

# Keandalan Papan Lapis dari Kayu Damar (*Agathis loranthifolia* Salisb.) Terpadatkan sebagai Pelat Buhul pada Arsitektur Konstruksi Atap Kayu

*The Strength of Densified Agathis (*Agathis loranthifolia* Salisb.) Plyboard as Gusset in Wood Roof Construction*

James Rilatupa, Surjono Surjokusumo dan Dodi Nandika

## Abstract

The aim of this research is to know the densified agathis plywood characteristics and reliability is used for semi isotropic gusset in wood roof construction, and also to look for suitable models of its connectors for roof construction. The material use for this research is agathis board with dimension of 36 cm (L) x 12 cm (T) x 2 cm (R). This board has been densified until it reached 1 cm in thickness (R). Glue used for this research is epoxy with the trade name Eurepox-710 (resin) and mixed with Euredur-140 (hardener). The bolt used for the testing of embedded strength is bolt St.37 with diameter of 11.12 mm.

The result showed that densification could increase physical nature and mechanical strength. The physical nature and mechanical strength also indicated that densified agathis board could be used as gusset in wood roof construction. Results of bolt embedded strength and its ANOVA showed that the gusset of densified agathis plywood will be reliable for each connection angles, and indicated that the Hankinson theory could not be implemented to forecast the bolt embedded strength for another connection angles. Based on questioners model of the gusset will revealed which is in accordance with the roof construction as issued for the second drawing of the gusset for each connection type. This model has been considered to posses aesthetical and harmonically features wood roof construction of a building.

**Key words:** densified agathis plywood, semi isotropic, aesthetical feature

## Pendahuluan

Atap merupakan salah satu elemen utama dalam konstruksi bangunan gedung di wilayah tropis. Selain itu keberadaan atap dalam bangunan sangat penting, karena dapat meningkatkan nilai arsitektur bangunan. Keberadaan elemen atap tidak hanya sebagai respon terhadap kondisi iklim geografis (terutama pada kawasan iklim tropis), tetapi juga mendukung karakter dan bentuk arsitektur suatu bangunan. Dengan kata lain suatu konstruksi atap tidak hanya berperan untuk menyalurkan air hujan yang jatuh di atasnya, melindungi dari angin, atau sebagai suatu tempat berteduh (*shelter*); tetapi juga harus ikut meningkatkan kenyamanan udara di dalam ruangan.

Konstruksi atap dengan bentangan yang relatif lebar (lebih dari 12 meter) membutuhkan alat sambung untuk menyambung balok-balok kayu pada konstruksinya. Umumnya sistem sambungan pada konstruksi atap bangunan di Indonesia cenderung menggunakan alat sambung dari bahan logam, kalaupun kayu yang digunakan terbuat dari kayu keras (kayu komersial dengan Kelas Kuat I-II), karena akan dibebani dengan tekanan dan geseran. Dengan ketersediaan kayu komersial yang semakin terbatas mengakibatkan pemikiran tentang penggunaan kayu non-komersial sebagai alat sambung perlu dipertimbangkan

untuk mengatasi kekurangan tersedianya jenis-jenis kayu keras di masa mendatang.

Penentuan pemanfaatan kayu damar sebagai alat sambung karena merupakan pohon cepat tumbuh dan sedang dipromosikan oleh pemerintah untuk menggantikan jenis-jenis kayu keras. Namun demikian, kayu damar tergolong berkerapatan rendah dan termasuk Kelas Kuat III. Peningkatan kualitas kayu damar perlu dilakukan termasuk memperbaiki sifat-sifat mekanisnya; salah satunya dengan penerapan teknologi pemanfaatan. Di Amerika Serikat, kayu terpadatkan yang dikenal dengan nama *staypak* telah digunakan sebagai pelat buhul (Anonymous, 1999). Di Indonesia sendiri pelat buhul yang terbuat dari kayu terpadatkan belum dikenal. Berdasarkan pertimbangan tersebut, diperlukan penjajagan kemungkinan pemanfaatan papan lapis dari kayu damar terpadatkan sebagai pelat buhul pada konstruksi atap bangunan.

