PERANCANGAN SAMBUNGAN BAMBU UNTUK KOMPONEN RANGKA BATANG RUANG[1)]

(Bamboo Connection Design for Space Truss Member)

Gina Bachtiar, Surjono Surjokusumo[2)], Naresworo Nugroho[2)], dan Yusuf Sudo Hadi[2)]

ABSTRACT

Space truss is a three dimensional structure, which can draw forces work on its member either tension or compression without torsion. Space truss is favorable to build a large, light and stiff structure, which are made from relatively short bars. This research is a feasibility study of using bamboo as space truss members. This study focuses on designing bamboo connection, that strong enough for both tension and compression. According to the analysis done, bamboo culm with diameter 4 cm and 6 cm could be use to make space truss member for a simple 3m x 4 m canopy structure. The critical point of failure was on shear, because the shear strength of bamboo observed was only 3.9kg/cm^2. Designing with uniform length members of one meter, it's found that for bamboo of 4 cm and 6 cm in diameter, depth of shear area of 5 cm and 3 cm, respectively, are needed.

Keywords: bamboo connection, space truss member, tension, compression

PENDAHULUAN

Pada saat ini, dengan terjadinya krisis persediaan kayu, bambu diharapkan dapat memasuki pasar bahan bangunan menggantikan kayu sebagai bahan bangunan alternatif, mengingat bambu sebagai bahan bangunan dapat diperoleh pada umur 3-5 tahun (Morisco, 2005). Bambu dan produk berbahan bambu seharusnya dapat ditingkatkan sehingga setara dengan bahan bangunan lain. Untuk itu, diperlukan penelitian dan pengembangan agar pemanfaatannya menjadi optimal.

Bentuk bambu yang berupa tabung dengan sekat-sekat yang disebut buku mempunyai sifat mekanis yang khusus, yaitu kekuatan pada daerah buku dan ruas berbeda. Kuat tarik bambu setara dengan kuat tarik baja, sementara kuat geser sejajar seratnya rendah sehingga mudah pecah. Oleh karena itu, buluh bambu cocok jika digunakan untuk konstruksi rangka batang (*truss*), yang komponen-komponennya dihubungkan secara sendi sehingga beban yang bekerja pada batang hanya gaya aksial tekan dan tarik (Dewi *et al.*, 2005). Kendala dalam pemanfaatan buluh bambu adalah membuat model sambungan bambu yang cukup kokoh terutama agar dapat menerima beban tarik.

Saat ini konstruksi rangka batang tidak hanya dalam bentuk bidang seperti kuda-kuda, tetapi telah berkembang rangka batang ruang (*space truss*). Selama ini konstruksi rangka batang ruang dibuat dari bahan logam dalam bentuk pipa,

[1)] Bagian dari disertasi penulis pertama, Program Studi Ilmu Pengetahuan Kehutanan, Sekolah Pascasarjana IPB

[2)] Berturut-turut Ketua dan Anggota Komisi Pembimbing

baik pipa baja, maupun *stainless*. Berdasarkan bentuk dan kekuatan bambu, diharapkan bambu dapat menjadi alternatif bahan pengganti pipa yang selama ini banyak digunakan. Jika konstruksi rangka batang ruang dapat dibuat dari bambu, faktor estetika menjadi nilai tambah, tanpa meninggalkan faktor kekuatan. Selain itu, buluh bambu yang kelurusannya terbatas dapat dioptimalkan pemakaiannya karena pada konstruksi rangka batang ruang dipergunakan komponen-komponen yang relatif pendek.

Metode sambungan bambu yang banyak digunakan pada bangunan tradisional adalah dengan menggunakan alat sambung paku dan tali, baik tali rotan, tali ijuk maupun kawat. Sambungan ini sangat bergantung pada kekuatan tali dan ikatannya, sehingga sulit untuk dipertanggungjawabkan kekuatannya, selain itu kurang tahan lama. Oleh karena itu, sambungan tersebut lebih cocok digunakan untuk bangunan sementara.

