

Studi Eksperimen Perilaku Lentur Papan Bambu Lapis Dengan Jenis Bambu Petung

Nuroji*¹, Sukamta², Nicolaus Iyowau³

^{1,2} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Dogiyai

Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang. 50275, Telp: (024)7474770,

Fax: (024)7460060

Submitted : 04 Oktober 2020;

Accepted: 07 Desember 2020

Abstrak

Bambu merupakan tanaman jenis rumput-rumputan yang mudah tumbuh dengan waktu pertumbuhan yang relatif cepat dan dapat dipanen pada usia 3-4 tahun tanpa harus menanam ulang. Meskipun bambu mempunyai sifat fisik dan mekanik yang baik, tetapi pemanfaatan bambu sebagai material konstruksi masih sangat terbatas. Pengembangan material bambu sebagai material konstruksi diharapkan dapat mereduksi penggunaan kayu yang selama ini telah dieksploitasi secara masif. Paper ini menjelaskan hasil kajian eksperimental material bambu dan papan bambu lapis. Papan bambu lapis tersusun atas tiga layer dan setiap layer terbentuk atas bilah-bilah bambu yang tersusun secara paralel. Layer 1 dan 3 merupakan layer permukaan dengan arah memanjang papan, sedangkan layer 2 merupakan bagian tengah papan yang membentuk sudut α terhadap layer 1 dan 3 yaitu 30° , 45° dan 90° . Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa semua bilah bambu berperilaku getas, bagian luar mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dibanding bagian dalam dan ruas bambu merupakan perlemahan dari bilah bambu. Pengujian lentur papan bambu lapis dilakukan dengan *four point bending*, kapasitas dan kekakuan papan bambu lapis dipengaruhi oleh sudut α dengan nilai optimal $29,33^\circ$. Sedangkan kekakuan lentur rata-rata papan bambu lapis sebesar 71% dari penampang teoritis dengan dimensi yang sama untuk bilah bambu luar.

Kata Kunci : bambu petung; papan bambu lapis; kuat lentur; kekakuan

Abstract

Bamboo is a type of herbaceous crop which is easy to grow with a relative growing fast and it can be harvested at 3-4 years old without having to replant. In spite of bamboo has good physical and mechanical property, but the use of bamboo as a construction material is still very limited. The development of bamboo as a construction material is expected to reduce the utilization of wood which has been exploited massively. This paper describes the results of an experimental study of

*Corresponding author e-mail : nuroji@lecturer.undip.ac.id

Another email : sukamta@lecturer.undip.ac.id

nicolausiyowau@students.undip.ac.id

bamboo material and laminated bamboo boards. The board is composed of three layers and each layer is made up of bamboo strips arranged in parallel. Layer 1 and 3 are the outer layer in longitudinal direction of the board, whereas layer 2 is the middle part of the board which forms angle α to layers 1 or 3, namely 30° , 45° , and 90° . The results of the tensile test show that all bamboo strips have brittle behavior, the outside section has a higher strength and stiffness than the inside one and the bamboo nodes are a weakness of the bamboo strip. The flexural test on the laminated bamboo board was undertaken by four point bending, the capacity and stiffness of the board was affected by the angle α with an optimal value of $29,33^\circ$. While the average flexural stiffness of laminated bamboo boards is 71% of the theoretical cross-section with the same dimensions for outer bamboo strip.

Keywords : *petung bamboo; plywood bamboo board; flexural strength; stiffness*

A. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara yang sangat kaya akan sumber daya alamnya, sayangnya masih banyak sekali potensi lokal yang belum termanfaatkan secara maksimal, salah satunya adalah tanaman bambu yang tumbuh di hampir seluruh wilayah Indonesia mulai dari dataran. rendah hingga pegunungan (Alataris, et al., 2019). Bambu merupakan tanaman jenis rumput-rumputan yang menyerupai pohon berkayu dari suku Gramineae berbentuk lurus memanjang dengan masa pertumbuhan yang relatif cepat. Berbeda dengan bahan kayu jati, meranti, bengkirai dan beberapa jenis kayu lainnya yang umumnya baru dapat dipanen setelah ditanam dalam kurun waktu cukup lama dan kemudian harus dilakukan penanaman kembali untuk peremajaan, maka bambu hanya membutuhkan sekali penanaman dan ketika mencapai usia 3-5 tahun dapat dipanen setiap tahun tanpa harus melakukan penanaman kembali (Asmah, et al., 2016). Menurut Sary et al. (2018) di dunia terdapat sekitar 1200-1300 jenis bambu, sedangkan Widjaja (2001) menyatakan ada sekitar 143 jenis bambu yang tumbuh di Indonesia. Di Pulau Jawa diperkirakan ada 60 jenis bambu. Diantara jenis – jenis bambu yang ada di

Jawa, 16 jenis tumbuh juga terdapat di pulau – pulau lainnya, 26 jenis merupakan jenis introduksi, namun 14 jenis diantaranya hanya tumbuh di Kebun Raya Bogor dan Cibodas. Sutiyono (2012) menyatakan bahwa jenis-jenis bambu yang direkomendasikan untuk industri adalah bambu Petung (*Dendrocalamus Asper*), bambu Apus (*Gigantochloa apus*), bambu Legi (*Gigantochloa atter*), Bambu Wulung (*Gigantochloa atroviolaceae*), bambu Ampel hijau (*Bambusa vulgaris V.vitata*) dan bambu Ori (*Bambusa arundinacea*).

