

# Sifat Mekanika Bambu Petung Laminasi

## Mechanical Properties of Laminated Bamboo Petung

Nor Intang Setyo H.\*<sup>1</sup>, Iman Satyarno\*<sup>2</sup>, Djoko Sulistyono\*<sup>2</sup>, T.A. Prayitno\*<sup>3</sup>

e-mail. intang\_sh@yahoo.com

<sup>1</sup>Mahasiswa Program S3 Teknik Sipil UGM Yogyakarta dan Dosen Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

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

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

**Abstrak**— Bambu laminasi merupakan rekayasa struktur untuk memperbaiki sifat mekanika bambu. Rekayasa ini dilakukan dalam rangka pemenuhan kebutuhan bahan bangunan untuk struktur bangunan. Bambu laminasi merupakan bahan bangunan rekayasa yang dibentuk dengan sistem perekatan beberapa bilah bambu, sehingga memiliki kelebihan dapat dibuat dalam berbagai ukuran dan sifat mekanika yang lebih uniform dari bahan bambu alami. Sifat mekanika dibutuhkan dalam analisis struktural. Pemodelan yang baik dalam analisis struktur dan numerikal harus didukung dengan data sifat mekanika yang valid dan tepat. ASTM D143 menguraikan prosedur secara lengkap dalam mendapatkan sifat mekanika kayu. Penelitian ini mengacu pada ASTM D143 untuk mendapatkan sifat mekanika bambu laminasi yang kemudian disusun dalam sebagai material lamina multilayer linier elastik ortotropik. Nilai parameter tersebut untuk bambu laminasi adalah Young's Modulus (E), EL = 11.840 MPa ; ER = 511,14 MPa; ET = 814,39 MPa, rasio Poisson  $\nu_{LR} = 0,179$ ;  $\nu_{LT} = 0,229$ ;  $\nu_{RT} = 0,231$ , dan Modulus Geser (G, MPa) GLR = 2,6112; GLT = 1,0435; GRT = 1,0435.

**Kata kunci**— sifat mekanika, bambu petung, laminasi

**Abstract**— Laminated bamboo is a kind of engineered structure to improve mechanical properties of bamboo. It is done in order to meet the need of building materials to the building structure. Laminated bamboo are constructed by gluing a slice bamboo, so it has its advantages can be made in any size and a more uniform mechanical properties of natural bamboo. Mechanical properties is required for structural analysis. Good modeling in structural analysis and numerical properties must be supported by valid mechanical properties. ASTM D143 explains the procedure in getting the mechanical properties of wood . This study refers to ASTM D143 to get laminated bamboo mechanical properties of the material are then arranged in a linear elastic lamina multilayer Orthotropic . Proficiency level parameter values for bamboo laminate is Young's Modulus ( E ) , EL = 11 840 MPa ; ER = 511.14 MPa ; ET = 814.39 MPa , Poisson ratio  $\nu_{LR} = 0.179$  ;  $\nu_{LT} = 0.229$  ;  $\nu_{RT} = 0.231$  , and Modulus Slide ( G , MPa) GLR = 2.6112 ; GLT = 1.0435 ; GRT = 1.0435.

**Keyword**— mechanical properties, bamboo petung, laminated

### PENDAHULUAN

Laminasi adalah proses penyatuan satu bagian bahan dengan bahan lain, baik itu bahan yang sejenis maupun berbeda menjadi satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Definisi laminasi hampir sama dengan komposit. Perbedaan teknis terletak dalam hal sistem penyatuan bahan-bahan dasarnya. Struktur balok laminasi (*glued laminated timber*) mulai diperkenalkan di Eropa pada akhir abad ke-19, berupa lapisan-lapisan kayu gergajian (*lumpers*) yang dilekatkan dengan resin tertentu sehingga semua lapisan seratnya sejajar pada arah memanjang (Breyer, 1988). Produk laminasi ini dalam skala besar dimulai di Amerika beberapa tahun sebelum perang dunia ke II seiring berkembangnya teknologi dalam pembuatan resin sintesis.