Kendala dalam membuat sambungan bambu adalah bentuknya yang bulat dan berlubang. Pada umumnya sambungan yang dibuat akan kuat dalam menahan beban tekan, tetapi lemah dalam menahan beban tarik. Untuk memanfaatkan kuat tarik bambu yang cukup tinggi, ada beberapa model sambungan yang sudah dikembangkan, di antaranya, sambungan yang menghimpun gaya-gaya dalam buluh menjadi satu garis yang dikembangkan oleh Duff pada tahun 1941 (Janssen, 1981). Bentuk sambungan tersebut menjadi dasar pembuatan sambungan rangka batang ruang oleh Tonges (Aachen, 2005) yang menggunakan pita nylon dan kawat *stainless* serta sambungan yang dikembangkan Albermani *et al*. (2007) untuk konstruksi rangka batang ruang dengan menggunakan alat sambung PVC (*polyvinyl chloride*) dengan perekat *megapoxy*.

Penelitian ini bertujuan merancang bentuk dan dimensi sambungan bambu untuk komponen rangka batang ruang yang dapat menahan gaya tekan dan tarik pada konstruksi kanopi.

Pada penelitian ini hanya akan digunakan bambu tali (*Gigantochloa apus* Kurz) dengan diameter 4 cm dan diameter 6 cm untuk konstruksi atap kanopi yang berukuran 3 m x 4 m dengan empat tumpuan dan panjang komponen yang seragam.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

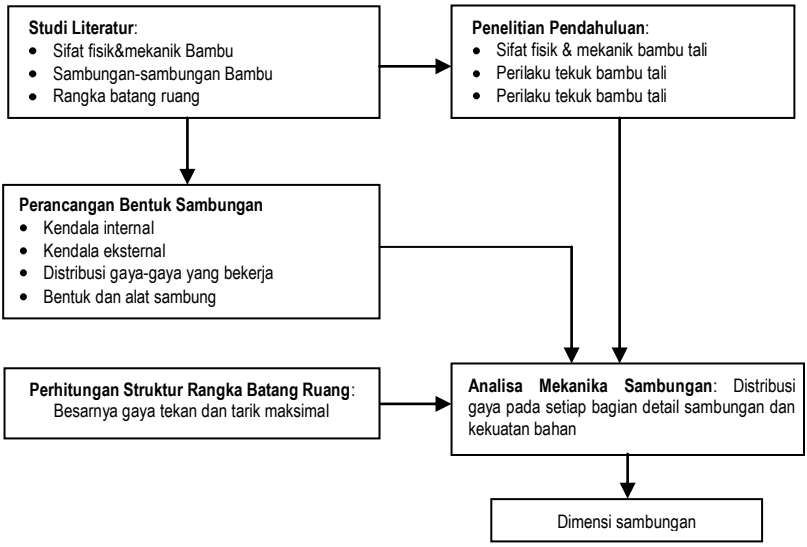
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Keteknikan Kayu, Fakultas Kehutanan, IPB, dari bulan Mei 2005 sampai April 2007.

Bahan

Bahan yang digunakan adalah bambu tali (*Gigantocloa apus* Kurz) berumur 3-4 tahun yang berasal dari daerah Sawangan dengan diameter 4.0-4.5 cm dan 6.0-6.5 cm.

Tahap-Tahap Penelitian

Gambar 1 menyajikan tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian.



Gambar 1. Bagan alir tahapan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Pendahuluan

Sifat-sifat fisik dan mekanik bambu tali

Karena belum ada standar pengujian bambu, baik nasional maupun internasional, pangujian sifat fisik dan mekanik bambu tali dilakukan dengan mengacu pada *Draft ISO: N315. Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo* Jassen (2001). Namun, pengujian kuat geser longitudinal pada bidang tangensial yang dibutuhkan tidak tercantum dalam standar tersebut.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik bambu tali

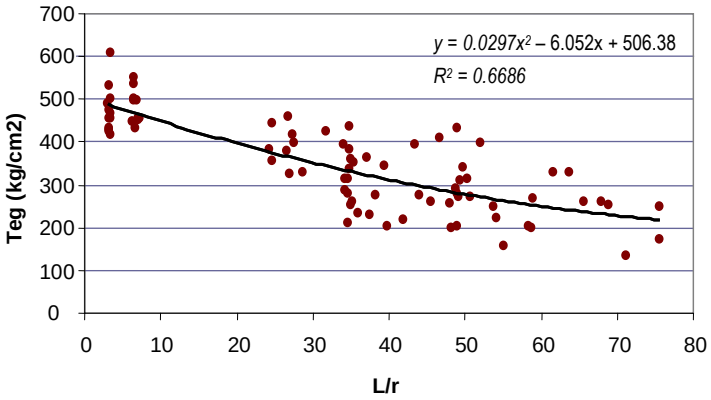
	Hasil penelitian	Nilai yg digunakan (SF=3)	Bentuk sampel
Berat Jenis	0.624505		bilah
Susut tebal KU - KT	4.24%		buluh
Susut lebar KU - KT	3.44%		buluh
M O R	914(kg/cm^2)		bilah
M O E	116.169(kg/cm^2)	116.000 (kg/cm^2)	buluh
Teg Tekan //	373(kg/cm^2)	124(kg/cm^2)	buluh
Teg Tarik //	184(kg/cm^2)	61 ((kg/cm^2)	bilah
Teg geser	3.91 (kg/cm^2)	1,3(kg/cm^2)	bilah