Selain pertumbuhan bambu yang relatif cepat, material bambu umumnya mempunyai sifat mekanik yang baik, dimana kuat tarik bambu dapat dipersaingkan dengan baja (Putri & Masdar, 2016). Priyanto dan Yasin (2019) menyebutkan bahwa berat bambu Petung cukup ringan dengan densitas rata-rata 0,63 t/m³. Sementara kuat tarik rata-rata sejajar serat 226,39 MPa, kuat lentur rata-rata 95,08 MPa, kuat tekan sejajar serat rata-rata 26,85 MPa dan kuat tekan tegak lurus serat rata-rata 9,62 MPa. Hal ini menjadikan material ini sangat potensial untuk dikembangkan menjadi material konstruksi yang berfungsi secara struktural. Lakkad dan Pattel melakukan pengujian pada bambu dalam kondisi kering dan tanpa ruas. Dari

hasil pengujian tersebut menunjukkan kuat tarik ultimit dan kuat tekan ultimat masing-masing sebesar 193 MPa dan 68.4 MPa. Dari sifat fisik dan mekanis yang cukup baik, material bambu sangat potensial untuk dikembangkan menjadi material konstruksi. Meskipun demikian pemanfaatan bambu sebagai material konstruksi masih terbatas pada elemen-elemen nonstruktural yang nonpermanen dan belum banyak digunakan secara struktural dalam jumlah yang besar. Berbeda dengan material kayu yang sudah sangat banyak dieksploitasi secara masif sebagai material konstruksi baik struktural maupun nonstruktural. Hal ini disebabkan sumber material kayu yang umumnya berasal dari batang pohon dengan ukuran besar sehingga mudah untuk diolah dalam bentuk batang dengan penampang dan panjang tertentu. Material bambu secara geometri berpenampang bulat berlubang dan memanjang serta terdapat ruas-ruas di sepanjang batang dari pangkal sampai ujung, sehingga pemanfaatannya relatif lebih sulit dan kurang maksimal.

Pemanfaatan bambu sebagai material struktural merupakan hal yang menarik perhatian para peneliti untuk dikembangkan sebagai penelitian. Nugroho et al. (2010) melakukan penelitian tentang sandwich panel yang tersusun atas lapisan luar kayu lapis meranti depan dan belakang dengan ketebalan 8 mm, sedangkan bagian tengah (*core*) menggunakan bambu utuh yang disusun tegak lurus terhadap bidang lapisan luar. Hai Fang (2015) melakukan kajian eksperimental dan pemodelan simulasi pada *sandwich beam* dari *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), bambu dan kayu. Dimana bagian inti menggunakan kayu ringan Paulownia dengan berat jenis 280 kg/m^3 yang dilapisi dengan bambu dan dilapisi lagi dengan GFRP sebagai lapisan terluar. Pelapisan bagian inti oleh bambu dan GFRP yang dilakukan pada dua muka

menunjukkan bahwa penggunaan kayu paulownia dengan arah serat sejajar dengan arah bentang balok *sandwich* dapat meningkatkan kekakuan lentur dan peningkatan ketebalan bambu dan lapisan GFRP dapat meningkatkan kekakuan lentur dan beban ultimit balok *sandwich* secara signifikan. Optimasi desain dalam hal berat sendiri dan biaya balok *sandwich* dapat dilakukan dengan menggunakan MATLAB untuk mendapatkan ketebalan kayu paulownia, bambu, dan FRP yang optimal dengan mempertimbangkan faktor bobot yang berbeda untuk berat sendiri dan biaya material.

Chen et al. (2020) melakukan penelitian tentang balok *Laminated Bamboo Lumber* (LBL) yang tersusun atas bilah-bilah bambu. Bambu dibelah secara radial menjadi bilah-bilah panjang dengan ukuran penampang 20 mm x 5 mm yang selanjutnya bilah-bilah bambu dibagi menjadi tiga bagian luar, tengah dan dalam. Kemudian bilah-bilah tersebut disusun berdasarkan urutannya, dua lapis bilah bagian dalam sebagai inti dan kemudian dilapisi satu lapis bilah bagian tengah dan satu lapis bagian luar sebagai lapisan terluar, demikian pula untuk sisi yang lain. Pada penampang melintang balok bilah bambu disusun secara selang seling seperti susunan batu bata untuk membentuk *interlocking*. Untuk mengetahui kinerja mekanis LBL telah dilakukan uji tarik, tekan, lentur dan geser. Benda uji-benda uji dibebani secara bertahap dengan sistem pembebanan *displacement control* dengan kecepatan tetap yaitu 0,6-2,5 mm/menit sampai runtuh, sesuai standar ASTM D143-14. Hasil uji eksperimen menunjukkan bahwa LBL memiliki sifat yang sebanding atau bahkan melampaui produk berbasis kayu dan mencapai kinerja yang sama baiknya dengan produk bambu rekayasa lainnya.

