

## KUAT TEKAN BAMBU LAMINASI DAN APLIKASINYA PADA RUMAH TRADISIONAL BALI (BALE DAJE/BANDUNG)

I.G.L. Bagus Eratodi<sup>1)</sup>, Morisco<sup>2)</sup>, T.A. Prayitno<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Universitas Pendidikan Nasional Denpasar, Jalan Tukad Yeh Aya No. 15 Panjer Denpasar

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

<sup>3)</sup> Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada

### ABSTRACT

*Building material technological development recently is very fast, and in every technological innovation creation, it's inspired by some of the main purpose, such as: cost efficiency, material use optimization, conservation and development of natural material, smart building material technology and ecologically friendly. Lamination bamboo technology is a product that can act as substitution material of wood that can be customized with the need. In the effort to support the innovation of lamination bamboo as a wood substitution in Balinese traditional building, the characteristic mechanics of lamination bamboo as column in supporting axial loading should be known.*

*Lamination bamboo for the experimnt was made in the form of column with two kind of longitudinal section dimension, size 20x20 mm with slenderness value ( $\lambda$ ) of 50, 75, 100, 125, and 150, and size 120x120 mm with the length of 2400 mm (as the dimension in Balinese traditional building). The bamboo used were petung bamboo made of blade about 5x20 mm attached to glue of Urea Formaldehyde (UF) and pressed with a pressure of 2,0 MPa. The research stage was physical property test and the mechanic of petung bamboo material, and continued with a process of making the lamination bamboo column and carving. Pressure axial loading for testing of column the lamination bamboo used hinge placement bamboo until maximum loading, big deformation and not until collapse.*

*The technological innovation of lamination bamboo was able to increased the pressure strength of blade until 36,02% compared to the bamboo material used. The role of glue and pressing given a substantial contribution on pressure strength of lamination bamboo, so besides having a capability to be made with dimension and form us want, lamination bamboo also had high pressure strength. Lamination bamboo pressure strength of petung bamboo in variety of slenderness had pressure strength less with the higher slenderness. The pressure voltage in the smallest slenderness,  $\lambda=50$  is 60,093 MPa until the blade with the highest slenderness,  $\lambda=150$  is 12,946 MPa while for the plain and carved structural model they were 25,578 MPa and 23,529 MPa respectively. The formula of proposal in column pressure strength modeling of lamination bamboo material for  $\lambda < \lambda_b$ ,  $\sigma_{tk} = \sigma_d [1 - 0.4\lambda_r^2]$  and  $\lambda > \lambda_b$ ,  $\sigma_{tk} = (\pi^2 E) / \lambda_r^2$ . The treatment of carving in structural lamination bamboo column weakens the support to average axial load of 41,15% and the decrease of average pressure voltage of 8,009%.*

**KEYWORDS:** lamination bamboo, pressure strength and slenderness

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Kegiatan pembangunan yang berkesinambungan berpengaruh terhadap ketersediaan bahan bangunan, dimana bahan bangunan yang masih paling dominan digunakan adalah bahan alami. Bahan alami ini merupakan bahan yang disediakan oleh alam semesta, seperti hutan menghasilkan

kayu. Pemanfaatan bahan alami ini tidak diimbangi dengan usaha reboisasi atau peremajaan bahan alami tersebut. Kita saat ini sudah sangat merasakan terjadinya kesulitan dalam menemukan suatu bahan alami dengan kualitas baik dan dimensi yang sesuai kebutuhan. Bahan alami itu salah satunya adalah kayu, ada beberapa jenis kayu tertentu yang paling laku atau banyak digunakan sebagai bahan bangunan belakangan ini

sangat sulit ditemukan dimensi kayu utuh yang agak besar.

Bangunan tradisional Bali adalah salah satu bangunan yang banyak menggunakan kayu sebagai bahan utama. Pemanfaatan kayu pada bangunan tradisional Bali terutama pada konstruksi utama dan atap, mulai dari tiang atau kolom, balok, batang-batang pengaku, alat paku pasak, kuda-kuda, kasau sampai dengan reng. (Sabha Arsitektur, 1984). Teknologi bahan bangunan sebagai alternatif pengganti bahan kayu adalah inovasi bambu laminasi. Bambu Laminasi dapat memenuhi berbagai jenis dimensi kayu yang disesuaikan dengan kebutuhan. Melalui banyak riset yang telah dilakukan oleh peneliti terutama dari dosen MTBB Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, banyak hal yang dapat dilakukan dan dipenuhi oleh bambu laminasi sebagai bahan bangunan.

#### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar kekuatan tekan bambu laminasi terhadap beban tekan aksial pada berbagai kelangsingan ( $\lambda = 50, 75, 100, 125$  dan  $150$ ), hubungan/korelasi antara kelangsingan dengan kekuatan batang tekan, pengaruh dan perlemahan akibat perlakuan pengukiran pada kolom bambu laminasi dan nantinya sebagai referensi pemanfaatan bambu laminasi untuk bangunan ukir tradisional Bali.

#### Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi baru tentang teori tekuk pada bambu laminasi akibat gaya tekan aksial dan aplikasinya pada bangunan tradisional Bali. Hasil penelitian ini nantinya dapat menjadikan alasan kuat penggunaan bahan bambu laminasi sebagai bahan alternatif pengganti bahan alami kayu terutama sebagai kolom yang mampu menahan beban tekan aksial.

#### Ruang Lingkup Penelitian

Pelaksanaan dan pengkajian penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Bambu yang digunakan adalah Bambu Petung (*Dendrocalamus Sp.*),

2. Bahan Perekat Bambu adalah *Urea Formaldehida*,
3. Dimensi tampang bilah bambu yang digunakan  $20 \times 5$  mm,
4. Tekanan kempa yang digunakan 2 MPa, berat sendiri diabaikan,
5. Dimensi penampang kolom bambu laminasi  $20 \times 20$  mm dengan panjang sesuai nilai kelangsingan 50, 75, 100, 125 dan 150,
6. Dimensi penampang kolom bambu laminasi  $120 \times 120$  mm panjang 2400 mm, sebagai kolom struktural rumah tradisional Bali,
7. Pembebanan dilakukan secara statik, berupa uji tekan.

#### TINJAUAN PUSTAKA

##### Perencanaan Bangunan Tradisional Bali

Dalam perwujudan Tata Bangunan Arsitektur Bali, didalamnya merinci berbagai hal tentang pengaturan rumah mulai dari denah bangunan, struktur bangunan, tiang (kolom) bangunan, lantai bangunan, dinding bangunan, atap bangunan sampai dengan interior (tata ruang dalam). Tiang bangunan, sebagai pendukung bangunan diusahakan sedapat-dapatnya pertemuan yang menyatu dan kaku dengan balok penghubung satu tiang dengan tiang lainnya sebagai unsur bagian atas bangunan yang menumpu diatas pondasi. Bahan bangunan disesuaikan dengan perkembangan teknologi bangunan dengan pengolahan dan penyelesaian sebagaimana mestinya dan ukuran tiap bagian konstruksi mengikuti faedah *Asta Kosala Kosali* (aturan dimensi pada bangunan tradisional Bali), (Sabha Arsitektur, 1984)

##### Batang Tekan

Batang tekan adalah elemen struktur yang mendukung gaya tekan aksial. Pada Struktur rangka batang dapat berupa batang tepi, batang diagonal, batang vertikal, dan batang-batang pengekang/pengaku (*bracing*). Struktur batang sesungguhnya jarang dijumpai batang yang benar-benar hanya mendukung gaya aksial. Umumnya pada batang tekan bekerja juga gaya-gaya lain misalnya momen lentur, gaya lintang, dan torsi. Analisis kekuatan batang tekan relatif lebih rumit

jika dibandingkan dengan kekuatan batang tarik, mengingat pada batang tekan tegangan batas dipengaruhi oleh kelangsingannya, sedangkan pada batang tarik tegangan batas konstan. (Morisco, 1990)

### Kolom Ukir

Konstruksi bangunan tradisional Bali memiliki bentuk struktur yang sama dengan konstruksi bangunan lainnya. Aplikasi tentang posisi dan penggunaan struktur memiliki faedah dan fungsi sebagaimana teori struktur bangunan sipil. Perletakan menggunakan sistem sendi, struktur utama berupa kolom, balok dan kap (kuda-kuda), dinding hanya sebagai pemisah ruang dan posisinya tidak menyatu dengan struktur.

Kolom berfungsi menahan beban aksial vertikal dari beban di atasnya, ukiran yang diterapkan pada balok, batang pengaku dan kolom diawali dengan pengupasan (*kupak*) pada bagian tertentu sehingga bagian ini akan memiliki luas penampang yang lebih kecil dari bahan dasar. Tahap berikutnya dilanjutkan dengan pemahatan (pengukiran) yang dilakukan di tiap bagian sesuai filosofi yang tertuang pada *Asta Kosala Kosali* dan seni masing-masing daerah .