## Bahan dan Metode

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah kayu damar (*Agathis loranthifolia* Salisb) tanpa cacat yang berbentuk papan tangensial dengan tebal (R) 2 cm dan lebar (T) 12 cm, kemudian dipotong menjadi contoh uji yang berukuran 36 cm (L) x 12 cm (T) x 2 cm (R), dimana L = Longitudinal, T = Tangensial dan R = Radial.

Perekat yang digunakan adalah epoxy dengan nama dagang *Europox-710 (resin)* ditambah dengan *Euredur-140 (hardener)*, dan baut yang digunakan untuk pengujian daya dukung baut adalah baut St.37 dengan diameter 11.12 mm.

Alat utama yang digunakan adalah mesin kempa kayu (*Cold and Hot Press*) rakitan Pusat Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan LIPI dengan luas press 40 cm x 40 cm dan kemampuan tekanan hidrolik maksimum 700 kg/cm<sup>2</sup> (1000 psi), serta suhu maksimum 250°C. Peralatan lain yang digunakan adalah mesin Amsler dan Baldwin, mesin uji tekan kayu (*Universal Testing Machine* merk TORSEE), gergaji, oven, jangka sorong, moisture-meter, pelat baja, desikator, bor, seng aluminium, tabung bertekanan (*autoclave*) dan *waterbath*.

## Metode

### I. Papan Terpadatkan

**Pembuatan Sortimen Uji:** Papan dengan ukuran tersebut di atas direndam dalam air selama 7 hari, kemudian direbus dalam tabung bertekanan selama  $\pm 1$  jam. Setelah itu papan dipadatkan dengan mesin kempa pada arah tebal/radial (suhu 150°C ~ 175°C) selama 1 ~ 1½ jam hingga ketebalannya mencapai 50% dari tebal semula (ketebalan tercapai 1 cm). Selama proses pemanasan, seng aluminium digunakan sebagai wadah papan yang digenangi air secukupnya pada bagian sisinya secara kontinu (untuk mencegah keretakan/melunakkan kayu). Papan yang telah dipadatkan tersebut dibiarkan selama 1½ ~ 2 jam pada mesin kempa dengan suhu 150°C, kemudian

dikeluarkan dari mesin kempa dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 50°C. Pemanasan dengan proses ini bertujuan untuk membentuk kayu yang bersifat anisotropis menjadi kayu bersifat semi isotropis (kekuatan hampir merata pada setiap bidang papan atau mendekati sifat baja/isotropis) dan mencapai fiksasi ketebalan (tidak mudah kembali ke ketebalan semula).

**Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis:** Sortimen uji yang berukuran 36cm (L) x 12cm (T) x 1cm (R) digergaji menjadi potongan-potongan untuk pengujian sifat fisis dan mekanis papan damar terpadatkan. Pengujian sifat fisis meliputi berat jenis, kerapatan dan kadar air. Sifat mekanis yang diuji pada papan damar terpadatkan meliputi pengujian modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR), keteguhan tekan sejajar serat, serta kekerasan sisi tangensial dan radial. Hasil pengujian sifat fisis dan mekanis papan damar terpadatkan akan dibandingkan dengan sifat fisis dan mekanis papan damar solid (tanpa pemanasan) dengan masing-masing pengujian dilakukan lima ulangan.

### II. Papan Lapis Terpadatkan

**Pembuatan Papan Lapis Terpadatkan:** Proses pembentukan papan lapis terpadatkan dilakukan dengan menempelkan sembilan buah papan damar terpadatkan dengan lem epoxy menjadi tiga susun (lihat Gambar 1), sehingga diperoleh pelat sambung yang berukuran 36 cm (L) x 36 cm (T) x 3 cm (R). Setelah selesai dilem, pelat sambung tersebut dipres dengan pelat baja selama 7 hari dan dikeringkan (kering udara), kemudian dirapikan ukurannya.

