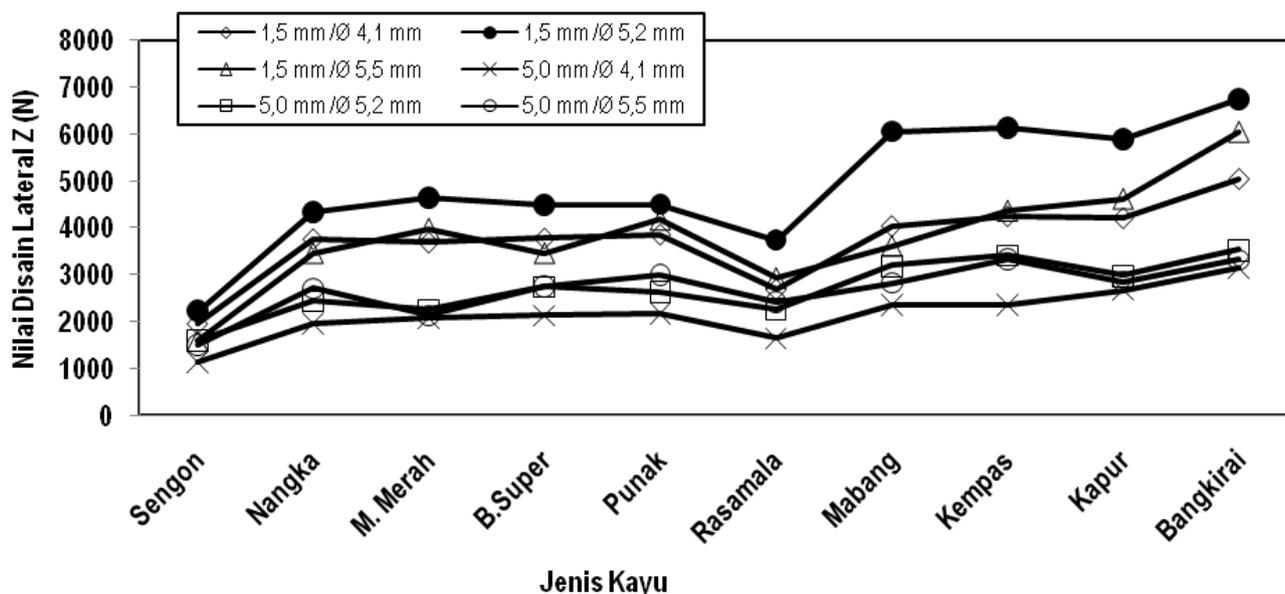
Gambar 4 memperlihatkan kecenderungan umum dimana rataan Z sambungan geser ganda dengan paku semakin meningkat dengan meningkatnya  $\rho$  kayu pada sesaran

1,5 mm, kecuali rasamala fenomenanya sedikit berbeda. Kayu ini memiliki kerapatan tinggi tetapi diduga memiliki keteguhan belah yang rendah. Dengan demikian ikatan antara sel atau serat kayu rasamala tidak sekuat kayu lain yang memiliki berat jenis relatif sama. Namun rataan Z ini meningkat dari pemakaian diameter paku 4,1 mm ke 5,2 mm dan menurun kembali pada diameter 5,5 mm. Fenomena ini diduga disebabkan kekuatan lentur paku berdiameter besar cenderung semakin rendah bila dibandingkan paku berdiameter kecil. Paku-paku berdiameter kecil biasanya mutu baja bahan pakunya juga ditingkatkan untuk meningkatkan kekuatan (Breyer *et al.* 2007).

