

## SAMBUNGAN BAMBU DENGAN CELAH DAN PENGISI

Morisco<sup>1</sup>

### ABSTRACT

*The growth of human population and its prosperity are bound to cause even greater demand on timber for housing. In the process, serious problems of overexploitation and destruction of tropical forest may occur. In order to protect forest from degradation and shrinkage, one needs to search for substitute materials for timber. Bamboos grow rapidly, can be cultivated easily, have good mechanical properties and can be preserved employing simple techniques. However, bamboo joining has posed structural problems. It is often accomplished using conventional methods with pins and ropes, resulting in very weak joints. The use of bamboo as substitute material for timber is limited only because of lack of knowledge on how to make strong joints.*

*Research has been conducted experimentally to improve the method of joining bamboo with timber filling developed by Morisco and Mardjono (1996). Less epoxy has been used to reduce the cost, and steel clamps have been employed temporarily to strengthen the joint.*

*Results of the research show that the new method can reduce cost of the joint materials by 48 %, even strengthen the joints significantly. The optimum ratio of bolt and bamboo diameter can be concluded theoretically.*

### PENDAHULUAN

Perkembangan jumlah penduduk mengakibatkan naiknya kebutuhan perumahan, yang juga berarti meningkatnya kebutuhan kayu perumahan. Ditambah lagi kebutuhan kayu sebagai komoditi ekspor untuk menghasilkan devisa, maka penebangan pohon-pohon kayu ini dapat membahayakan kelestarian hutan. Untuk melestarikan hutan, kiranya perlu dicari bahan bangunan lain sebagai pengganti kayu.

Dengan memperhatikan kekuatan bambu yang tinggi, serta bambu dengan kualitas baik dapat diperoleh pada umur hanya 3—5 tahun, bambu mudah ditanam, tidak memerlukan pemeliharaan secara khusus, mempunyai ketahanan sangat tinggi terhadap gangguan, rumpun yang sudah dibakarpun masih dapat tumbuh lagi, maka bambu mempunyai peluang yang besar untuk menggantikan kayu yang baru siap tebang setelah berumur sekitar 50 tahun.

Bambu berbentuk pipa sehingga momen kelembabannya tinggi tetapi ringan. Kuat tarik bambu dapat mencapai 350 Mpa dapat dipersaingkan dengan baja, ditambah dengan sifat lenturnya bangunan dari bambu mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap gempa.

Bambu mempunyai bentuk yang artistik sehingga jika dipakai sebagai bahan bangunan dapat menghasilkan bangunan yang bernilai seni tinggi. Dengan kemajuan teknologi, bambu dapat diawetkan dengan cara sederhana, namun mampu bertahan lebih dari 20 tahun (Liese, 1980; Sulthoni, 1990; Morisco, 1999).