Keterangan: SF = faktor keamanan

Pada pengujian tarik nilai yang diperoleh lebih kecil daripada nilai yang pada umumnya didapatkan. Perbedaan ini terjadi karena sampel yang digunakan mengandung buku, mengingat dalam pemakaiannya sebagai komponen rangka batang ruang, buku tidak dapat dihindari sehingga keberadaannya harus diperhitungkan. Nilai yang akan digunakan dalam perancangan adalah nilai rata-rata hasil penelitian dibagi dengan faktor keamanan (SF) = 3, kecuali nilai MOE (ICBO, 2000).

Perilaku tekuk bambu tali

Berdasarkan pengujian tekan dan tekuk yang dilakukan terhadap bambu dengan berbagai kelangsingan diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Perilaku tekuk bambu tali

Berdasarkan Gambar 2, terlihat adanya *trend* menurun dengan semakin besarnya L/r. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa besarnya gaya tekan yang dapat diterima oleh sebuah batang sangat dipengaruhi oleh kelangsingan batang tersebut. Semakin langsing batang tersebut, makin kecil gaya tekan yang dapat diterima oleh batang tersebut. Angka kelangsingan batang biasa disimbolkan dengan λ yang besarnya sama dengan L/r, dengan L merupakan panjang tekuk dan r adalah jari-jari inersia batang tersebut (Popov, 1984).

Perancangan Bentuk Sambungan

Sambungan merupakan bagian paling kritis dalam suatu struktur karena sambungan harus dapat meneruskan beban. Dalam pembuatan sambungan bambu sebagai komponen rangka batang ruang terdapat beberapa kendala baik internal maupun eksternal yang tidak dapat dihindari.

Kendala internal

(1) Bambu merupakan bahan bangunan yang bersifat anisotropis, dengan sifat mekanik terbaik dalam arah longitudinal. Bambu mempunyi kuat tekan dan kuat tarik yang cukup tinggi, tetapi kuat geser dan kuat belahnya sangat kecil.

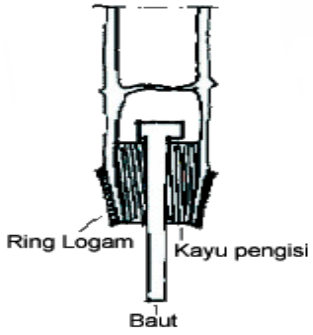
(2) Bentuk bambu yang mendekati bulat dengan lubang di dalamnya mempunyai dimensi tidak seragam, baik diameter, tebal dinding, maupun jarak antarbuku.
(3) Kelurusan bambu terbatas.

Kendala eksternal

(1) Sambungan harus dapat memindahkan gaya yang bekerja kepada buluh bambu, sebagai bagian utama komponen, baik beban tarik maupun tekan yang terjadi.
(2) Masing-masing ujung komponen harus dilangkapi dengan sebuah baut lengkap dengan mur yang dapat berputar bebas yang berfungsi sebagai alat sambung.
(3) Bentuk komponen harus dibuat mengecil (tirus) pada bagian ujung karena pada tiap titik simpul terdapat beberapa komponen yang bergabung pada satu simpul.

Perancangan sambungan bambu untuk rangka batang ruang dilakukan dengan mengembangkan rancangan yang dibuat Duff (Janssen, 1981) seperti Gambar 3 dengan memperhatikan kendala-kendala yang ada. Perencanaan sambungan dilakukan dengan memperhatikan tahap-tahap di bawah ini.