Paper ini membahas hasil penelitian eksperimental bambu laminasi yang membentuk papan bambu lapis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan investigasi perilaku dari papan bambu lapis. Dari penelitian ini diharapkan pemanfaatan bambu yang merupakan kekayaan alam nusantara sebagai material konstruksi bisa lebih maksimal sebagai upaya untuk mengurangi eksploitasi kayu yang selama ini sudah terlalu tinggi.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Lebih dari 13 jenis bambu yang sering digunakan untuk kebutuhan konstruksi, tetapi dari ketiga belas jenis bambu tersebut yang paling banyak digunakan adalah bambu Apus (*Gigantochloa Apus*), bambu Petung (*Dendrocalamus Asper*), bambu Ori (*Bambusa Spinosa Bluemeana*) dan bambu Wulung/Hitam (*Gigantochloa Verticillite*). Bambu Petung adalah jenis bambu yang diameternya besar dan ketebalannya di atas rata-rata jenis bambu lainnya di Indonesia. Menurut Widjaja (2001) bambu Petung mempunyai panjang ruas 40 – 60 cm dengan diameter 12 – 20 cm. Bambu jenis ini sangat mudah didapat terutama dipulau Jawa dan beberapa pulau lainnya di Indonesia. Kekuatan bambu sebagai bahan konstruksi ditentukan oleh sifat fisik dan mekanisnya, berdasarkan sifat fisik dan mekanis pemanfaatan material bambu dapat dioptimalkan (Putri & Masdar, 2016)

1. Sifat Fisik Bambu

Sifat fisik material merupakan petunjuk penting dalam pengerjaan dan pemanfaatan suatu material. Setiap jenis bambu mempunyai sifat fisik yang berbeda. Eratodi (2017) menjelaskan bahwa sifat fisik bambu umumnya dipengaruhi oleh usia, posisi bambu yaitu pangkal, tengah dan ujung, jenis bambu

dan tempat bambu tumbuh. Putri & Masdar (2016) melakukan pengujian kadar air dan kerapatan bambu Wulung, dimana sampel bambu diambil pada bagian tengah dari satu batang bambu, hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kadar air bambu 12,9% dan kerapatan 0,58 gr/cm³. Khotimah et al. (2014) menyebutkan kadar air dari bambu Petung adalah 12.77 - 13.36 % dengan nilai rata-rata kadar air adalah 13%. Sementara itu Yu et al. (2008) menyimpulkan bahwa bambu Moso (*Phyllostachys pubescens Mazel ex J. Houz*) mempunyai berat jenis 0,553 - 1,006 gr/cm³, susut tangensial dari kondisi jenuh air menjadi kering oven adalah 4.870 - 7.769% dan susut arah longitudinal dari kondisi jenuh air menjadi kering oven adalah 0.087 - 0.298%.

2. Sifat Mekanis Bambu

Sifat mekanis suatu material merupakan perilaku material dalam menerima beban, sifat ini menjadi dasar analisis perancangan bambu sebagai material konstruksi. Sifat mekanis yang penting untuk tinjau pada bambu antara lain kuat tarik, kuat tekan dan modulus elastisitas.

Tabel 1. Kuat tekan rata-rata bambu bulat pada berbagai posisi (Morisco, 1999)

Janis Bambu	Bagian	Kuat Tekan (MPa)
Apus (<i>Gigantochloa apus</i>)	Pangkal	215
	Tengah	288
	Ujung	335
Petung (<i>Dendrocalamus Asper</i>)	Pangkal	277
	Tengah	409
	Ujung	548
Galah (<i>Gigantochloa verticilata</i>)	Pangkal	327
	Tengah	399
	Ujung	405
Tutul (<i>Bambusa maculata</i>)	Pangkal	532
	Tengah	543
	Ujung	464

Eratodi (2017) menjelaskan bahwa bagian batang bambu tanpa ruas mempunyai kuat tekan (8-45)% lebih tinggi dari bagian batang dengan ruas. Kuat tekan bambu utuh pada tiga posisi pangkal yaitu posisi terdekat dengan tanah, tengah dan ujung, seperti terlihat pada tabel 1.