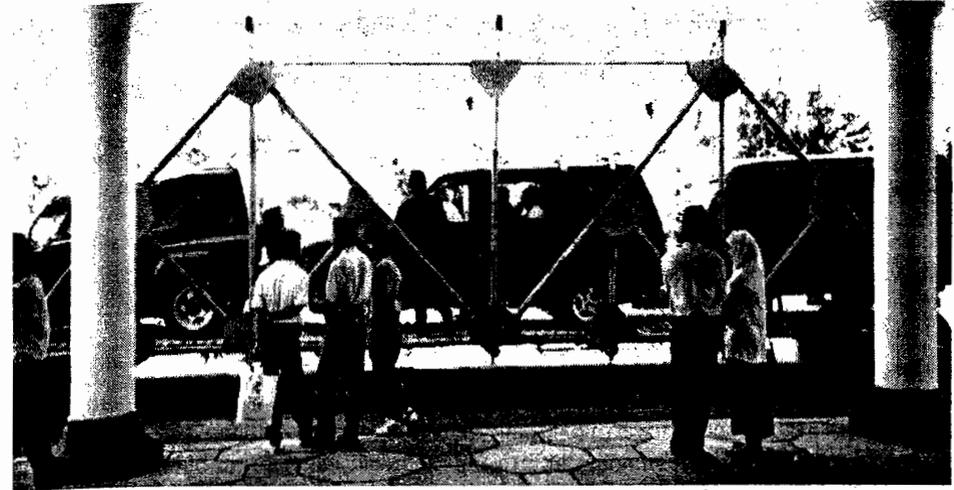
Bambu yang mempunyai kuat tarik tinggi ini, sampai saat ini di Indonesia hanya dipakai untuk struktur yang ringan saja. Hal ini karena pemakaian bambu seringkali didasarkan pada pengalaman nenek moyang. Perangkaian batang-batang struktur bambu dilakukan secara konvensional menggunakan tali atau pasak. Sebagai akibat penyusutan bahan, ikatan tali/pasak menjadi kendur, sehingga struktur akan mengalami perubahan bentuk yang cukup besar, dan kekuatannya pun merosot. Oleh karena itu sambungan perlu disetel secara berkala. Kekuatan sambungan dengan tali ini tidak dapat dihitung secara eksak, sehingga sambungan sulit dipertanggung jawabkan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan cara hitungan dan cara perangkaian batang-batang struktur bambu yang dikembangkan oleh Morisco dan Mardjono (1996), sehingga sambungan lebih kuat, ekonomis, dan mantap.

## KAJIAN PUSTAKA

Dalam rangka mencari cara perangkaian batang-batang bambu yang baik, Mishra (1990) melakukan eksperimen sambungan bambu memakai pelat buhul dari kayu dan baut. Sebagai hasil penelitian ini, direkomendasikan pemakaian pelat buhul dari kayu dengan tebal 25 mm. Lebih lanjut disarankan pula agar kayu pelat buhul mempunyai kuat tumpu minimal 60 Mpa. Kekuatan sambungan itu tidak begitu tinggi karena kuat geser bambu sejajar serat sangat rendah.

Upaya yang sama telah dilakukan oleh Morisco dan Mardjono (1996). Penelitian dilakukan secara eksperimental. Diawali dengan pengujian sifat mekanik bambu pada beberapa macam keadaan, penelitian dilanjutkan dengan uji coba kekuatan sambungan bambu dengan pengisi beton dan kayu. Dalam penelitian itu, diuji beberapa model sambungan bambu dengan dua baut berdiameter netto 13 mm, tegangan leleh baut 540 Mpa, diameter bambu berkisar antara 67 – 110 mm, ketebalan bambu antara 6,5 – 14 mm, dan kekuatan sambungan berkisar antara 52,5 – 87,5 KN. Kekuatan sambungan yang tinggi ini telah didemonstrasikan pada jembatan bambu dengan bentang 12 m. Struktur rangka dari bambu berdiameter sekitar tujuh sentimeter, mampu dibebani dengan tiga mobil (Gambar 1). Sekalipun penelitian itu sudah berhasil mengembangkan cara penyambungan bambu dengan kekuatan tinggi, namun pemakaian *epoxy* yang berfungsi sebagai pengisi rongga dan perekat antara bambu dengan kayu cukup banyak dan mengakibatkan sambungan itu menjadi mahal. Hasil eksperimen menunjukkan kualitas sambungan yang kurang konsisten, ditandai dengan nilai R yang sangat rendah dan regresi kekuatan sambungan hasil eksperimen. Lebih lanjut, kekuatan sambungan yang sudah tinggi itu masih perlu ditingkatkan lagi agar kekuatan tarik bambu dapat dimanfaatkan sepenuhnya.