Berdasarkan Tabel 11P COMMON WIRE, BOX, or SINKER: Reference Lateral Design Values (Z) for Single Shear (two member) Connections (NDS 2005) dicantumkan nilai Z sambungan geser tunggal batang kayu dengan  $\rho$   $0,55 \text{ g/cm}^3$  (Mixed Maple dan Southern Pine) untuk paku umum diameter

4,1 mm; 5,2 mm; dan 5,5 mm masing-masing besarnya 209 lb, 270 lb, dan 285 lb. Dengan demikian nilai Z berdasarkan standar Amerika tersebut masing-masing adalah 1.852 N, 2.400 N, dan 2.538 N atau menurut standar Indonesia (PKKI 1961) untuk kayu dengan  $\rho$  0,60 g/cm<sup>3</sup> masing-masing adalah 1.803 N dan 2.783 N (tidak tersedia nilai Z untuk paku berdiameter 5,5 mm). Uji empirik penelitian ini memperlihatkan dengan diameter paku dan  $\rho$  kayu yang relatif sama kayu-kayu tropis Indonesia memiliki Z pada sesaran 1,50 mm kurang lebih 1,5 kali lebih tinggi untuk diameter 4,1 dan 5,2 mm serta kurang lebih sama pada sesaran 5,0 mm untuk semua

diameter paku. Fenomena tersebut berlaku juga untuk kelas kerapatan kayu lainnya. Sebaran rata-rata Z dengan meningkatnya rata-rata kerapatan pada sesaran 5,0 mm tidak setajam (lebih landai) dibandingkan Z pada sesaran 1,5 mm. Menurut Bleron *et al.* (2006) sambungan geser tunggal dengan alat sambung dowel menurut berbagai diameter dowel dan sudut beban-serat pada sesaran/displacement 5,0 mm telah memperlihatkan daerah plastis sambungan. Pada kurva gaya-sesaran titik proporsional dari berbagai variabel yang diuji berada dibawah 2,0 mm.



Gambar 4. Pola sebaran Z sambungan geser ganda balok kayu dengan paku berpelat sisi baja sepuluh jenis kayu menurut diameter paku pada sesaran 1,5 mm dan 5,0 mm

Wirjomartono (1977) menetapkan sesaran 1,5 mm sambungan dengan paku, baut, pasak atau perekat sebagai dasar dalam menetapkan beban ijin per alat sambung karena dipandang masih berada di daerah elastis. Selanjutnya dikatakan apabila beban ijin per paku (Z) akan ditetapkan berdasarkan beban maksimum (rusak) yang dalam penelitian ini diasumsikan terjadi pada sesaran 5,0 mm maka harus diperhitungkan faktor aman sebesar 3,0 atau 2,75 (PKKI 1961). Faktor aman sebagai faktor penyesuaian inilah yang menyebabkan rata-rata Z yang ditetapkan menurut beban rusak (daerah plastis) pada sesaran 5,0 mm lebih rendah dibandingkan rata-rata Z pada sesaran 1,5 mm (daerah elastis). Walaupun demikian rata-rata 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 PKKI 1961 dan NDS 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 dari BJ atau  $\rho$  kayu penelitian ini yang bersumber dari kayu sejenis, antar jenis kayu, dan atau tempat tumbuh yang berbeda yang menyebabkan berbedanya rata-rata Z yang dihasilkan.

#### Model Regresi Sambungan Geser Ganda

Sebaran rata-rata Z sambungan dengan paku dan penelitian Surjokusumo *et al.* (1980) menunjukkan bahwa beban ijin per paku relatif tidak begitu berpengaruh terhadap jumlah paku dalam sambungan lateral. Berdasarkan kecenderungan umum bahwa  $\rho$  berbanding lurus dengan kekuatan sambungan maka dipilih secara sistimatis data rata-rata  $\rho$  kayu dan Z dalam rangka mencari model regresi hubungan kedua variabel tersebut. Model regresi *power* (*power regression type*) merupakan persamaan terbaik untuk menduga nilai

disain lateral Z sambungan geser ganda batang kayu dengan paku dari kerapatan kayu/density (D) pada sesaran 1,5 mm dan 5,0 mm. Kekuatan sambungan geser ganda dengan paku dalam bentuk *power equations* ini sejalan dengan Sadiyo dan Suharti (2004) dan Pun (1987) untuk beban ultimat sambungan geser tunggal.