Kuat tarik sejajar serat bambu dalam kondisi kering oven dengan dan tanpa ruas untuk beberapa jenis bambu ditunjukkan pada tabel 2. Sedangkan kuat tarik rata-rata bambu bulat pada berbagai posisi ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 2. Kuat tarik bambu kering oven (Morisco, 1999)

Janis Bambu	Kuat Tarik Sejajar Serat (MPa)	
	Tanpa ruas	Dengan ruas
Apus (<i>Gigantochloa apus</i>)	151	55
Petung (<i>Dendrocalamus Asper</i>)	190	116
Galah (<i>Gigantochloa verticilata</i>)	288	126
Tutul (<i>Bambusa maculata</i>)	216	74

Tabel 3. Kuat tarik rata-rata bambu bulat pada berbagai posisi (Morisco, 1999)

Janis Bambu	Bagian	Kuat Tekan (MPa)
Apus (<i>Gigantochloa apus</i>)	Pangkal	144
	Tengah	137
	Ujung	174
Petung (<i>Dendrocalamus Asper</i>)	Pangkal	228
	Tengah	177
	Ujung	208
Galah (<i>Gigantochloa verticilata</i>)	Pangkal	192
	Tengah	335
	Ujung	232
Tutul (<i>Bambusa maculata</i>)	Pangkal	239
	Tengah	292
	Ujung	174

Modulus elastisitas merupakan rasio antara tegangan dan regangan yang menggambarkan kekakuan material pada kondisi elastis. Nilai modulus elastisitas rata-rata material bambu dengan dan tanpa ruas untuk beberapa jenis bambu ditunjukkan dalam tabel 4.

Tabel 4. Modulus elastisitas rata-rata beberapa jenis bambu (Morisco, 1999)

Janis Bambu	Modulus elastisitas rata-rata (MPa)	
	Tanpa ruas	Dengan ruas
Apus (<i>Gigantochloa apus</i>)	12133	5751
Petung (<i>Dendrocalamus Asper</i>)	21658	10329
Temen (<i>Gigantochloa robusta Kurz</i>)	12139	5662

Dari sifat-sifat fisik dan mekanis menunjukkan bahwa bambu Petung selain berukuran besar dan tebal yang mudah untuk dibuat bilah datar juga mempunyai kekuatan yang cukup baik dengan kekakuan yang tinggi, sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai material konstruksi yang bersifat struktural.

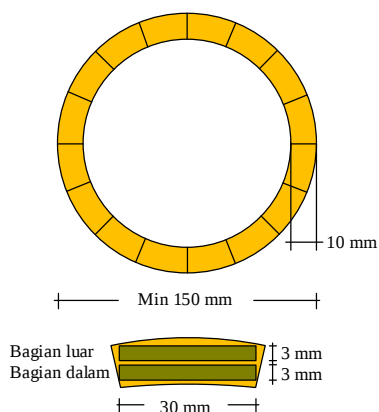
C. METODE PENELITIAN

1. Studi Material

Bambu yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu Petung (*Dendrocalamus asper*). Pemilihan jenis bambu ini didasarkan atas ukuran diameter yang rata-rata mencapai 200 mm dan ketebalan 10 mm, sehingga dapat diperoleh bilah-bilah yang relatif lebih lebar. Pada arah memanjang bilah bambu dibedakan antara bilah tanpa ruas dan bilah dengan ruas. Sedangkan pada arah ketebalan bambu bilah dibagi menjadi dua bagian yaitu luar dan dalam dengan

penampang bilah 30 mm x 3 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Masing-masing bagian bambu yaitu bilah bambu bagian Luar Tanpa Ruas (LTR), bilah bambu bagian Luar Dengan Ruas (LDR), bilah bambu bagian Dalam Tanpa Ruas (DTR) dan bagian Dalam Dengan Ruas (DDR) dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat-fisik dan mekanisnya.

Sebelum pengujian bilah-bilah bambu dilakukan pengeringan dengan menjemur bilah bambu di bawah sinar matahari hingga kadar air rata-rata 13,12% sesuai yang disyaratkan SNI 03-6851-2002 yaitu kadar air tidak boleh melebihi dari 16%. Sedangkan berat jenis masing-masing bagian bambu petung diuji untuk mendapatkan kelas kuat kayu. Nilai rata-rata dari tiga hasil pengujian berat jenis (BJ) bambu petung disajikan dalam Tabel 5.



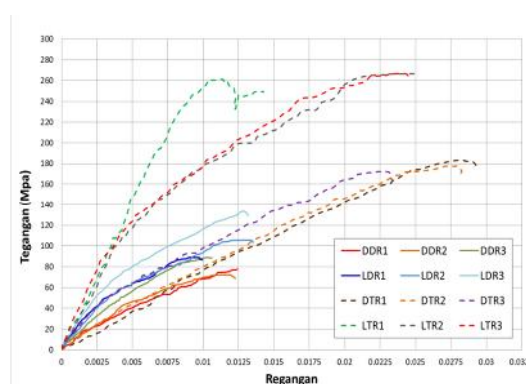
Gambar 1. Penampang bambu dan bilah

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Bambu Petung

No	Bagian bambu	BJ rata-rata (gr/cm ³)
1	DDR	0,600
2	LDR	0,836
3	DTR	0,736
4	LTR	0,750