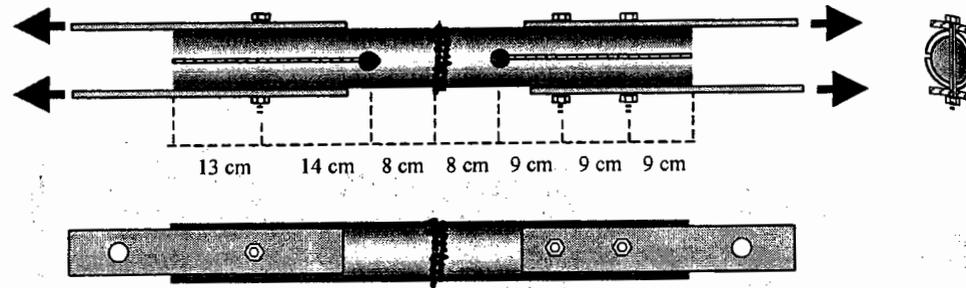
Gambar 1. Jembatan bambu bentang 12 m

## LANDASAN TEORI

Mengingat bambu sangat lemah terhadap geser, maka perlu diupayakan agar gaya yang disalurkan lewat alat sambung itu tidak sepenuhnya dipikul oleh kekuatan geser. Untuk itu rongga bambu pada sambungan diisi dengan bahan lain yang dapat menjadi satu kesatuan dengan bambu, sehingga merupakan struktur komposit. Gaya yang disalurkan oleh baut akan dilawan secara komposit dan hanya sebagian kecil gaya menimbulkan tegangan geser pada bambu.

Sebagai struktur komposit maka pengisi yang dipakai harus mempunyai hubungan yang erat dengan bambu bagian dalam. Alternatif pertama, pengisi rongga bambu berupa kayu yang direkatkan pada sisi dalam bambu dengan *epoxy*. Agar kekuatan sambungan dapat tinggi maka penyambungan memakai *epoxy* harus dilakukan pada bambu dan kayu yang sudah kering. Pemilihan *epoxy* sebagai perekat ini didasarkan pada sifat *epoxy* yang tahan air sehingga rekatannya tidak lepas karena basah. Berdasarkan teori kohesi yang berkaitan dengan perekatan, maka antara dua permukaan yang direkatkan ada lapisan perekat yang perlu diusahakan setipis mungkin. Idealnya lapisan perekat ini hanya setebal satu molekul. Lapisan perekat yang tipis dapat diperoleh dengan pengempaan antara kedua komponen yang direkatkan.

Dengan memperhatikan Gambar 2 dan memakai notasi diameter bambu  $d_1$ , diameter baut  $d_2$ , tebal bambu  $t_1$ , tebal pelat baja  $t_2$ , lebar celah bambu  $t_3$ , kuat tumpu kayu pengisi  $f_k$ , kuat tumpu bambu sejajar serat  $f_b$ , kuat tumpu baja  $f_s$ , tegangan leleh baja  $f_y$ , dan kuat geser baja  $f_v$ , maka penjabaran persamaan-persamaan kekuatan sambungan dapat dinyatakan dengan Persamaan 1 sampai dengan Persamaan 4 (Morisco dan Mardjono,



Gambar 2. Sampel sambungan bambu dengan pengisi kayu

Kegagalan sambungan dapat terjadi jika tegangan tumpu yang terjadi antara baut dengan bambu serta pengisinya melampaui batas, sehingga kekuatan  $P_1$  dapat dihitung dengan Persamaan 1. Jika tegangan tumpu yang melewati batas itu timbul antara baut dan pelat buhul, maka kekuatan  $P_2$  dapat dihitung dengan Persamaan 2.

$$P_1 = (d_1 - 2t_1) d_2 f_c + 2 t_1 d_2 f_b \quad (1)$$

$$P_2 = 2 t_2 d_2 f_s \quad (2)$$

Kegagalan sambungan dapat juga terjadi jika tegangan lentur baut melampaui batas, sehingga pada baut terjadi momen plastis dengan ujung-ujung terjepit sempurna, dan kekuatan sambungan dapat dinyatakan dengan Persamaan 3. Kemungkinan kegagalan baut yang lain disebabkan oleh tegangan geser baut yang berlebihan, sehingga kekuatan  $P_4$  dapat diperoleh dari Persamaan 4.