### Bambu petung

Bambu petung mempunyai nama *Denrocalamus asper* amat kuat, dengan jarak ruas pendek, tetapi dengan dinding yang tebal sehingga tidak begitu liat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Morisco (1999) kekuatan tekan rata-rata dalam keadaan kering oven bambu adalah 2.769 kg/cm<sup>2</sup> (pangkal), 4.089 kg/cm<sup>2</sup> (tengah) dan 5.479 kg/cm<sup>2</sup> (ujung). Bambu petung biasa dipakai sebagai elemen tekan (kolom) karena kemampuan menahan tekuk tinggi.

### Bambu laminasi

Teknologi bambu laminasi pada awalnya didasari oleh pemikiran dari balok *glulam*. Balok *glulam* dibuat dari lapisan-lapisan kayu yang relatif tipis yang dapat digabungkan dan direkatkan sedemikian rupa untuk menghasilkan balok kayu dalam berbagai ukuran dan panjang (Breyer, 1988).

Laminasi bambu diperoleh dari pengolahan batang bambu dimulai pemotongan, perekatan dan pengempaan hingga diperoleh bentuk lamina dengan ketinggian/ketebalan yang diinginkan. Untuk beberapa hal, sifat-sifat lamina tidak beda jauh dari sifat bambu aslinya. Sifat akhir akan banyak dipengaruhi oleh banyaknya nodia/ruas yang ada pada satu batang dan perekat yang dipergunakan (Widjaja, 1995).

### Perekatan Bambu Laminasi

Perekat terlabur (*glue spread*) yang biasa dipergunakan untuk perekat bambu laminasi adalah 50#/MDGL, tapi jumlah ini bisa bervariasi kurang atau lebih tergantung sifat atau keadaan permukaan bahan bambu yang akan direkat (Prayitno, 1994). Menurut Oka (2004), kekuatan geser balok laminasi optimum diperoleh pada variasi pengempaan 2,0 MPa.

## LANDASAN TEORI

### Proses perekatan

Satuan perekat pada pelaksanaan di laboratorium yang disebut *GPU* (*gram pick up*) dengan persamaan:

$$GPU = \frac{50 \times A}{2048,2} \dots\dots\dots(1)$$

*GPU*: *gram pick up* (dalam gram), S = perekat dilaburkan dalam *pound/MSGGL* atau *pound/MDGL*, A= luas bidang yang akan direkatkan (cm<sup>2</sup>). (Prayitno, 1996)

### Kuat tekan kolom laminasi bambu

a. Kuat tekan sejajar serat, batang tekan tunggal (teori Euler)

Batang tekan dengan tegangan tekuk yang berada pada tegangan elastik menurut SNI tentang kayu tahun 2002, terdapat hubungan:

$$P_{tk} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} \dots\dots\dots(2)$$

Angka kelangsingan yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{\min}} \dots\dots\dots(3)$$

Jari-jari kelembaman minimum besarnya,

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A_{br}}} \quad (4)$$

dengan:

- $\pi$  = konstanta phi = 3,1416
- $E$  = modulus elastisitas, N/mm<sup>2</sup>
- $I$  = momen inersia, mm<sup>4</sup>
- $A$  = luas penampang, mm<sup>2</sup>
- $\lambda$  = kelangsingan batang
- $L_k$  = panjang tekuk, mm
- $i_{\min}$  = jari-jari inersia (kelembaman) minimum, mm
- $I_{\min}$  = momen inersia minimum, mm<sup>4</sup>
- $A_{br}$  = luas penampang bruto, mm<sup>2</sup>
- $i$  = jari-jari inersia, mm

**METODOLOGI PENELITIAN**

**Bahan Penelitian**

Bambu petung dan bahan perekat

Bambu yang dipergunakan dalam penelitian ini diperoleh dari desa Watukelir kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah.. Perekat urea formaldehida Bahan Perekat, yang digunakan adalah jenis UF (*Urea Formaldehyde*) dengan kode (UA – 104), bahan pengeras (*hardener*), digunakan jenis garam