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa bambu bagian luar mempunyai berat jenis yang lebih tinggi dibanding bagian

dalam. Hal ini dikarenakan kerapatan bambu bagian luar lebih tinggi dibanding bagian dalam. Pengujian kuat tarik bambu pada penelitian ini dilakukan pada arah sejajar serat untuk semua bagian bambu DDR, DTR, LDR dan LTR dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Dari uji tarik diperoleh hubungan gaya – perpindahan yang kemudian dikonversi menjadi grafik hubungan tegangan – regangan untuk mengetahui perilaku mekanis dari bilah bambu seperti digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan tegangan-regangan bambu arah sejajar serat

Kuat tarik dan modulus elastisitas bilah bambu Petung bagian luar lebih tinggi dibanding bilah bambu bagian dalam, hal ini menunjukkan bahwa makin tinggi kerapatan serat makin tinggi kuat tarik dan modulus elastisitas bambu. Sedangkan kuat tarik dan modulus elastisitas bilah bambu Petung tanpa ruas jauh lebih tinggi dibanding bilah bambu dengan ruas yang mengindikasikan bahwa ruas bambu menjadi bagian perlemahan dari bilah bambu. Kuat tarik dan modulus elastisitas bambu Petung sejajar serat untuk masing-masing bagian diambil dari nilai rata-rata hasil pengujian tiga benda uji seperti terlihat pada Tabel 6 berikut.

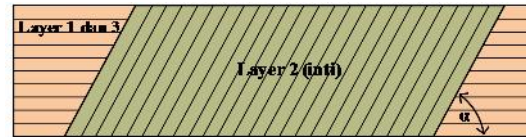
Tabel 6. Nilai Kuat tarik dan modulus Elastisitas bambu arah sejajar serat

Bagian bambu	Kuat tarik rata-rata (MPa)	Modulus Elastisitas rata-rata (MPa)
DDR	79,63	10446,14
LDR	109,26	17708,71
DTR	177,78	9606,92
LTR	264,82	27333,74

2. Pembuatan Benda Uji

Bilah – bilah bambu dengan dimensi 3 mm x 30 mm x 1200 mm dikeringkan selama 2-3 hari di bawah sinar matahari hingga kadar airnya kurang dari 16%. Pada penelitian ini bilah bambu yang digunakan hanya bagian luar dengan pertimbangan karena panjang dari benda uji papan bambu lapis lebih besar dari jarak antar ruas, sehingga adanya ruas-ruas bambu pada bilah yang dapat menurunkan kapasitas papan tidak dapat dihindarkan. Untuk menghindari terakumulasinya ruas bambu, bilah-bilah bambu disusun selang seling.

Bahan perekat yang digunakan untuk merekatkan bilah-bilah adalah jenis lem kayu FOX. Dimensi benda uji papan bambu lapis yang akan diuji lentur adalah 300 mm x 1200 mm dengan ketebalan 9 mm yang terdiri dari tiga lapis. Layer 1 dan 3 adalah lapis luar untuk kedua sisi permukaan papan yang tersusun atas bilah-bilah bambu paralel dengan arah longitudinal. Untuk menghindari perlemahan akibat ruas-ruas bambu, bilah-bilah bambu pada layer luar disusun dengan posisi ruas menyebar dan tidak dalam satu garis melintang papan. Layer 2 adalah lapisan tengah atau inti, lapisan ini merupakan bilah-bilah bambu yang disusun paralel dengan membentuk sudut sebesar α (0° , 45° dan 60°) terhadap arah longitudinal papan seperti terlihat pada Gambar 3.



(a)



(b)

Gambar 3. Papan bambu lapis
 (a) Susunan layer,
 (b) Penyusunan layer

Ketiga layer 1, 2 dan 3 direkatkan dengan menggunakan lem kayu putih kemudian dilakukan pengepresan dengan klem selama 12 jam untuk mendapatkan hasil yang maksimal seperti ditunjukkan Gambar 4.