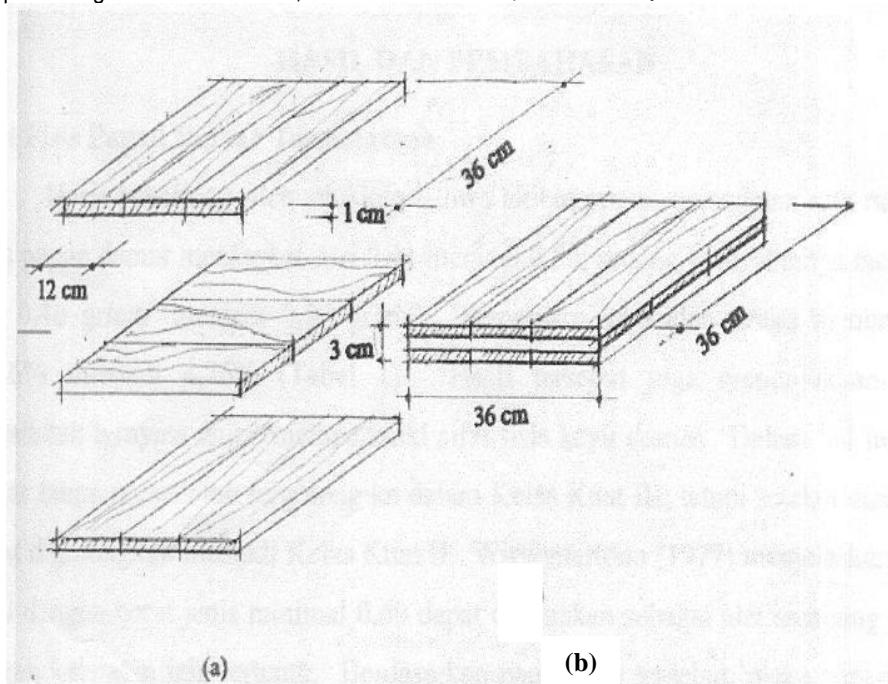


Figure 1. Process of densified plywood forming: (a) before formation and (b) after formation of densified board

**Pengujian Keteguhan Geser dan Daya Dukung Baut:** Setelah papan lapis dirapikan ukurannya, kemudian dilakukan pembuatan contoh uji untuk pengujian keteguhan geser dan daya dukung baut. Pengujian keteguhan geser papan lapis diambil pada arah sejajar serat dan tegak lurus serat dengan mesin uji Baldwin. Pembacaan nilai beban maksimum dilakukan pada saat benda uji mengalami kerusakan. Pengujian daya dukung baut pada pelat buhul papan lapis terpadatkan disesuaikan dengan besar sudut sambungan yang telah ditentukan, yaitu:  $0^\circ$  (sejajar serat),  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$  (tegak lurus serat) dengan lima ulangan. Prinsip pengujian adalah membenamkan baut St.37 berdiameter 11.12 mm dengan menggunakan alat uji desak baut dan mesin Baldwin. Pengujian daya dukung baut dianalisa dengan menggunakan model Rancangan Acak Lengkap (RAL).

**Studi Bentuk dan Komposisi Pelat Buhul pada Konstruksi Atap:** Untuk mendapatkan nilai estetika pelat buhul pada arsitektur konstruksi kayu menggunakan faktor komponen garis yang lebih dari satu komposisi bentuk. Penilaian arsitektur ini dicapai dengan menggunakan metode kuisioner pada 115 mahasiswa arsitektur di Jakarta.

### Hasil dan Pembahasan

#### Sifat Fisis Papan Damar Terpadatkan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa akibat proses pemanatan rata-rata berat jenis papan damar meningkat dari 0.41 menjadi 0.80; sedang kerapatannya meningkat dari  $0.46 \text{ g/cm}^3$  menjadi  $0.83 \text{ g/cm}^3$ . Kadar airnya menurun dari 13.16% menjadi 4.76% (Tabel 1). Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa pemanatan ternyata dapat memperbaiki sifat fisis kayu damar.

Table 1. Spesific gravity, density and moisture content of densified agathis board compared with non-densified agathis board.