$$P_3 = \frac{8d_2^3 f_y}{3d_1} \quad (3)$$

$$P_4 = (2) (0,25) (\pi) d_2^2 f_v \quad (4)$$

Kekuatan sambungan dengan satu baut yang didasarkan pada teori kuat batas adalah nilai terkecil dari  $P_1$  sampai dengan  $P_4$ . Kekuatan sambungan tersebut, untuk perancangan perlu dibagi dengan faktor aman.

## CARA PENELITIAN

### Bahan

Penelitian dilakukan dengan bambu Wulung, karena bambu jenis ini mempunyai sifat lurus, diameternya berkisar antara 60 – 80 mm, sedang jarak antara ruas cukup besar, sehingga cukup ideal untuk rangka kuda-kuda. Sebagai pengisi dipilih kayu kamfer, suatu jenis kayu Kalimantan yang tidak begitu keras sehingga mudah dikerjakan. Baut dibeli dari sebarang toko bahan bangunan, untuk mengantisipasi kemudahan aplikasi di kalangan masyarakat. Sebagai bahan perekat antara bambu dan kayu dipakai

## Cara Pembuatan Sampel

Berbeda dari cara Morisco dan Mardjono (1996), pada penelitian ini *epoxy* hanya dipakai sebagai perekat. Dengan memperhatikan Gambar 2, cara pembuatan sampel untuk pengujian kekuatan sambungan adalah sebagai berikut:

- Bambu yang sudah kering dipotong-potong masing-masing panjangnya 70 cm, dengan satu buku tepat ditengah.
- Selaput dalam bambu dibersihkan dari kotoran atau serbuk yang dapat mengganggu proses perekatan antara bambu dan kayu pengisi.
- Pada jarak 8 cm dari buku, memakai bor dibuat lubang dengan diameter 6 mm, disusul dengan pembuatan celah selebar 4 mm, dari lubang sampai ujung bambu.
- Kayu pengisi dalam keadaan kering dipersiapkan dengan diameter hampir sama dengan diameter dalam bambu, panjang 27 cm, permukaannya dibersihkan dengan sikat kawat.
- Epoxy* diaduk dengan cairan pengeras dengan porsi yang tepat, sehingga *epoxy* tidak cepat mengeras untuk memberi kesempatan pengerjaan secukupnya. Untuk mengetahui porsi yang tepat perlu dilakukan beberapa kali percobaan, karena hal itu dipengaruhi kadar lengas, suhu, serta kondisi tempat kerja.
- Permukaan bambu dan kayu pengisi yang sudah dikasarkan diolesi *epoxy* secukupnya. Usahakan agar bambu dan kayu pengisi cukup kenyang menyerap *epoxy*, dan permukaannya tetap basah dengan *epoxy*.
- Kayu pengisi dimasukkan kedalam bambu dan kelem-kelem dipasang melingkari bambu pada jarak sekitar 8 cm. Selanjutnya sampel tidak diusik dalam 24 jam.
- Secara terpisah pelat baja dapat dipotong dan dilubangi sesuai rencana (Gambar 2).
- Pembuatan lubang dengan bor pada bambu dilakukan setelah diyakini bahwa *epoxy* telah cukup keras. Pengeboran dilakukan pada keadaan kelem masih terpasang, diawali dengan mata bor yang kecil. Setelah lubang tembus, pengeboran dilanjutkan dengan mata bor yang diameternya sesuai. Agar diperoleh presisi yang tinggi, maka pelat penyambung dipakai sebagai mal pada saat pembuatan lubang-lubang pada bambu.
- Kelem yang dipakai untuk membantu proses perekatan antara bambu dengan kayu pengisi dilepas, karena dalam praktek kalau kelem itu dibiarkan terpasang akan mengakibatkan sambungan menjadi lebih mahal.
- Bambu, pelat penyambung, dan baut dirangkaikan. Jumlah baut yang dipasang adalah dua buah pada satu sisi, sedang pada sisi yang lain dipasang satu buah, agar pengamatan kegagalan dapat difokuskan pada bagian terlemah.