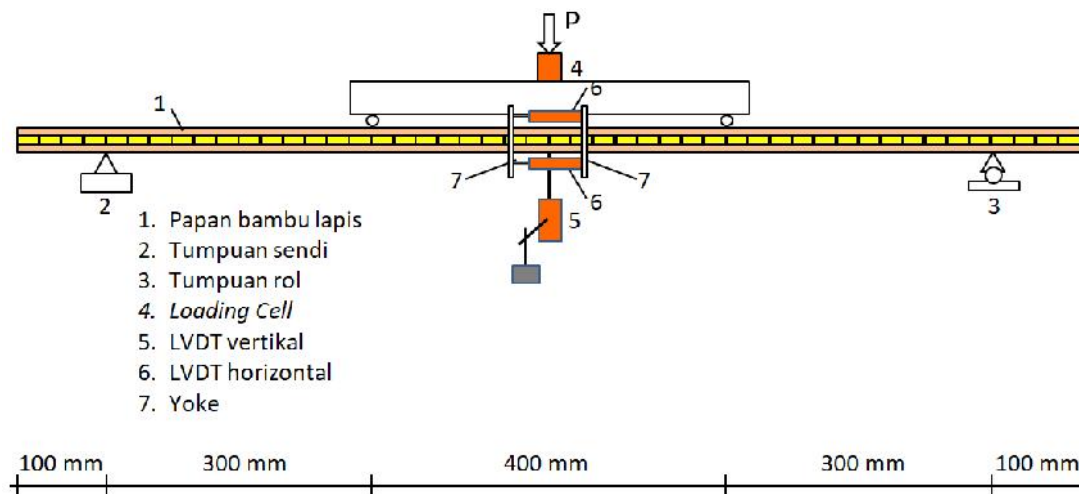
Gambar 4. Proses pengepresan papan bambu lapis

3. Set Up Pengujian

Pengujian lentur benda uji papan bambu lapis dilakukan dengan memberikan beban *four point bending*, dimana beban yang dikenakan di tengah bentang didistribusikan ke kiri dan kanan secara simetri dan sama besar untuk memperoleh momen murni pada rentang beban ke beban di tengah bentang. Beban

dikenakan secara *incremental* melalui *hydraulic jack* dengan kecepatan pembebanan 150 N/menit dan diukur dengan menggunakan *load cell*, sedangkan pengukuran lendutan di tengah bentang menggunakan *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT). Dua LVDT dipasang pada

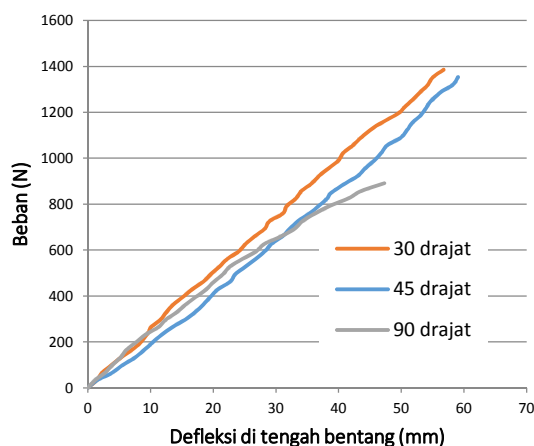
batang vertikal (*yoke*) pada arah horisontal di atas dan bawah benda uji untuk mengukur kurvatur. Semua perangkat dihubungkan ke *data logger* sebagai perekam dan penyimpanan data dalam bentuk digital. Secara skematis pengujian papan bambu lapis dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Set-up Pengujian

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian lentur tiga benda uji papan bambu lapis dengan variabel α diperoleh respon hubungan gaya dan perpindahan yang disajikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban – Defleksi

Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa kapasitas benda uji papan bambu lapis dipengaruhi oleh sudut susunan bilah layer 1 dan 3 terhadap bilah layer 2. Benda uji dengan sudut $\alpha = 30^\circ$ menunjukkan kapasitas terbesar kemudian diikuti oleh 45° dan 90° . Dari grafik juga terlihat bahwa benda uji dengan $\alpha = 30^\circ$ dan $\alpha = 45^\circ$ mempunyai kapasitas yang relatif berdekatan dibanding benda uji dengan $\alpha = 90^\circ$ yang jauh lebih rendah. Hal ini dikarenakan transfer tegangan arah longitudinal antar layer untuk benda uji dengan $\alpha = 90^\circ$ dimana susunan bilah bambu pada layer 1 dan 3 tegak lurus terhadap layer 2 tidak dapat berlangsung secara baik. Sedangkan benda uji dengan $\alpha = 30^\circ$ dan $\alpha = 45^\circ$, bilah-bilah bambu bukan hanya mempunyai komponen arah transversal tetapi juga arah longitudinal yang berfungsi sebagai media untuk

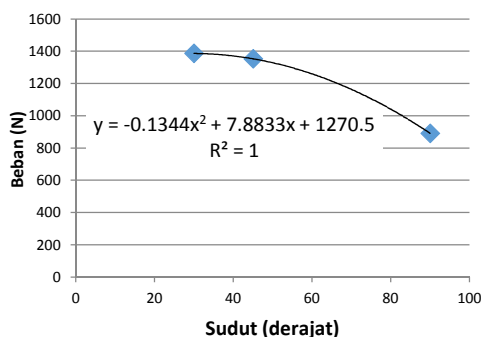
mentransfer tegangan arah memanjang papan. Besarnya beban maksimum yang dapat diterima untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Kuat tarik dan modulus Elastisitas bambu arah sejajar serat

Papan bambu lapis Sudut (α)	P max (N)
30	1386
45	1353
90	891

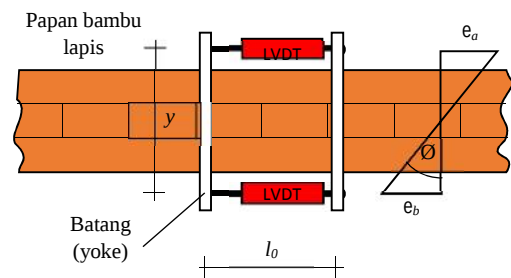
Untuk menentukan sudut yang optimal, dibuat suatu fungsi hubungan antara beban maksimum dan sudut seperti terlihat pada gambar 7. Dari derivasi fungsi tersebut dapat diperoleh nilai α optimum sebesar $29,33^\circ$.