(1) Diameter serta tebal dinding tidak seragam sehingga menyulitkan dalam pembuatan pasak kayu, terutama jika akan digunakan perekat. Untuk mengatasi hal itu, diameter luar dipilih yang mendekati seragam. Sementara bagian dinding sebelah dalam dibubut agar diameter seragam sehingga pasak kayu dapat direkat dengan baik, ke permukaan bambu bagian dalam.
(2) Jarak antarbuku tidak seragam. Untuk itu, sambungan yang direncanakan harus tidak terpengaruh oleh keberadaan buku.
(3) Kuat belah bambu sangat kecil sehingga dalam mengerjakan bagian ujung bambu yang dibuat mengerucut (tirus) diusahakan sesedikit mungkin belah. Selain itu, pada bagian luar perlu dipasang klem bulat yang dibuat dari pipa besi.
(4) Pada masing-masing ujung batang harus dipasang baut yang bebas berputar. Untuk itu baut harus diletakkan pada bagian dalam pasak kayu, yang sudah diberi lubang dengan diameter sedikit lebih besar daripada diameter baut.

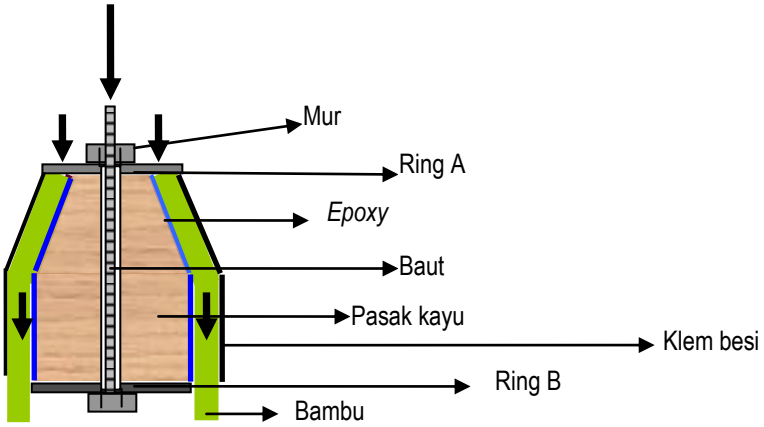


Gambar 3. Sambungan tarik (Janssen, 1981)

Distribusi gaya-gaya yang bekerja pada sambungan

Gaya tekan

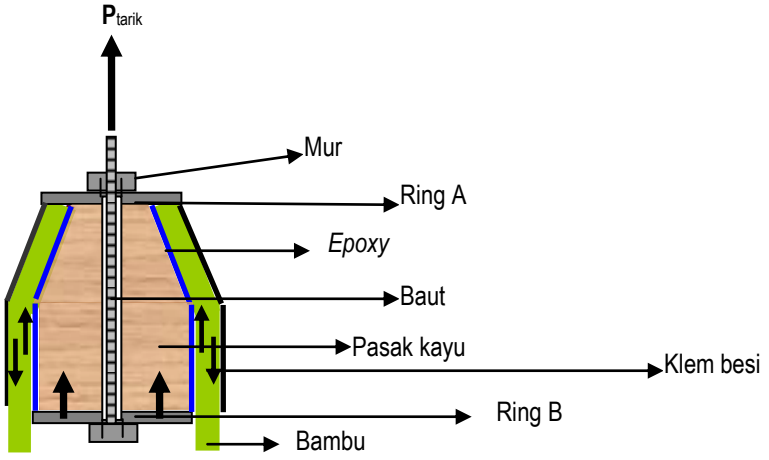
P dari titik sambung mula-mula bekerja pada baut, lalu ke mur. Dari mur gaya dialihkan kepada ring A. Selanjutnya dari ring A gaya diteruskan menjadi gaya tekan yang terbagi rata pada buluh bambu seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Distribusi gaya tekan pada sambungan

Gaya tarik

P dari titik sambung mula-mula bekerja pada baut, lalu oleh ring B gaya diteruskan ke pasak kayu (menjadi gaya tekan). Selanjutnya, melalui perekat *epoxy* gaya tersebut dipindahkan ke buluh bambu menjadi gaya geser seperti pada Gambar 5.