No.	Physical properties	Non-Densified Agathis Board	Densified Agathis Board
1.	Specific gravity	0.41	0.80
2.	Density ( $\text{g/cm}^3$ )	0.46	0.83
3.	Moisture Content (%)	13.16	4.76

Table 2. Modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), shear parallel to grain, side hardness of densified agathis board compared with non-densified agathis board

No.	Mechanical properties	Non-Densified Agathis Board	Densified Agathis Board
1.	Modulus of elasticity ( $\text{kg/cm}^2$ )	65628.12	136615.93
2.	Modulus of rupture ( $\text{kg/cm}^2$ )	450.50	1562.31
3.	Shear parallel to grain ( $\text{kg/cm}^2$ )	268.36	637.48
4.	Side hardness ( $\text{kg/cm}^2$ )		
	- tangential	190.40	600.00
	- radial	190.20	402.40

Dalam hal ini papan damar tanpa pemanatan tergolong ke dalam Kelas Kuat III; tetapi setelah dipadatkan dapat digolongkan menjadi Kelas Kuat II. Wiryomartono (1977) menjelaskan bahwa kayu dengan berat jenis minimal 0.60 dapat digunakan sebagai alat sambung (pasak) dengan kekuatan ijin tertentu. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka papan damar terpadatkan dengan berat jenis 0.83 dapat digunakan sebagai alat sambung pada konstruksi kayu.

Tomme *et al.* (1998) melaporkan bahwa pemanatan dengan suhu tinggi dapat meningkatkan berat jenis kayu. Dalam penelitian ini, papan dipadatkan pada suhu  $150^\circ\text{C} \sim 175^\circ\text{C}$  pada kondisi basah, sehingga tidak menyebabkan terjadinya keretakan pada papan yang dipadatkan.

#### Sifat Mekanis Papan Damar Terpadatkan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa akibat proses pemanatan, modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR), kekuatan tekan sejajar serat, serta kekerasan sisi tangensial dan radial papan damar meningkat (Tabel 2). Dengan demikian, papan damar terpadatkan lebih kaku dan dapat menahan beban lebih besar dibandingkan dengan papan damar tanpa pemanatan.

Peningkatan MOE dan MOR pada papan damar terpadatkan terjadi karena adanya kristalisasi molekul-molekul selulosa dalam daerah amorf atau parakristalin dari mikrofibril (Dwianto *et al.* 1998).

Sementara itu peningkatan kekuatan tekan sejajar serat menunjukkan bahwa dengan pemanatan diduga struktur sel kayu menjadi lebih padat dan merata pada setiap bagian papan damar yang dipadatkan. Kekuatan tekan sejajar serat juga mencerminkan tegangan maksimum kayu. Tegangan maksimum tersebut juga mengindikasikan kekuatan daya dukung baut,

dimana menurut penelitian Wiryomartono (1977) tegangan maksimum kayu damar adalah  $300 \text{ kg/cm}^2$ . Meningkatnya kekerasan sisi terjadi akibat lumen dan rongga sel kayu menyempit, lebih merata, dan merapat akibat pengaruh pemanasan.

Pemanasan pada suhu yang cukup tinggi ( $150^\circ\text{C} \sim 175^\circ\text{C}$ ) sangat mempengaruhi peningkatan sifat mekanis kayu damar. Menurut Wiryomartono (1977) kayu yang memiliki MOE  $\geq 125000 \text{ kg/cm}^2$  tergolong dalam kayu Kelas Kuat I. Berdasarkan pernyataan tersebut papan damar terpadatkan dengan MOE  $136615.93 \text{ kg/cm}^2$  pada penelitian ini dapat digolongkan Kelas Kuat I dan dapat digunakan sebagai alat sambung.

#### Keandalan Papan Lapis dari Kayu Damar Terpadatkan sebagai Pelat Buhul

**Keteguhan Geser Rekat:** Hasil penelitian menunjukkan bahwa keteguhan geser rekat sejajar serat untuk pelat buhul papan lapis dari kayu damar terpadatkan mencapai  $102.08 \text{ kg/cm}^2$ , sedangkan keteguhan geser tegak lurus serat adalah  $61.87 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai keteguhan geser rekat ini mengindikasikan bahwa daya dukung baut pada sambungan sejajar serat ( $0^\circ$ ) akan lebih tinggi daripada sudut sambungan tegak lurus serat ( $90^\circ$ ), berarti pelat buhul ini lebih kuat menahan beban pada sudut sambungan sejajar serat.