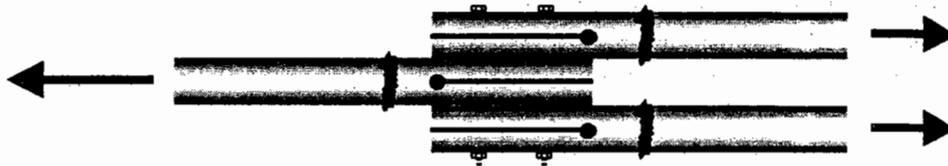
## Cara Pengujian

- Pengujian bahan meliputi kuat tarik baut, kuat tekan bambu, dan kuat tekan kayu pengisi, memakai *universal testing machine* United model SFM-30 berkapasitas 136 kN.

- b. Pengujian kuat tekan kayu mengikuti *British Standard*, pengujian kuat tarik bambu mengikuti ASTM, sedang pengujian kuat tekan bambu sesuai anjuran Ghavami (1990).
- c. Pengujian kuat tarik sambungan dilakukan dengan rangka pembebanan dari baja dongkrak hidrolik berkapasitas 150 KN, dilengkapi dengan *load cell* dan *transducer*.
- d. Keruntuhan ditandai oleh lendutan yang membesar, dengan beban tetap atau mengecil.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pelaksanaan pembuatan spesimen, satu kilogram *epoxy* dapat dipakai untuk perekatan enam kayu pengisi pada sambungan bambu, sedang pada cara Morisco dan Mardjono (1996) dengan berat *epoxy* yang sama hanya dapat dipenuhi kebutuhan dua pengisi, sehingga kebutuhan *epoxy* cara baru hanya 33%. Untuk memberi gambaran lebih lengkap, berikut ini disajikan analisis kebutuhan sambungan sesuai Gambar 3, dengan diameter nominal baut 16 mm.



Gambar 3. Sambungan bambu dengan dua baut

#### Cara lama:

baut lengkap dengan mur 2 @ Rp 3.500,-	= Rp 7.000,-
kayu pengisi 3 @ Rp 500,-	= Rp 1.500,-
<i>epoxy</i> 3 x 0,5 kg @ 15.000,-	= Rp 22.500,-
<b>Total</b>	<b>= Rp 31.000,-</b>

#### Cara baru:

baut lengkap dengan mur 2 @ Rp 3.500,-	= Rp 7.000,-
kayu pengisi 3 @ Rp 500,-	= Rp 1.500,-
<i>epoxy</i> 3 x 0,167 kg @ 15.000,-	= Rp 7.500,-
<b>Total</b>	<b>= Rp 16.000,-</b>

Berdasarkan analisis tersebut, dengan cara baru biaya penyambungan menjadi 52 % dari cara lama, sehingga diperoleh penghematan 48 %, dalam hal ini upah pekerja belum