Model-model regresi pada Tabel 1 dapat digunakan untuk menyusun nilai disain lateral Z (N) sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja menurut diameter paku pada sesaran 1,5 dan 5,0 mm (Tabel 2).

**Tabel 1.** Model regresi *power* hubungan antara nilai disain lateral Z dengan kerapatan kayu ( $\rho$ ) sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja menurut sesaran dan diameter paku.

Diameter Paku	Sesaran			
	1,5 mm		5,0 mm	
	Z (N)	R <sup>2</sup>	Z (N)	R <sup>2</sup>
4,1 mm	$Z = 6050 \rho^{1,201}$	0,97	$Z = 3184 \rho^{0,906}$	0,97
5,2 mm	$Z = 8709 \rho^{1,300}$	0,98	$Z = 3744 \rho^{0,762}$	0,92
5,5 mm	$Z = 7037 \rho^{1,621}$	0,96	$Z = 3792 \rho^{0,781}$	0,96

**Tabel 2.** Kelas mutu nilai disain lateral Z (N) sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja menurut kerapatan kayu.

Kelas Mutu	Kerapatan Kayu (g/cm <sup>3</sup> )	Sesaran 1,5 mm			Sesaran 5,0 mm		
		4,1 mm	5,2 mm	5,5 mm	4,1 mm	5,2 mm	5,5 mm
I	0,95 (0,90-0,99)	5680	8140	6470	3030	3600	3640
II	0,85 (0,80-0,89)	4970	7050	5400	2740	3300	3340
III	0,75 (0,70-0,79)	4280	5990	4410	2450	3000	3020
IV	0,65 (0,60-0,69)	3600	4970	3500	2150	2690	2700
V	0,55 (0,50-0,59)	2950	4000	2670	1850	2370	2370
VI	0,45 (0,40-0,49)	2310	3080	1920	1540	2030	2030
VII	0,35 (0,30-0,39)	1710	2220	1280	1230	1680	1670
VIII	0,25 (0,20-0,29)	1140	1430	740	900	1300	1280

Nilai-nilai Z pada sesaran 1,5 mm untuk diameter paku 4,1 mm dan 5,2 mm dalam Tabel 2 jauh lebih tinggi dibandingkan nilai disain acuan Z menurut standar Amerika (NDS 2005) maupun beban ijin per paku standar Indonesia (PKKI-NI5 1961). Sedangkan pada sesaran 5,0 mm hasil empiriknya kurang lebih sama dengan kedua standar tersebut yang ditetapkan pada sesaran 1,5 mm. Dengan demikian beban ijin per paku yang ditetapkan PKKI 1961 menurut uji empirik ini terjadi pada sesaran 5,0 mm yang berarti telah memasuki daerah inelastik (beban rusak).

## KESIMPULAN

Nilai disain lateral (Z) sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja meningkat dengan meningkatnya BJ atau  $\rho$  kayu. Rataan Z juga meningkat dari diameter paku 4,1 mm ke diameter 5,2 mm namun menurun kembali pada diameter 5,5 mm pada sesaran 1,5 mm dan 5,0 mm. Sebaliknya jumlah paku (4 s.d. 10 batang) tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap rata-rata Z.

Uji empirik sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja menunjukkan bahwa pada sesaran 1,5 mm kayu-kayu tropis Indonesia memiliki nilai disain lateral

(Z) lebih besar bila dibandingkan dengan nilai Z yang diperoleh dari persamaan batas kekuatan menurut Standar Amerika untuk kayu daun jarum (NDS 2005) dan beban ijin per paku menurut standar Indonesia (PKKI-NI5 tahun 1961).