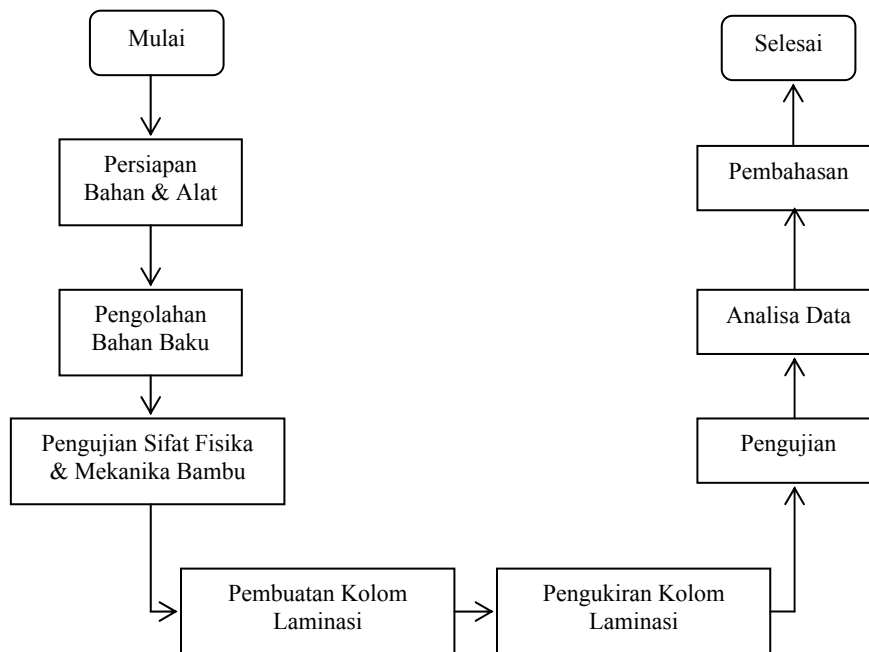
NH<sub>4</sub>CL dengan kode HU-12 dan bahan pengembang (*extender*), dalam penelitian ini menggunakan tepung terigu cap Gunung Bromo.

**Alat Penelitian**

Alat-alat yang dipergunakan dalam pengujian fisika dan mekanika bahan adalah kaliper, mesin gergaji kayu (*circular panel saw*), oven, timbangan meja, alat pembaca beban, mesin pengujian mekanik. Alat-alat dalam pembuatan kolom laminasi adalah gergaji sirkel, mesin serut, alat kempa hidrolik, mistar, gelas ukur/plastik ukur, parang, gergaji, pelat baja, klem penjepit baja kanal U beserta baut mur, papan cetak, karpet, kuas dan pengaduk perekat serta peralatan untuk mengukir, alat ukir dan pekerjaan mengukir dilakukan oleh tukang ukir dari Bali, dan alat pengujian bambu laminasi, antara lain: hydraulic jack, rangka baja (*loading frame*), alat moisture meter, LVDT dan alat pembaca beban (*load cell* dan *data logger*).

**Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian ini secara umum dilakukan mengikuti diagram alir Gambar 1. dibawah ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

### Benda uji pendahuluan

Pembuatan benda uji pendahuluan untuk menguji sifat fisika dan mekanika bahan baku bambu laminasi menurut ISO. Jenis pengujiannya yaitu kerapatan, kadar air, kuat tekan sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, tarik sejajar serat, geser sejajar serat, lentur (MOR) dan modulus elastisitas (MOE) dengan jumlah ulangan pengujian masing-masing tiga kali sesuai.

### Perencanaan benda uji bambu laminasi

Dimensi penampang bilah dengan ukuran 20x5 mm, jenis perekat urea formaldehida dan pengempaan bilah bambu dengan tekanan kempa 2,0 Mpa. Perencanaan benda uji bambu laminasi dengan 5 variasi kelangsingan utama ukuran tampang 20x20 mm, 1 variasi kelangsingan dengan tampang 20x20 mm sesuai dengan kelangsingan kolom bambu laminasi struktural, kolom bambu laminasi struktural utuh dan kolom bambu laminasi yang telah diukir, seperti pada Tabel 1.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Kadar air

Kadar air bambu petung pada uji pendahuluan memberikan nilai berkisar antara 12,0% sampai 13,8%, dengan rata – rata 12, 7%. Pemeriksaan kadar air dengan moisture meter menunjukkan nilai rata-rata 13%.

### Kerapatan

Kerapatan bambu petung dari hasil uji pendahuluan yang dilakukan dengan melakukan

tiga kali ulangan didapat nilai kisaran 0,660 gram/cm<sup>3</sup> sampai 0,695 gram/cm<sup>3</sup> dengan kerapatan rata – rata sebesar 0,674 gram/cm<sup>3</sup>.

### Sifat mekanika

Pengujian pendahuluan yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanika bambu petung dilakukan pada kadar air 13 % (dengan alat moisture meter) berupa nilai rata-rata kuat tekan sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, kuat tarik sejajar serat, kuat geser, kuat lentur (MOR) dan modulus elastisitas (MOE) masing-masing berturut-turut sebesar 52,486 MPa, 11,030 MPa, 247,395 MPa, 14,366 MPa, 117,986 MPa dan 17.992 MPa.