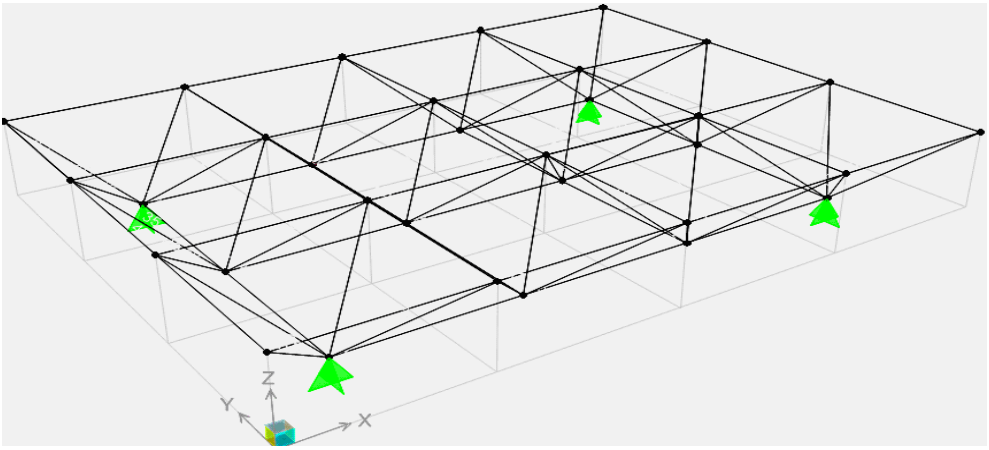


Gambar 5. Distribusi gaya tarik pada sambungan

Analisis Perhitungan Dimensi Sambungan

Perhitungan struktur

Perhitungan struktur dilakukan dengan SAP 2000 untuk rangka atap kanopi berukuran 3 m x 4 meter dengan empat tumpuan; seperti pada Gambar 6. Untuk struktur tersebut dibutuhkan 98 batang yang terdiri dari 31 batang atas, 17 batang bawah, dan 48 batang diagonal, dengan 32 titik buhul.



Gambar 6. Bentuk rangka batang ruang yang direncanakan

Dalam perhitungan struktur tersebut beban yang diperhitungkan adalah sebagai berikut.

Bobot sendiri

Batang	= 4.5 kg.
Joint	= 1 kg.
Penutup atap	= 15 kg/m^2.
Gording	= 3 kg/m^2.
Beban hidup	= 100 kg/m^2

Dengan menentukan panjang batang seragam, yaitu satu meter, diperoleh hasil seperti pada Tabel 2.

Batasan

(1) Baut yang digunakan berdiameter 6 mm, dengan panjang 20 cm, lengkap dengan mur *(hexanut).*

(2) Ring A dan Ring B terbuat dari pelat baja dengan ketebalan 2 mm. Untuk bambu berdiameter (D) 4-4.5 cm digunakan ring berdiameter 2.9 cm dengan lubang 8 mm di tengahnya. Untuk bambu berdiameter (D) 6-6.5 cm digunakan ring berdiameter 4.9 cm dengan lubang berdiameter 8 mm di tengahnya.

(3) Bambu yang berdiameter (D) 4-4.5 cm dibubut pada bagian ujung dalamnya sehingga diameter dalamnya (d) menjadi 3 cm.

(4) Bambu yang berdiameter (D) 6-6.5 cm dibubut pada bagian ujung dalamnya sehingga diameter dalamnya (d) menjadi 5 cm.

(5) Pasak dibuat dari kayu meranti merah (*Shorea* sp.) yang termasuk kelas kuat II ($\overline{\sigma_{tk}}$ = 85 kg/cm^2).

Tabel 2. Besar yang gaya (kg) yang timbul pada masing-masing komponen

No.	Nomor komponen	posisi komponen			Keterangan
		atas	bawah	diagonal	
1	1, 4, 5, 9, 23, 27, 28, 31	+ 30			
2	2, 3, 29, 30	- 50			
3	6, 7, 8, 10, 13, 19, 22, 24, 25, 26	+ 30			
4	11, 12, 20, 21	- 60			
5	14, 15, 17, 18	- 10			
6	16	+ 20			
7	101, 103, 115, 117		- 20		
8	102, 109, 116		+ 50		maksimum tarik
9	104, 105, 1006, 107, 111, 112				
	113, 114		0		
10	108, 110		+ 10		
11	201, 208, 241, 248			- 70	
12	202, 207, 210, 215, 234, 239,				
	242, 247			- 120	maksimum tekan
13	203, 206, 243, 246			+ 50	maksimum tarik
14	204, 205, 244, 245			- 30	
15	209, 216, 233, 240			- 80	
16	211, 214, 235, 238			+ 30	
17	212, 213, 236, 237			- 20	
18	217, 224, 225, 232			+ 10	
19	218, 223, 226, 231			0	
20	219, 222, 227, 230			+ 20	
21	220, 221, 228, 229			- 10	