Kekakuan benda dapat dievaluasi dari rasio antara momen dan kurvatur. Dalam pengujian kurvatur diukur melalui pencatatan dua LVDT horisontal yang dipasang di atas dan bawah benda uji.



Gambar 7. Hubungan beban –sudut

Kekakuan benda dapat dievaluasi dari rasio antara momen dan kurvatur. Dalam pengujian kurvatur diukur melalui pencatatan dua LVDT horisontal yang dipasang di atas dan bawah benda uji. Kedua LVDT untuk mengukur regangan rata-rata arah horisontal di bagian atas dan bawah yang dihitung dari displacement hasil pengukuran LVDT seperti ditunjukkan pada Persamaan 1. Sedangkan detail pengukuran kurvatur ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Detail pengukuran kurvatur

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l_0} \quad (1)$$

Dimana:

δ = displacement dari LVDT horisontal

l_0 = jarak antar yoke

Besarnya kurvatur dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$\phi = \frac{(\varepsilon_a + \varepsilon_b)}{y} \quad (2)$$

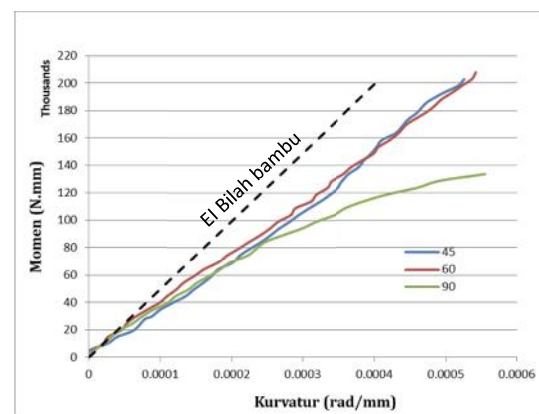
Dimana:

$\varepsilon_a, \varepsilon_b$ = regangan rata-rata di atas dan bawah

y = jarak antar LVDT

Kekakuan papan bambu lapis dievaluasi dari nilai EI yang diperoleh dari kemiringan grafik hubungan momen-kurvatur.

Hubungan antara momen dan kurvatur untuk ketiga benda uji disajikan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan Momen - Kurvatur

Dari Gambar 9 terlihat sampai pada momen 84.15 Nm ketiga benda uji mempunyai kekakuan yang sangat berdekatan. Akan tetapi setelah momen ditingkatkan benda uji dengan α 30° dan 45° menunjukkan kekakuan yang relatif konstan, sedangkan benda uji dengan α 90° kekakuannya mulai menurun. Benda uji dengan α 30° dan 45° mencapai momen *ultimate* masing-masing sebesar 207,90 Nm dan 202,95 Nm, sedangkan benda uji dengan α 90° hanya mampu menerima momen sebesar 133,65 Nm. Rendahnya kapasitas papan bambu lapis dengan α 90° diakibatkan oleh tidak adanya transfer tegangan pada arah *longitudinal* secara baik dari layer tengah ke layer tepi atau sebaliknya, dimana susunan bilah-bilah antara layer tengah dan tepi saling tegak lurus.

Secara teoritis dengan dimensi yang sama kekakuan lentur EI bilah LTR adalah 498143925 Nmm². Kekakuan lentur untuk masing-masing benda uji pada rentang elastis dapat disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kekakuan benda uji pada rentang elastis

Sudut α	Kekakuan EI α (Nmm ²)	Rasio EI α /EI
30°	368181818	74%
45°	350219653	70%
90°	342614793	69%
rata-rata	353672088	71%

Dari Tabel 8 dapat diketahui bahwa kekakuan lentur papan bambu lapis yang tersusun atas bilah-bilah bambu lebih rendah dari kekakuan bahan pembentuknya yaitu bilah bambu. Hal ini disebabkan oleh ketidakmonolitan papan bambu lapis antar bilah. Nilai kekakuan lentur papan bambu lapis dipengaruhi oleh sudut yang dibentuk susunan bilah

bambu antar layer. Pada penelitian ini kekakuan lentur rata-rata papan bambu lapis adalah sebesar 71% dari bilah bambu LTR.