### Hasil Pengujian Model

Pengujian bambu laminasi dengan dimensi 20x20 mm dan panjang sesuai enam variasi kelangsingan bahan, serta bambu laminasi struktural dengan ukuran 120x120x2400 mm yang dibebani beban tekan aksial dimaksudkan untuk mengetahui besarnya gaya yang menyebabkan tekuk pada model. Tegangan maksimum rata-rata untuk berbagai kelangsingan didapat sebesar 60,1 MPa; 47,2 MPa; 44,6 MPa; 18,9 MPa dan 12,9 Mpa, sesuai dengan Tabel 2.

Penelitian ini dilakukan pengujian terhadap kolom bambu laminasi dengan ukuran struktural sesuai aplikasi pada bangunan tradisional Bali, yakni dengan ukuran 120x120x2400 mm. Tegangan tekan untuk model struktural polos dan diukir berturut-turut 25,6 MPa dan 15,1 MPa. Tabel 3 dibawah ini menampilkan hasil uji model bambu laminasi struktural.

Tabel 1. Perencanaan Benda Uji Bambu Laminasi

No.	Jenis	Kode Bambu Laminasi	Panjang (mm)	Jumlah Benda Uji (buah)
1	Kolom laminasi $\alpha_{50}$	KL- $\alpha_{50}$	289	3
2	Kolom laminasi $\alpha_{75}$	KL- $\alpha_{75}$	433	3
3	Kolom laminasi $\alpha_{100}$	KL- $\alpha_{100}$	577	3
4	Kolom laminasi $\alpha_{125}$	KL- $\alpha_{125}$	722	3
5	Kolom laminasi $\alpha_{150}$	KL- $\alpha_{150}$	866	3
6	Kolom laminasi $\alpha_{69,28}$	KL- $\alpha_{69,28}$	400	3
7	Kolom laminasi utuh ( $\alpha_{69,28}$ )	KL-UTH	2400	3
8	Kolom laminasi diukir	KL-DKR	2400	3
				24

Tabel 2. Hasil pengujian model bambu laminasi berbagai variasi kelangsingan

No	Kelangsingan	Benda Uji	P Maks. (N)	Luas Tampang (mm <sup>2</sup> )	Tegangan (MPa)	Tegangan Rerata (MPa)
1	50	1	23.940	426,360	56,149	60,093
		2	29.180	418,192	69,776	
		3	23.060	424,270	54,352	
2	75	1	20.000	425,360	47,019	47,151
		2	19.830	433,665	45,726	
		3	20.870	428,487	48,706	
3	100	1	19.850	428,480	46,326	44,627
		2	18.640	432,637	43,084	
		3	18.370	413,090	44,469	
4	125	1	8.475	428,480	19,779	18,947
		2	8.160	436,787	18,681	
		3	7.800	424,350	18,381	
5	150	1	5.000	426,412	11,725	12,946
		2	5.450	423,255	12,8764	
		3	6.070	426,400	14,235	
6	69,28	1	21.960	432,600	50,762	52,047
		2	22.040	428,467	51,439	
		3	23.000	426,420	53,937	

Tabel 3. Hasil pengujian model bambu laminasi struktural

No	Kelangsingan	Benda Uji	P Maks. (N)	Luas Tampang (mm <sup>2</sup> )	Tegangan (MPa)	Tegangan Rerata (MPa)
1	Struktural (69,28)	1	357.000	14.786	24,144	25,578
		2	338.000	14.750	22,915	
		3	435.000	14.659	29,675	
2	Struktural ukir (69,28)	1	170.000	9.064	18,755	23,529
		2	278.000	9.603	28,947	
		3	217.000	9.482	22,885	

Struktur bambu laminasi struktural yang diukir terjadi pengecilan dimensi pada bagian-bagian tertentu yang ditakik, dikupas dan diukir. Penambahan nilai kelangsingan karena perlakuan pengukiran pada kolom bambu laminasi struktural dari 69,28 menjadi 89,53 mempengaruhi beban tekan maksimum yang mampu ditahan. Perhitungan tegangan hasil pengujian yang kemudian dibandingkan dengan tegangan hasil perhitungan teori dengan menggunakan rumus Euler, seperti ditampilkan pada Tabel 4.