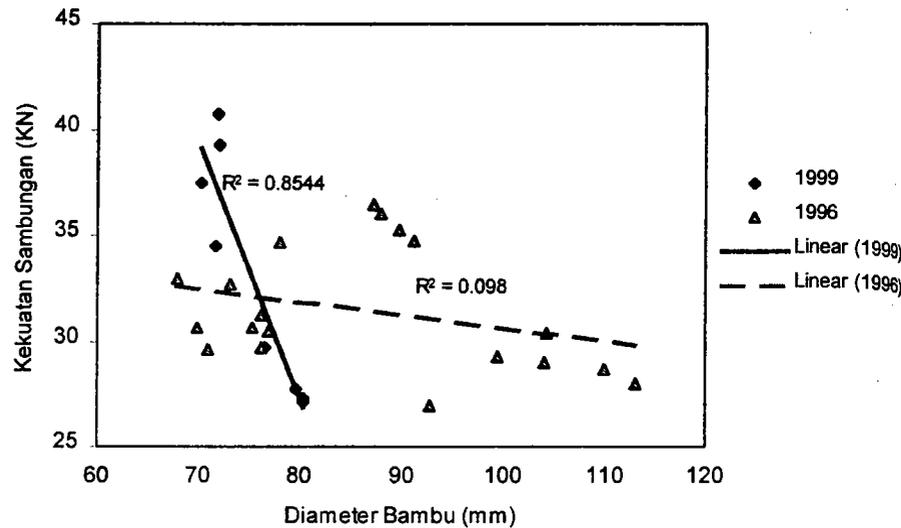
Dari pengukuran dan pengujian bahan diperoleh diameter netto baut 11 mm, tegangan leleh baut 634 Mpa, kuat tekan bambu 42,07 Mpa, kuat tekan kayu pengisi 43,1 Mpa, sedang diameter dan tebal bambu dicantumkan pada Tabel 1. Dalam pengujian ini dipakai tebal pelat baja yang berlebihan yaitu 10 mm dengan harapan agar kegagalan tidak terjadi pada pelat penyambung. Selanjutnya kekuatan sambungan berdasarkan teori dinyatakan dengan  $P_1$  sampai dengan  $P_4$ , dihitung dengan Persamaan 1 sampai dengan Persamaan 4, dan disajikan pada Tabel 1. Pada tabel yang sama juga diperlihatkan kekuatan sampel berdasarkan hasil eksperimen.

Dari Tabel 1 tampak bahwa berdasarkan teori, kekuatan sambungan yang paling menentukan adalah kekuatan yang diperoleh dari Persamaan 3. Dengan demikian kegagalan sambungan terjadi sebagai akibat dari momen lentur baut. Berdasarkan Persamaan 3, maka yang berpengaruh pada kekuatan adalah diameter bambu, diameter dan tegangan leleh baut. Dengan kata lain sifat mekanik bahan pengisi sama sekali tidak berpengaruh.

Tabel 1 Kekuatan sambungan bambu

D (mm)	T (mm)	Kekuatan teoritis (KN)				Kekuatan eksperimen- mental (KN)	Teori ----- eksperimen
		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$		
80,4	5,9	38,142	139,660	<b>28,024</b>	72,395	<b>27,300</b>	0,974
71,7	6,4	33,984	139,660	<b>31,425</b>	72,395	<b>34,460</b>	1,097
76,6	5,7	36,337	139,660	<b>29,415</b>	72,395	<b>29,660</b>	1,008
79,7	8,3	37,743	139,660	<b>28,269</b>	72,395	<b>27,740</b>	0,981
72,1	7,3	34,150	139,660	<b>31,250</b>	72,395	<b>39,280</b>	1,257
71,9	7,7	34,043	139,660	<b>31,337</b>	72,395	<b>40,700</b>	1,299
70,3	7,2	33,295	139,660	<b>32,051</b>	72,395	<b>37,460</b>	1,168
80,3	7,3	38,294	139,660	<b>27,885</b>	72,395	<b>27,160</b>	0,974

Untuk mengetahui peningkatan kekuatan sambungan dengan cara baru ini terhadap cara Morisco dan Mardjono (1996), maka kekuatan sambungan dengan satu baut dari kedua hasil eksperimen tersebut dibandingkan pada Gambar 4. Dalam eksperimen Morisco dan Mardjono spesimen sambungan memakai dua baut berdiameter netto 13 mm, sehingga dapat dianggap bahwa kekuatan sambungan dengan satu baut adalah setengahnya.