E. KESIMPULAN

Secara umum dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa material bambu sangat potensial untuk dikembangkan sebagai material konstruksi terutama untuk papan struktural. Sedangkan dari pengujian eksperimental dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Ruas bambu menjadi bagian perlemahan bilah bambu.
2. Bilah bambu bagian luar mempunyai kepadatan, kekuatan dan kekakuan yang lebih besar dari bilah bambu bagian dalam.
3. Kapasitas dan kekakuan lentur papan bambu lapis dipengaruhi oleh sudut susunan bilah bambu antar layer.
4. Dari hasil analisis diperoleh sudut susunan bilah bambu antar layer sebesar 29,33° sebagai sudut optimum.
5. Rata-rata kekakuan lentur papan bambu lapis sebesar 353672088 Nmm² atau 71% dari kekakuan lentur bilah bambu bagian luar tanpa ruas LTR untuk dimensi penampang yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, A., Nugroho, N., Bahtiar, E. T., & Hermawan, D. (2015). Karakteristik Cross Laminated Bamboo Sebagai bahan Komposit Struktural. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 25(2), 174-181.
- Alataris U., Thamrin, E., & Herawatiningsih, R. (2019). Identifikasi Jenis Bambu (*Poaceae*) Di Hutan Tembawang Deret Jat, Desa Peruan Dalam Kecamatan Tayan Hulu Kabupaten Sanggau. *Jurnal Hutan Lestari*, 7(1), 32 – 43.

- American Society Institute. (2000). *ASTM D-143 – 94 (Reapproved 2000)^{E1} “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber”* In manual Book of ASTM Standard. <http://file.yizimg.com/175706/2011090722382624.pdf>
- Asmah, A. E., Daitey, S. T., & Steiner, R. (2016). Locally Produced Laminated bamboo Lumber: A Potential Substitute for Traditional Wood Carving in Ghana. *European Journal of Research and Reflection in Arts and Humanities*, 4(1).
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6851-2002 “Metode Pengujian Lentur Panel Kayu Struktural”*. Jakarta: BSN.
- Chen, G., Yu, Y., Li, X., & He, B. (2020). Mechanical behavior of laminated bamboo lumber for structural application: an experimental investigation. *European Journal of Wood and Wood Products*.
- Eratodi, I G. L. B. (2017), Struktur dan Rekayasa Bambu, Edisi pertama, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar Bali.
- Fang, H., Sun, H., Liu, W., Wang, L., Bai, Y., & Hui, D. (2015). Mechanical performance of innovative GFRP-bamboo-wood sandwich beams: Experimental and modelling investigation. *Composites Part B: Engineering*.
- Indah, S., Nugroho, N., Suryokusumo, S., & Hadi, Y. S. (2008). Kekakuan dan Kekuatan Lentur Maksimum Balok Glulam dan Utuh Kayu Akasia *Jurnal Teknik Sipil*, 15(3), 113-122, Desember 2008.
- Khotimah, K, Manik, P. & Jokosisworo, S. (2014), Analisa Teknis Bambu Laminasi Sebagai Material Konstruksi Pada Lunas Kapal Perikanan, *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 2, no. 1, Apr. 2014.
- Liese, W. (1987). Research on bamboo. *Wood Science Technology*, 21(3),189–209.
- Morisco (1999). *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset.Yogyakarta
- Ndale, F. X. (2013). Sifat Fisik Dan Mekanik Bambu Sebagai Bahan Konstruksi, *Jurnal Teknosiar*, Vol. 7, No.2, Oktober 2013.
- Nugroho, N., Suryana, J., Febriyani, & Ikhsan, H. (2010). Development of Panel Sandwich Products Made from Bamboo. *Journal of Agro industrial Technology, IPB. Bogor*.
- Priyanto, A., & Yasin, I. (2019). Pemanfaatan Laminasi Bambu Petung Untuk Bahan Bangunan. *Jurnal Science Tech.*, 5(2).
- Putri, D. & Masdar, A.(2016). Tinjauan Kekuatan Ranting Bambu ORI Sebagai Konektor Pada Sambungan Struktur Kuda-Kuda Bambu, *Jurnal Forum Meknika*, Volume 5, N0. 2, November 2016.
- Sary, N., Fahrizal, & Yani, A. (2018). Jenis Bambu di Hutan Tembawang Desa Suka Maju Kecamatan Sungai Betung Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Hutan Lestari*, 6(3), 637 – 646.
- Sutiyono. (2012). *Budi Daya Bambu*. Peneliti Pusat Penelitian dan Pengembangan Peningkatan Produktivitas Hutan. Gunung Batu Bogor. Hal 3.
- Widjaja, E. A. (2001). *Identikit Jenis – Jenis Bambu di Jawa*. Pusat Penelitian dan pengembangan Biologi – LIPI. Balai Penelitian Botani, Herbarium Bogoriense, Bogor Indonesia.



© 2021 Siklus Jurnal Teknik
Sipil All rights reserved. This
is an open access article
distributed under the terms of the CC BY Licens
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)