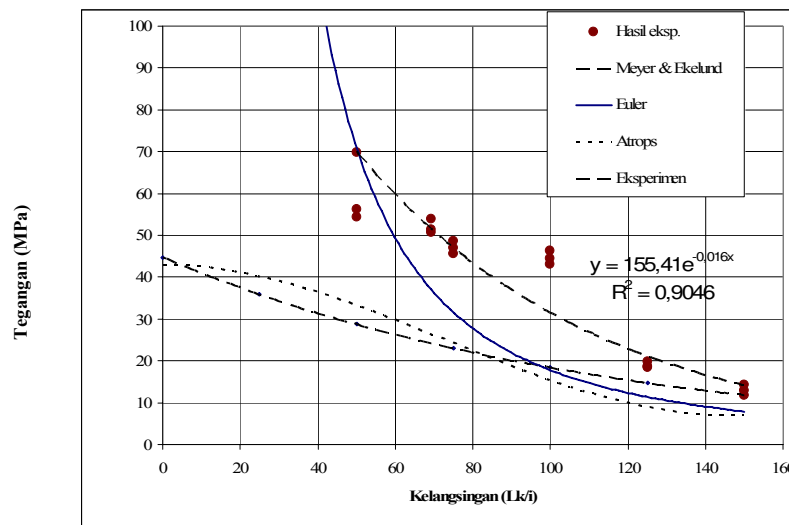
Perbandingan hasil antara nilai teoritis dan eksperimen pada berbagai kelangsingan diperoleh nilai rata-rata untuk kelangsingan terkecil  $\lambda_{50}$

sebesar 74,346% sampai kelangsingan terbesar  $\lambda_{150}$  sebesar 39,170%. Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan teori dimana untuk kelangsingan yang berada pada daerah transisi akan terdapat perbedaan hasil antara teori dengan eksperimen semakin kecil kelangsingannya hasil eksperimen mendekati teoritis.

Grafik hubungan tegangan regangan Gambar 2 menyajikan beberapa kurva dari hasil pengujian tekuk yang pernah dilakukan yaitu kurva Meyer dan Ekelund, Atrops  $D/T=10$ , maupun kurva hasil perhitungan dengan menggunakan rumus Euler sebagai pembanding.

Tabel 4. Tegangan hasil eksperimen dan teori Euler

No	Kelangsingan rata-rata ( $\lambda = Lk/i$ )	Tegangan		T/E
		Eksperimen	Euler	
1	50	60,093	70.228	116.865
2	75	47,151	31.406	66.609
3	100	44,627	17.900	40.111
4	125	18.947	11.468	60.524
5	150	12.946	7.971	61.571



Gambar 2. Hubungan tegangan-kelangsingan pengujian tekuk dan teori (Euler).

### C. Kuat Tekan Bambu Laminasi

Hasil-hasil yang diperoleh dalam eksperimen, disusun suatu rumus usulan perancangan batang tekan bambu laminasi berdasarkan pendekatan dari nilai persamaan regresi hubungan tegangan kelangsingan. Rumus usulan kuat tekan bambu laminasi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\lambda_b = \pi \sqrt{\frac{E}{0,6 \sigma_d}} \quad \lambda_r = \frac{\lambda}{\lambda_b}$$

$$\text{Untuk } \lambda < \lambda_b \quad \text{maka} \quad \sigma_t = \sigma_d [1 - 0,4 \lambda_r^2]$$

$$\text{Untuk } \lambda \geq \lambda_b \quad \text{maka} \quad \sigma_t = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\text{Tegangan ijin} \quad \bar{\sigma} = \frac{\sigma_{tk}}{\gamma}$$

dengan

$\sigma_t$  = tegangan tekuk (MPa)

$\sigma_d$  = tegangan batas desak (MPa)

$\bar{\sigma}$  = tegangan ijin (MPa)

E = modulus elastisitas (MPa)