Model regresi *power* (*power regression type*) merupakan persamaan terbaik untuk menduga nilai disain lateral Z sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja dari kerapatan kayu ( $\rho$ ) baik pada sesaran 1,5 mm maupun 5,0 mm untuk semua diameter paku. Berdasarkan persamaan tersebut dapat disusun Tabel kelas mutu nilai disain lateral (Z) sambungan geser ganda batang kayu dengan paku berpelat sisi baja untuk masing-masing diameter paku (4,1 mm; 5,2 mm; dan 5,5 mm) menurut kerapatan kayu (0,25-0,95 g/cm<sup>3</sup>) dan beberapa tingkat sesaran (1,5 mm dan 5,0 mm).

## DAFTAR PUSTAKA

- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 1994. Standard Practice for Evaluating Allowable Properties for Grade of Structural Lumber. ASTM D2915-94. Easton, USA.

- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2002. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM Standard D143-94. Annual Book of ASTM Standards v4.10. ASTM, Philadelphia, PA.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2002. Standard Test Methods for Mechanical Fastener in Wood. ASTM Standard D5652-95. Annual Book of ASTM Standard v4.10. ASTM, Philadelphia, PA.
- [AWC] American Wood Council. 2005. National Design Specification : For Wood Construction, ASD/LRFD. American Forest & Paper A, 2005 Edition.
- Beery WH, Gfju I, McLain TE. 1983. Qualitative Wood Anatomy-Relating Anatomy to Transverse Tensile Strength. Wood Fiber Sci. 15:395-407.
- Breyer DE, Fridley KJ, Cobean KE, Pollock DG. 2007. Design of Wood Structures, ASD/LRFD. RR Donnelley. McGraw-Hill Professional, Two Penn Plaza, New York, NY 10121-2298.
- Courney TH. 2000. Mechanical Behaviour of Materials. Chapt. 14:686-714. McGraw-Hill International Editions.
- Faherty KF, Williamson TG. 1989. Wood Engineering and Construction Handbook. McGraw-Hill Publishing Company. New York.
- Forest Products Laboratory. 1999. Wood Handbook : Wood as an Engineering Material. USDA Forest Service, Madison, Wisconsin.
- Hoyle RJ Jr. 1973. Wood Technology in The Design of Structure. Mountain Press Publishing Company. Missoula, Montana. USA.
- Haygreen JG, Bowyer JL. 1993. Forest Product and Wood Science, An Introduction. Iowa State University Press. Ames, Iowa.
- [PKKI] Peraturan Konstruksi kayu Indonesia. 1979. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. NI-5. Yayasan Normalisasi Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- Panshin AJ, C de Zeeuw. 1980. Text Book of Wood Technology. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Pun CY. 1987. Structural Timber Joints. Malayan Forest Record No. 32. Forest Research Institut Malaysia. Kuala Lumpur.
- Sadiyo S. 1989. Pengaruh kombinasi Jenis kayu dan Jenis Perekat Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Panel Diagonal Lambung Kapal [Tesis]. Bogor: Fakultas Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Sadiyo S, Suharti A. 2004. Kajian Hubungan antara Kekuatan Sambungan paku dengan Diameter Paku dan Berat Jenis pada Beberapa Kayu Indonesia. Jurnal Ilmu dan teknologi Kayu Tropis. Vol. 3, No.1. Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia.
- Surjokusumo S, Sadiyo S, Marzuffi, Bismo AA, Setyo ACh. 1980. Sistem Keteknikan Kayu. Studi Sambungan Gang Nail dan Sambungan Paku. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Tjondro JA. 2007. Perilaku Sambungan Kayu dengan Baut Tunggal Berpelat Sisi Baja Akibat Beban Uni-Aksial Tarik [Disertasi]. Bandung: Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Katolik Parahyangan.
- Wirjomartono S. 1977. Konstruksi Kayu, Jilid I, Cetakan VI, Bahan-Bahan Kuliah Penerbit Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.