**Daya Dukung Baut:** Sesaran 1.5 mm adalah batas maksimal persyaratan sesaran menurut Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PPKI)(Anonymous 1961). Perlunya pembatasan sesaran, karena sesaran yang lebih besar akan menimbulkan tegangan sekunder. Hasil analisis dari penelitian ini menunjukkan bahwa sudut sambungan pada pelat buhul papan lapis terpadatkan tidak memiliki hubungan yang linear dengan daya dukung baut pada sesaran 1.5 mm (Tabel 3). Berdasarkan hal tersebut, diduga untuk pelat buhul papan lapis terpadatkan tidak dapat dibandingkan dengan persamaan PPKI (1961) atau teori Hankinson untuk mengetahui daya dukung baut pada sudut-sudut sambungan lainnya (Soltis dalam Anonymous 1999).

PPKI dan Hankinson menjelaskan bahwa sudut sambungan  $0^\circ$  (sejajar serat) memiliki daya dukung baut yang tertinggi dan dua kali lebih besar dari sudut sambungan  $90^\circ$  (tegak lurus serat), kenyataannya hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung baut

pada sudut sambungan  $90^\circ$  (tegak lurus serat serat) hampir sama daya dukungnya dengan sudut sambungan  $0^\circ$  (sejajar serat). Hal ini menunjukkan juga bahwa susunan struktur persilangan papan yang dilapiskan menyebabkan daya dukung baut pada sudut sambungan  $90^\circ$  hampir setara dengan sudut sambungan  $0^\circ$ . Demikian pula terjadi pada sudut sambungan  $30^\circ$  yang hampir setara dengan sudut sambungan  $60^\circ$ . Dengan demikian pendugaan sudut-sudut sambungan lainnya baik menurut PPKI maupun Hankinson tidak dapat diterapkan pada pelat buhul papan lapis terpadatkan.

Table 3. The bolt embedded strength densified agathis plywood for connection angles  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  and  $90^\circ$ .

No.	Connection angle ( $^\circ$ )	Bolt Embedded Strength (kg)
1.	0	1199.00
2.	30	717.92
3.	45	951.66
4.	60	793.76
5.	90	1080.43

Bila dibandingkan dengan tegangan desak ijin pada kayu golongan Kelas Kuat I menurut PPKI (1961), Wiryomartono (1977), dan Nugrowarsito (1992) seperti tersaji pada Tabel 4; ternyata pelat buhul papan lapis terpadatkan masih lebih tinggi tegangan desak ijinnya, baik pada sudut sambungan sejajar serat maupun tegak lurus serat.

Berdasarkan pernyataan tersebut, maka pelat buhul papan lapis dari kayu damar terpadatkan dengan tegangan desak ijin  $357.01 \text{ kg/cm}^2$  (sejajar serat) dan  $321.56 \text{ kg/cm}^2$  (tegak lurus serat) tergolong Kelas Kuat I, sehingga dapat diandalkan sebagai alat sambung pada struktur konstruksi kayu.

Hasil anova juga menegaskan tidak ada perbedaan nyata dari perlakuan sudut sambungan terhadap daya dukung baut, sehingga pelat buhul papan lapis dari kayu damar terpadatkan dapat digunakan pada setiap sudut sambungan. Fenomena ini sangat bertolak belakang dengan alat sambung kayu lainnya (bersifat anisotropis) yang menyatakan semakin besar sudut sambungan

Table 4. The allowance bearing stress of strength class wood version PPKI (1961), Wiryomartono (1977), and Nugrowarsito (1992) compared with gusset of densified agathis plywood for parallel grain and perpendicular grain.