Keterangan: +: Gaya tarik, -: Gaya tekan

Perhitungan

1. Gaya tekan maksimum (P = 120 kg)
   Kontrol terhadap tekuk:

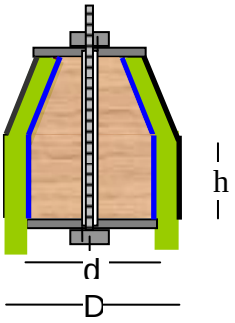
   $\sigma_{tk} = \frac{\omega.P}{A} < \overline{\sigma}_{tk} = 124$ kg/cm^2

2. Gaya tarik maksimum (P = 50 kg)
   a. Kontrol pasak kayu:

   $\sigma_{tk} = \frac{P_{bek}}{A} < \overline{\sigma_{tk}} = 85$ kg/cm^2

   b. Tegangan geser yang bekerja = $\frac{P}{\pi.D.h} \le \overline{\tau_{tg}} = 1.3 kg/cm^2$

Berdasarkan hasil perhitungan, dimensi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.



Keterangan:
σ_{tk} = tegangan tekan (kg/cm^2)
τ = tegangan geser (kg/cm^2)
ω = faktor tekuk
P_{bek} = gaya yang bekerja (kg)
A = luas penampang (cm^2)
D = diameter luar (cm)
d = diameter dalam (cm)
h = tinggi bidang geser (cm)

Gambar 7. Dimensi sambungan

Tabel 3. Dimensi sambungan (hasil perhitungan)

Gaya yang bekerja	Bmbu ϕ 4 cm	Bmbu ϕ 6 cm
Tekan maksimum	d = 3 cm	d =5 cm
Tarik maksimum	h = 5 cm	h = 3 cm

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

(1) Bambu tali dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kanopi prefabrikasi dengan konstruksi rangka batang ruang menggunakan alat sambung baut.
(2) Untuk kanopi sederhana berukuran 3x 4 m dengan empat tumpuan dan panjang masing-masing komponen 100 cm, dapat dipergunakan bambu tali berdiameter 4 cm maupun 6 cm dengan panjang bidang geser berturut-turut 5 cm dan 3 cm.
(3) Dalam perhitungan dimensi sambungan yang dirancang untuk komponen rangka batang ruang, nilai paling kritis adalah pada perhitungan bidang geser karena kuat geser bambu bagian dalam sangat kecil.

Saran

(1) Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan merencanakan bentuk-bentuk dan ukuran kanopi yang berbeda.
(2) Mengingat kecilnya kuat geser tangensial bambu tali, perlu dilakukan penelitian kuat geser pada jenis-jenis bambu lain yang dapat dimanfaatkan untuk konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

[Aachen] RWTH Aachen Univesity.2005. Bamboo at The Institute of Structural Design. http:// bambus.Rwth - aachen.de/eng/3 - structural - design.pdf [23 Desember2005]

Albermani, F., Goh G.Y., and Chan, S.L. 2007. Lightweight bamboo double layer grid system. *Engineering Structures J*. 29(7): 1499-1506.

Dewi, S.M., Priyo, S., dan Wulan, T. 2005. Memberdayakan bambu dengan struktur komposit. Makalah *Seminar Nasional Perkembangan Perbambuan di Indonesia*, Yogyakarta, 17 Januari 2005. Yogyakarta: PSIT UGM, hlm 153-166.

[ICBO] International Conference of Building Officials. 2000. Acceptance criteria for structural bamboo. AC162. California, USA.

Janssen, J.J.A. 1981. Bamboo in Building Structures [doctor of technical science thesis]. Eindhoven, Netherlands: Eindhoven University of Technology.

Janssen, J.J.A. 2001. Draft ISO/TC 165/WG9, Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo.

Morisco. 2005. Rangkuman penelitian bambu di Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) UGM, Makalah *Seminar Nasional Perkembangan Perbambuan di Indonesia*, Yogyakarta, 17 Januari 2005. Yogyakarta: Pusat Studi Ilmu Teknik UGM, hlm 11-22.

Popov, E.P. 1984. *Mekanika Teknik*. Zainul Astamar Tanisan, penerjemah. Judul asli Mechanics of Materials. Jakarta: Erlangga.