Gambar 4. Perbandingan hasil eksperimen

Dari Persamaan 3 terlihat bahwa kekuatan sambungan berbanding terbalik dengan diameter bambu, oleh karena itu regresi hasil eksperimen kekuatan sambungan dilakukan secara linier, dan diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,854, sedang cara lama menghasilkan  $R^2$  sebesar 0,098. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa hasil eksperimen baru mempunyai akurasi cukup, sedang hasil eksperimen lama akurasinya sangat rendah.

Sekalipun eksperimen penelitian ini memakai diameter netto baut 11 mm, sedang eksperimen Morisco dan Mardjono (1999) memakai baut diameter netto 13 mm, tetapi hasil eksperimen menunjukkan bahwa kekuatan rata-rata sambungan cara baru sedikit lebih tinggi daripada sambungan cara lama.

Berdasarkan Persamaan 1 semakin besar diameter bambu, semakin besar pula  $P_1$ , sedang menurut Persamaan 3 semakin besar diameter bambu semakin kecil  $P_3$ . Diameter baut yang menghasilkan  $P_1$  sama dengan  $P_3$  ini dapat dinyatakan dengan  $d_0$  yang dapat diperoleh dari Persamaan 5.

$$d_0 = \sqrt{\frac{3d_1[(d_1 - 2t_1) + 2t_1f_b]}{8f_y}} \quad (5)$$

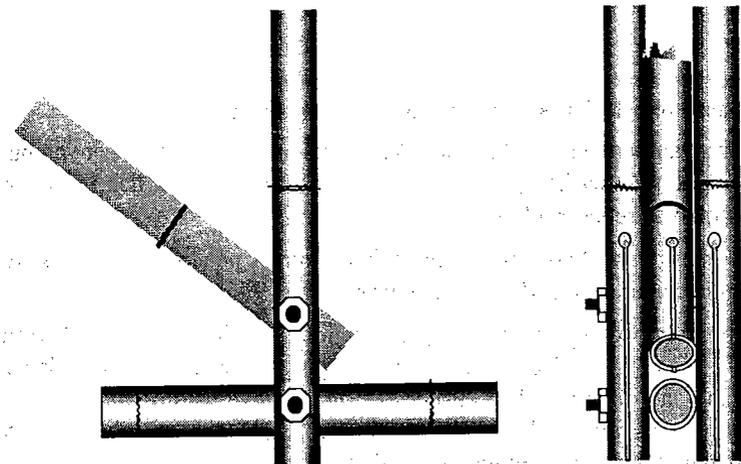
Apabila diameter baut lebih kecil dari  $d_0$ , maka  $P_3$  menentukan, sedang kebalikannya berarti  $P_1$  yang menentukan. Dengan bahan yang dipakai pada eksperimen ini, maka hubungan antara diameter netto baut dengan diameter bambu yang optimum dapat dilihat pada Tabel 2. Pemakaian bambu dengan diameter yang lebih besar dari diameter optimum tidak hanya menimbulkan pemborosan, tetapi juga mengakibatkan kekuatan

Tabel 2. Diameter bambu dan baut yang optimum jika tegangan leleh baut  $f_y = 634$  Mpa, kuat tekan bambu  $f_b = 42,07$  Mpa, dan kuat tekan kayu pengisi  $f_k = 43,1$  Mpa