Connection angle	The Allowance Bearing Stress ( $\text{kg/cm}^2$ )			
	PPKI (1961)	Wiryomartono (1977)	Nugrowarsito (1992)	Densified Agathis Plyboard
Parallel grain	141.67 ~ 216.67	166.67	131.04	357.01
Perpendicular grain	56.67 ~ 86.67	88.67	66.70	321.56

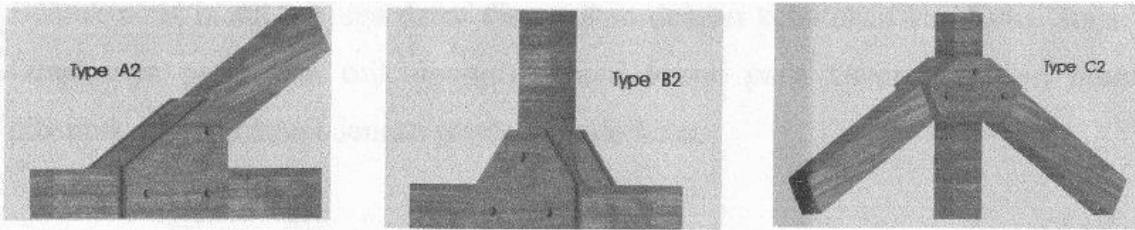


Figure 2. Type of densified agathis plywood as gusset and its connection details on wood roof construction

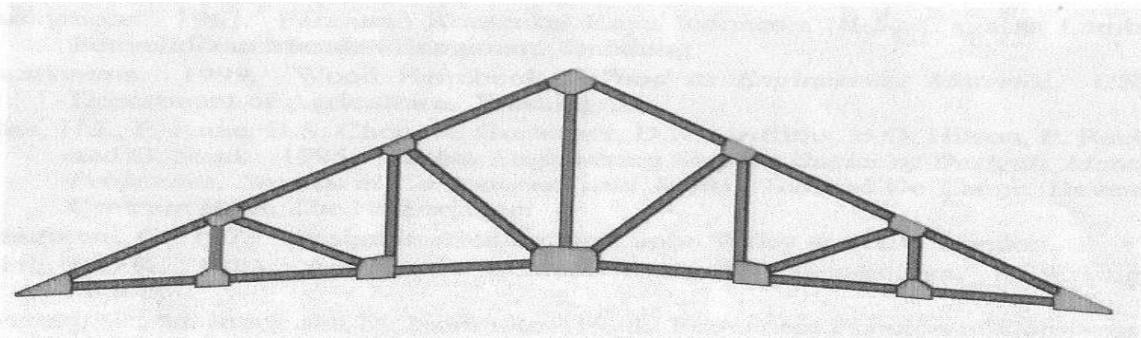


Figure 3. Placement the type of gusset in wood roof construction.

maka akan semakin lemah daya dukung bautnya. Dengan demikian pelat buhul papan lapis dari kayu damar terpadatkan (bersifat semi isotropis) dapat diandalkan sebagai alternatif, khususnya pada struktur konstruksi kayu.

#### Nilai Arsitektur Pelat Buhul Papan Lapis pada Konstruksi Atap

**Bentuk sebagai Unsur Rancangan:** Dalam arsitektur tata ruang, peranan pelat buhul papan lapis terpadatkan pada konstruksi atap dapat menampilkan suatu estetika, sehingga bentuk-bentuk pelat buhul harus sesuai dan harmonis dengan penempatannya pada konstruksi atap. Broadbrent (1973) menjelaskan bahwa suatu bentuk terjadi karena adanya perpaduan unsur garis-garis bidang. Dalam pengertian rancangan garis, bidang dan bentuk adalah merupakan unsur-unsur dari suatu perancangan.

Hasil kuisioner dari 115 responden mahasiswa Arsitektur mengenai bentuk pelat buhul sesuai penempatannya menunjukkan 70% memilih bentuk seperti terlihat pada Gambar 2. Hal ini menunjukkan bahwa mereka melihat adanya keserasian dan keharmonisan pada bentuk-bentuk pelat buhul tersebut dan dianggap paling sesuai bagi konstruksi kuda-kuda atap suatu bangunan.