Penggunaan balok *glulam* dalam struktur bangunan seperti jembatan, kubah (*dome*), bangunan berbentuk panjang dan lain sebagainya telah banyak dilakukan dan menunjukkan perkembangan yang terus meningkat. Struktur *glulam* memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan kayu gergajian yang solid. Yakni ukuran dapat dibuat lebih tinggi dan lebih lebar, bentangan lebih panjang dan konfigurasi bentuk difabrikasi dengan mudah. Karakteristik penting balok *glulam* menghasilkan kekuatan yang lebih besar dibandingkan lapisan tunggal, selain itu diperoleh deformasi yang terjadi lebih kecil. (Morisco, 2006)

Bambu laminasi merupakan rekayasa struktur untuk memperbaiki sifat mekanika bambu. Rekayasa ini dilakukan dalam rangka pemenuhan kebutuhan bahan bangunan untuk struktur bangunan. Bambu laminasi merupakan bahan bangunan rekayasa yang dibentuk dengan sistem perekatan beberapa bilah bambu,

sehingga memiliki kelebihan dapat dibuat dalam berbagai ukuran dan sifat mekanika yang lebih uniform dari bahan bambu alami. Sifat akhir akan banyak dipengaruhi oleh banyaknya nodia atau ruas yang ada pada satu batang dan perekat yang dipergunakan.

Pemodelan yang baik dalam analisis struktur dan numerikal harus didukung dengan data sifat mekanika yang valid dan tepat. ASTM D143 menguraikan cara secara lengkap dalam mendapatkan sifat mekanika kayu, antara lain kontrol suhu dan kadar air, identifikasi *heartwood* dan *sapwood*, uji lentur, uji tekan sejajar serat, uji *impact bending*, uji keausan, uji tekan sejajar serat, uji kekerasan, uji geser sejajar serat, uji tarik sejajar serat, uji tarik tegak lurus serat, uji belah, uji lentur paku, menganalisis berat jenis, kerapatan, uji kembang susut radial dan tangensial, uji pengarus kadar air, ketentuan variasi lainnya tentang kayu dan cara kalibrasi. Metode pengujian untuk mendapatkan nilai sifat mekanika pada bambu laminasi ini mengacu pada ASTM D143 karena bambu laminasi sendiri belum mempunyai standar tersendiri.

Penelitian sifat fisika dan mekanika bambu dari bahan bambu petung dalam kurun 10 tahun terakhir oleh mahasiswa S1, S2 dan S3 JTSL UGM dirangkum oleh Irawati dan Saputra (2012). Bambu petung yang digunakan kadar air rata-rata 15,38% dan kerapatan 0,72 gram/cm<sup>3</sup> dengan usia bambu 3-5 tahun, melalui analisis statistik sifat mekanika bambu petung didapatkan hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat mekanika bambu Petung (Irawati dan Saputra, 2012)

Sifat Mekanika	(MPa)
Kuat lentur	134,972
Kuat tarik sejajar serat	228
Kuat tekan sejajar serat	49,206
Kuat tekan tegak lurus serat	24,185
Kuat geser sejajar serat	9,505
Modulus elastisitas lentur	12888,477

Correal dan Lopez (2008) telah meneliti tentang sifat fisika dan mekanika bambu laminasi yang sudah bersifat komersial. Pengujian sifat mekanika mengacu pada *Colombian Institute of Standards (ICONTEC)* untuk bahan kayu yang juga berdasarkan standar ASTM D143-52 -1997 disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Sifat mekanika bambu laminasi menggunakan bambu guadua (Correal dan Lopez, 2008)

Jenis Pengujian	Hasil (MPa)
Tekan sejajar serat	47,6
Tekan tegak lurus serat	5,4
Tarik tegak lurus serat	1,49
Lentur (MOR)	81,9
Geser sejajar serat	9,32
Geser garis perekat	7,92

Produksi bambu laminasi dilakukan oleh pabrik *Colguadua Ltda* dan pengujian menggunakan *Universal Testing Machine (UTM)* di laboratorium material, *Universidad de Los Andes* di Bogotá, Colombia. Menggunakan bambu *Guadu angustifolia* kunt yang dipotong dengan panjang 3 m, rata-rata kadar air 6-8% melalui pengeringan bilah bambu dengan oven. Pengawetan bilah bambu terhadap bubuk kumbang dilakukan dengan memasukkan bahan kimia tertentu. Ketebalan bilah lamina 7-10 mm, bahan perekat menggunakan *polyvinyl acetate (PVA)* dengan proses kempa dingin bertekanan 2 MPa selama 15 menit.

Hasil uji yang dilakukan oleh Salim (2006), pengaruh lebar bilah terhadap MOR menunjukkan bahwa bambu petung asal Magelang dan Kulon Progo dengan lebar bilah 2,5 cm lebih kuat 22,42% dari lebar bilah 3 cm. Pengaruh tekanan kempa terhadap MOR menunjukkan bahwa bambu petung dengan tekanan kempa 1,5 MPa lebih kuat dari pada 2,5 MPa yaitu 15,69%.