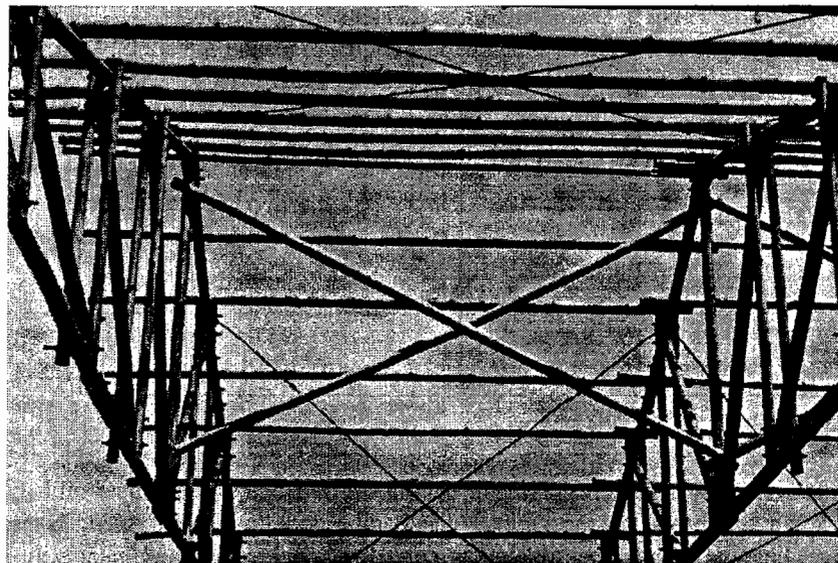
Diameter netto baut (mm)	Diameter bambu (mm)
11	70,0
12	77,5
13	82,5
14	90,0
15	95,0
16	102,5

APLIKASI

Contoh aplikasi cara penyambungan bambu ini pada kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6, batang vertikal dari bambu dobel mengagip batang horisontal dan batang diagonal. Pendekatan dilakukan dengan perangkaián batang-batang itu tidak bertemu pada satu titik.



Gambar 5. Contoh sambungan tipikal



Gambar 6. Contoh kuda-kuda bambu bentang 12 m

## KESIMPULAN

Dari pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut ini:

- Jika diperbandingkan dengan cara Morisco dan Mardjono (1996), cara penyambungan yang baru ini dapat memberikan penghematan *epoxy* sampai 67 %, dan penghematan biaya sambungan total sebesar 48 %.
- Cara penyambungan yang baru ini menghasilkan akurasi pelaksanaan dan kekuatan yang lebih tinggi daripada cara Morisco dan Mardjono (1996).
- Kekuatan sambungan pada spesimen yang diuji cenderung ditentukan oleh Persamaan 3, berarti bahwa kegagalan terjadi sebagai akibat tegangan lentur pada baut, dan untuk komposisi bahan yang dipakai dalam eksperimen ini, dengan baut berdiameter 11 mm pemakaian diameter bambu lebih besar dari 70 mm tidak hanya memboroskan tetapi juga mengakibatkan kekuatan sambungan menjadi turun.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Teknisi Laboratorium Teknik Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM serta Teknisi Laboratorium Mekanika Bahan PAU Ilmu Teknik UGM yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ghavami, K., 1990, Application of Bamboo as a Low-cost Construction Material: 270-279. In Rao, I.V.R., Gnanaharan, R. & Shastry, C.B., *Bamboos Current Research*, The Kerala Forest Research Institute - India, and IDRC Canada.
- Liese, W., 1980, Preservation of Bamboo: 165-172. In Lessard, G. & Chouinard, A., *Bamboo Research in Asia*, IDRC, Canada.
- Mishra, H.N., 1990, Know How of Bamboo House Construction: 242-249. In Rao, I.V.R., Gnanaharan, R. & Shastry, C.B., *Bamboos Current Research*, The Kerala Forest Research Institute - India, and IDRC Canada.
- Morisco, and Mardjono, F., 1996, Strength of Filled Bamboo Joint : 113-120. In Rao, I.V.R., Shastry, C.B., Ganapathy, P.M. and Janssen, *Bamboo, People and the Environment*, Volume 3, Engineering and Utilization, INBAR, EBF, Government of the Netherlands, IPGRI, IDRC.
- Morisco, 1999, Pengembangan Metoda Boucherie Untuk Pengawetan Bambu, *Media Teknik*, No. 1 Tahun XXI Edisi Februari, pp. 46—49, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Sulthoni, A., 1988, Suatu Kajian Tentang Pengawetan Bambu Secara Tradisional Untuk Mencegah Serangan Bubuk. Disertasi Doktor Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

MILIK  
PT. PERTAMINA