**Komposisi sebagai Prinsip Perancangan:** Komposisi merupakan pengulangan secara sistematis dari unsur-unsur yang mempunyai hubungan yang sama yang lebih dari satu, dalam hal ini adalah komponen garis (Ching

1985). Hal ini menegaskan sesuai dengan pilihan responden komposisi pelat buhul seperti pada Gambar 2 dianggap komposisi yang mempunyai nilai estetika terbaik bagi konstruksi kuda-kuda atap suatu bangunan seperti yang terlihat pada Gambar 3 dengan masing-masing penempatan pelat buhul pada konstruksi atap tersebut.

Pelat buhul dalam keadaan terpasang pada konstruksi atap akan memberikan ekspresi yang memiliki nilai estetika tersendiri dan menampilkan konstruksi atap yang unik, tampil beda dengan karakter konstruksi alami. Salah satu kelebihan pelat buhul ini adalah dapat diandalkan pada setiap sudut sambungan, sehingga penggunaannya tidak perlu diragukan untuk konstruksi-konstruksi kayu lainnya. Bentuk pelat buhul ini juga dapat disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi atapnya (khususnya pertemuan titik simpul) seperti tersaji pada Gambar 3 dan mudah dibentuk secara manual dengan peralatan sederhana.

#### Kesimpulan

Pemanjangan dengan teknik pengempaan dapat meningkatkan kualitas (fisis dan mekanis) papan damar dari Kelas Kuat III menjadi Kelas Kuat II. Perlakuan pendahuluan berupa rendaman dingin yang dilanjutkan dengan rendaman panas, serta pemanjangan pada suhu tinggi ( $150^{\circ}\text{C} \sim 175^{\circ}\text{C}$ ) dan beban tekan kempa  $12 \text{ kg/cm}^2$  mampu menghasilkan kestabilan bentuk papan damar.

Papan lapis dari kayu damar terpadatkan dapat diandalkan sebagai alat sambung pelat buhul pada konstruksi atap kayu. Keandalan sebagai pelat buhul tersebut antara lain adalah kuat, bersifat semi isotropis, dapat digunakan pada berbagai sudut sambungan, estetis (unik), mudah dibentuk dan dapat dikerjakan secara manual. Selain itu pelat buhul yang terbuat dari bahan kayu dapat menyatu dengan konstruksi kayu yang disambungnya.

#### Daftar Pustaka

- Anonymous. 1961. Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- Anonymous. 1999. Wood Handbook: Wood as Engineering Material. USDA Department of Agriculture. Washington.
- Broadbrent, G. 1973. Design in Architecture. John Wiley & Sons. London.
- Ching, F.D.K. 1985. Arsitektur: Bentuk, Ruang dan Susunannya. PT Erlangga. Jakarta
- Dwianto, W., M. Inoue and M. Norimoto. 1998. Permanent Fixation of Compressive Deformation of *Albizia* Wood (*Paraserianthes falcataria*) by Heat Treatment. Journal of Tropical Forest Product No. 4(1): 59-67.
- Nugrowarsito. 1992. Studi mengenai Sambungan Baut pada Kayu dari Beberapa Kelas Kerapatan. Tesis. Program Pascasarjana, IPB. Bogor. Tidak dipublikasikan.
- Tomme, F., F. Girardet, B. Gfeller and P. Navi. 1998. Densified Wood : An Innovative Product with Highly Enhanced Characters. Proceeding The 5<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering Vol.2. Montreux, Switzerland:640-647.
- Wiryomartono. 1977. Konstruksi Kayu. Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.

Diterima tanggal 12 Nopember 2003

James Rilatupa

Fakultas Teknik, Jurusan Arsitektur, Universitas Kristen Indonesia  
(*Faculty of Technic, Dept. of Architecture, University of Kristen Indonesia*)  
Jl. Mayjen Sutoyo, Cawang, Jakarta Timur 13630  
E-mail: rilatupa@yahoo.com

Surjono Surjokusumo dan Dodi Nandika

Fakultas Kehutanan, Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor  
(*Faculty of Forestry, Dept. of Forest Products Technology, Bogor Agricultural University*)  
PO BOX 168, Bogor 16001.  
Tel.: (0251) 621285, 621677 ; Fax.: (0251) 621285, 621256