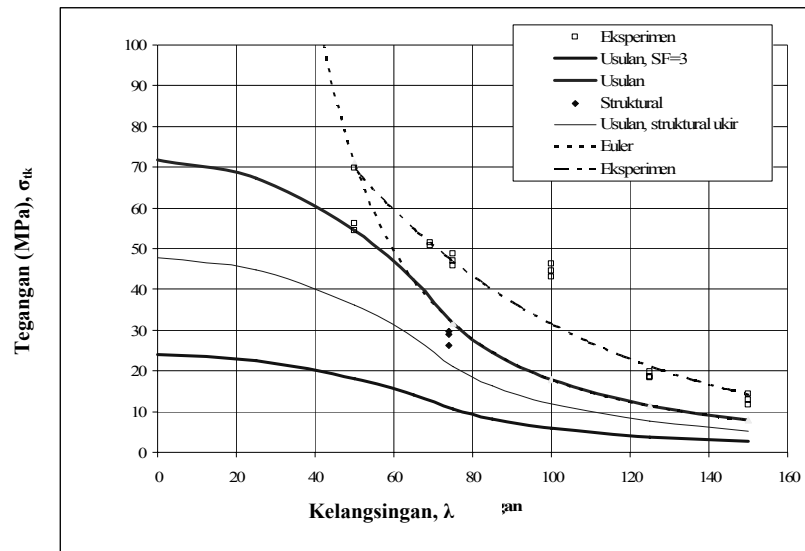
$\lambda$  = angka kelangsingan

$\lambda_b$  = angka kelangsingan minimal berlakunya rumus Euler

$\lambda_r$  = angka kelangsingan relatif terhadap  $\lambda_b$

$\gamma$  = faktor keamanan (SF)

Hubungan tegangan dan kelangsingan pada batang tekan bambu laminasi berdasarkan rumus usulan tanpa angka keamanan satu (SF=1), angka keamanan tiga (SF=3) analisa kolom bambu laminasi struktural sesuai dimensi pada bangunan tradisional Bali menggunakan perhitungan dengan angka keamanan satu setengah (SF=1,5) seperti pada grafik usulan struktur ukir serta dibandingkan dengan hasil pengujian tekuk yang persamaan dari Euler diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan tegangan-kelangsingan berdasarkan rumus usulan, hasil eksperimen, Atrops, Meyer & Ekelund dan Euler.

#### Kuat Tekan Bambu Laminasi Struktural

Tegangan tekan rerata bambu laminasi struktural lebih kecil dari bambu laminasi kecil dengan tampang 20 x 20 yang memiliki nilai kelangsingan sama, hal ini akibat faktor heterogenitas bentuk dan serat bahan bambu yang berakibat karakteristik mekanik yang berbeda-beda pada tiap bagiannya, dan posisi, jarak dan jumlah nodia yang dimiliki struktur bambu laminasi. Bambu yang memiliki nodia akan memiliki nilai karakteristik mekanik yang lebih kecil dengan bagian bambu tanpa nodia (Janssen, 1981). Daya dukung batang kolom bambu laminasi relatif tinggi, hal ini ditunjukkan pada model bambu laminasi struktural yang memiliki kemampuan menahan beban aksial dengan ukuran tampang 120x120 mm rata-rata 376.667 N dan kuat tekan rata-rata sebesar 25,578 MPa. Beban maksimum pada batang yang diukir rata-rata mencapai 221.667 N, beban maksimum tekan aksial yang mampu ditahan oleh batang utuh terjadi penurunan yang relatif besar yaitu sebesar 41,150%.

Pengujian bambu laminasi struktural baik yang utuh maupun yang diukir saat mencapai beban maksimum tidak terjadi kerusakan yang berarti yang menyebabkan kegagalan struktur, bahkan begitu beban dihilangkan batang akan kembali seperti kondisi semula. Kegagalan ataupun pecah kecil sekalipun juga tidak nampak pada bagaian permukaan yang diukir, sehingga

kondisi saat pembebanan maksimum ukiran tetap aman.

Daya dukung bambu laminasi struktural utuh terhadap perlakuan pengukiran pada bambu laminasi struktural, dengan perhitungan stastitika uji t (perhitungan selengkapnya pada Lampiran G), didapat  $F_{hitung}$  sebesar 2,999 dan  $F_{tabel}$  sebesar 2,1764 sehingga nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka didapat hasil bahwa perlakuan pengukiran terhadap bambu laminasi berpengaruh terhadap daya dukungnya.

#### Analisa Ekonomi Kolom Bambu Laminasi

Pertimbangan nilai ekonomis merupakan salah satu hal yang perlu mendapat perhatian dalam pembuatan suatu produk. Nilai ekonomis kolom bambu laminasi dihitung berdasarkan pengamatan selama melaksanakan penelitian. Biaya pembuatan bambu laminasi dalam setiap satu meter kubiknya sebesar Rp. 10.489.091 dan harga kolom bambu laminasi tiap satu batang sesuai dimensi yang diaplikasikan pada bangunan tradisional Bali beserta biaya pengukirannya yaitu sebesar Rp. 1.358.000,-, dengan catatan harga diatas merupakan harga penelitian bukan harga komersial.

Batang kolom ukir dipasaran umumnya memiliki harga berkisar Rp. 1.500.000,- sampai 2.500.000,- tiap batangnya. Harga tersebut tergantung dari bahan kayu yang digunakan. Harga kolom bambu laminasi dengan minimal keuntungan 10% dapat dijual mulai harga Rp.



1.500.000,- dan bersaing secara kompetitif dengan bahan kayu nangka, merbau dan jati yang merupakan pilihan terbanyak untuk bangunan tradisional Bali.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sifat heterogen struktur bambu, bahan perekat dan pengempaan memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap kuat tekan bambu laminasi, disamping perekat membentuk film tipis yang sangat kuat juga bahan perekat masuk ke pori-pori bambu yang membuat bambu lebih masif sehingga bambu laminasi tegangan tekan merata yang tinggi.
2. Inovasi teknologi bambu laminasi mampu meningkatkan kuat tekan batang sampai sebesar 36,02% dibanding bahan dasar bambu yang digunakan. Kuat tekan bambu laminasi dipengaruhi secara nyata oleh kelangsingan, makin besar nilai kelangsingan kuat tekannya semakin kecil. Hubungan kuat tekan dengan kelangsingan sesuai dengan rumus usulan dalam perancangan kuat tekan kolom dari bahan bambu laminasi yaitu  $\lambda < \lambda_b$ ,  $\sigma_{tk} = \sigma_d [1 - 0,4\lambda_r^2]$  dan  $\lambda \geq \lambda_b$ ,  $\sigma_{tk} = (\pi^2 E) / \lambda_r^2$ . Besar tegangan tekan pada kelangsingan yang terkecil,  $\lambda=50$  sebesar 60,093 Mpa sampai batang dengan kelangsingan terbesar,  $\lambda=150$  sebesar 12,946 MPa sedangkan untuk model struktural polos dan diukir berturut-turut 25,6 MPa dan 15,1 MPa. Kolom bambu laminasi memiliki perilaku mekanika yang sangat baik untuk bahan bangunan tahan gempa karena sifat elastis yang sangat dominan.
3. Perlakuan pengukiran pada kolom bambu laminasi struktural mengakibatkan meningkatnya nilai kelangsingan dari 69,28 menjadi 89,53 sehingga memperlemah daya dukung terhadap beban aksial rata-rata 41,15 % dan penurunan tegangan tekan rata-rata 8,009 %.

## SARAN

Berdasarkan pengalaman dan hasil penelitian yang telah didapatkan maka disampaikan saran-saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan bahan bambu jenis yang lain yang mempunyai sifat mekanikan yang lebih baik dari bambu petung, sehingga dapat melengkapi dan menyempurnakan usulan rumusan kuat tekan bambu laminasi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai rasio hubungan tegangan tekan antara batang tekan bambu laminasi ukuran laboratorium (kecil) dengan struktural dengan berbagai jenis bambu.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang aplikasi bambu laminasi pada struktur yang lainnya berdasarkan model rumah tradisional yang lainnya di Indonesia, karena kita yakin kedepan teknologi bambu laminasi sangat bermanfaat, bernilai seni tinggi dan ekonomis tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Breyer, D.E., 1988, "*Design of Wood Structures*", Second Edition, Me Graw-Hill, New York.
- Gere, J.M. dan Timoshenko, S.P., 2000, "*Mekanika Bahan*", Jilid 1, Edisi Keempat, alih bahasa Bambang Suryoatmono, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Janssen, J.J.A., 1981, "*Bamboo in Building Structure*", Disertatie Drukkerij, Wibro, Helmod, Eindhoven University of Technology, The N etherland.
- Morisco, 1990, "*Kuat Batas Batang Kayu Desak Hasil Analisis Numeris dan Eksperimen*", Media Teknik, edisi No. 2 tahun XII Agustus 1990 No. ISSN 0216-3012, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Morisco, 1999, "*Rekayasa Bambu*", Nafiri Offset, Yogyakarta
- Oka, G. M., 2004, "*Pengaruh Pengempaan Terhadap Keruntuhan Geser Balok Laminasi Horisontal Bambu Petung*", Tesis S2, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta (tidak diterbitkan).
- Prayitno, T.A, 1994, "*Perekat Kayu*", Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Prayitno, T.A, 1995, "*Pengujian Sifat Fisika dan Mekanika Kayu menurut ISO*", Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

- Sabha Arsitektur, 1984, "*Rumusan Arsitektur Bali*", Hasil Sabha Arsitektur Bali, Denpasar
- SNI, 2002, "*Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indoneasia*", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Widjaja, W.S., 1995, "*Perilaku Mekanika Batang-Struktur Komposit Lamina Bambu dan Phenol Formaldehida*", Tesis S2, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta (tidak diterbitkan).