#### METODE PENELITIAN

Pengujian dalam penelitian ini mengacu pada ASTM D143. Bambu laminasi menggunakan bahan bambu petung dari dusun Turgo, desa Purwobinangun, Kecamatan Pakem, Kabupaten Sleman, DIY. Perekat menggunakan *Urea Formadehyde-UA 181* produksi PT. PAI Probolinggo.

#### A. Kuat tekan sejajar serat dan rasio *Poisson*

Benda uji dibuat dengan ukuran 50mm x 50mm x 200mm. Kecepatan *crosshead* dengan *strain rate* 0,003 mm/mm per menit atau *displacement rate* 0,6 mm per menit. Penampang dibuat seragam dan ujung-ujung permukaan rata dan horisontal. Dilakukan pula pengukuran rasio *Poisson*, yaitu dengan menggunakan *LVDT* dengan mengukur peralihan pada masing-masing kedua arah horisontal, sehingga dibutuhkan sejumlah 4 (empat) buah *LVDT*. Uji kuat tekan sejajar serat menggunakan kode benda uji TknBL-xx (Tekan bambu laminasi sejajar serat - benda uji ke-xx). Kuat tekan adalah kekuatan batas yang dapat dicapai bambu laminasi ketika komponen bambu laminasi tersebut mengalami kegagalan akibat tekan. Pengujian kuat tekan sejajar serat ini akan mendapatkan beberapa nilai kualitas bahan terhadap perilaku tekan sejajar arah serat, yaitu: kuat tekan sejajar serat ( $\sigma_{Tkn//}$ ), Modulus elastisitas longitudinal ( $E_{Tkn//}$ ), rasio *Poisson* arah Longitudinal-Radial ( $\nu_{LR}$ ) dan rasio *Poisson* arah Longitudinal-Tangensial ( $\nu_{LT}$ ). Pengujian dilakukan sampai beban ultimit dan benda uji *failure*. Sedangkan rasio *Poisson* diamati dan pengambilan data pada benda uji masih dalam kondisi elastis.

### B. Kuat tekan tegak lurus serat

Benda uji kuat tekan tegak lurus serat dibuat dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 150 mm. Beban bekerja melalui *metal bearing plate* ukuran 50mm x 50mm. Kecepatan *crosshead* adalah 0,305 mm per menit. Uji ini dilakukan 2 jenis pengujian yaitu arah serat tangensial (Tkn $\perp$ -xx (T)) dan arah serat radial (Tkn $\perp$ -xx (R)). Model tegangan-regangan tekan bambu laminasi tegak lurus serat dimodelkan sebagai elasto-plastis bilinear. Pengujian kuat tekan tegak lurus serat ini sampai beban ultimit dan benda uji *failure*, akan mendapatkan nilai kualitas bahan terhadap perilaku tekan tegak lurus arah serat, yaitu: kuat tekan tegak lurus serat ( $\sigma_{tkn\perp}$ ) dan modulus elastisitas tekan tegak lurus arah serat ( $E_{\perp}$ ).

### C. Kuat tarik tegak lurus serat

Dimensi luar benda uji 50x50x50 mm<sup>3</sup>, penampang benda uji yang direncanakan mengalami kegagalan dibuat lebih kecil dengan ukuran 25 mm x 50 mm. Kecepatan *crosshead* adalah 2,5 mm per menit. Uji kuat tarik tegak lurus serat dilakukan dua variasi pengujian yaitu kuat tarik tegak lurus serat arah radial (Trk $\perp$ -xx (R)) dan arah tangensial (Trk $\perp$ -xx (T)). Pengujian sampai beban ultimit dan benda uji putus (belah atau pecah), regangan yang terjadi cukup kecil dan singkat harus diamati dari awal pembebanan sampai pengujian selesai.

### D. Kuat tarik sejajar serat

Dalam pengujian kuat tarik sejajar serat ini dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D143 (ASTM 2008) yang dimodifikasi dengan ketebalan sama pada satu sisi dengan ujung atas dan bawah dijepit langsung pada alat instrumen. Penelitian dengan modifikasi tersebut sebelumnya telah dilakukan oleh Morisco (2006). Ukuran penampang pada bagian tengah adalah 10mm x 25mm. Kecepatan *crosshead* 1 mm per menit. Untuk mengukur perpanjangan digunakan *Extensometer*, yaitu ditempatkan pada bagian sepanjang 50 mm pada tengah-tengah benda uji. Pengujian sampai beban ultimit dan benda uji putus, regangan yang terbaca oleh *extensometer* terjadi harus diamati dari awal pembebanan sampai pengujian selesai. Bambu laminasi memiliki kuat tarik yang tinggi sejalan dengan nilai regangan yang besar pula. Variasi pengujian dibuat dalam 2 tipe, yaitu:

1. Tipe pertama, benda uji tarik sejajar serat bambu laminasi dengan adanya nodia yang diacak (tanpa dikontrol susunan, jumlah, dan posisinya). Benda uji dibuat dengan kode benda uji Trk//-xx-NA (Nodia Acak).
2. Tipe kedua, benda uji tarik sejajar serat bambu laminasi dengan adanya nodia yang dikontrol, baik jumlah, susunan, posisinya. Jumlah nodia dibuat dalam 6 variasi, yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan

100% terhadap luas daerah uji. Semua nodia dalam variasi di atas ditempatkan segaris ditengah dan dalam daerah uji sampel. Variasi 0% artinya tanpa nodia, dan 100% adalah semua nodia penuh ditempatkan dalam satu garis daerah uji. Kode benda uji TrkBL\_nodiaXX% (tarik sejajar serat bambu laminasi dengan nodia xx %).

### E. Lentur (MOR) dan Modulus Elastisitas (MOE)

Kuat lentur adalah kekuatan batas yang dapat dicapai bambu laminasi ketika komponen bambu laminasi tersebut mengalami kegagalan akibat lentur. Model benda uji lentur menggunakan acuan berdasarkan spesifikasi benda uji ukuran penampang 50x50 mm<sup>2</sup> dengan panjang bentang bersih balok 760, dengan metode pengujian *center-point loading test*. Kecepatan pembebanan (*crosshead*) adalah 2,5 mm/menit. Benda uji lentur ini dibagi atas dua variasi posisi susunan bilah bambu, yang variasi pertama benda uji lentur dengan susunan bilah arah radial (BL-xx-(R)) dan yang variasi kedua susunan bilah arah tangensial (BL-xx-(T)).

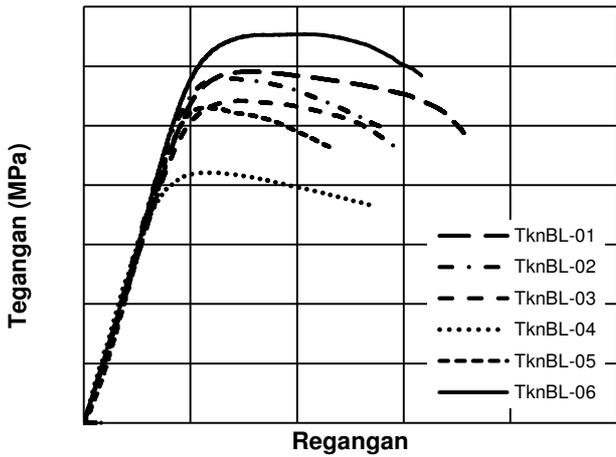
### F. Geser sejajar serat

Kuat geser adalah kekuatan batas yang dicapai bambu laminasi ketika komponen bambu laminasi tersebut mengalami kegagalan akibat geser. Dalam penelitian ini pengujian kuat geser kayu sejajar serat dilakukan dengan kecepatan *crosshead* 0,6 mm per menit, ukuran benda uji 50x50x63mm, dengan bidang geser 50x50mm. Pengujian sampai beban ultimit dan benda uji gagal geser, regangan yang terjadi cukup kecil dan singkat harus diamati dari awal pembebanan sampai pengujian selesai. Pengujian dilaksanakan dalam 3 variasi benda uji, yaitu: geser pada bidang bilah bambu radial (G//-R), geser bilah bambu arah tangensial (G//-T), geser pada garis perekat (G//-G).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

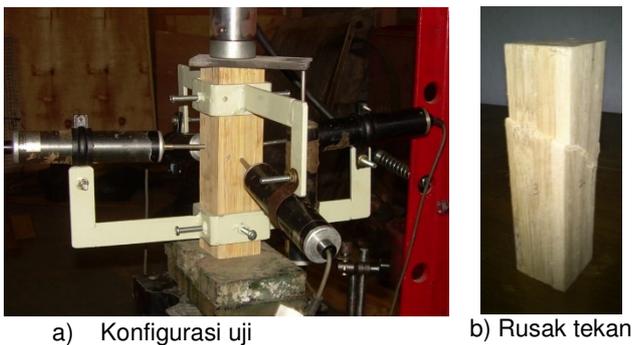
### A. Kuat tekan sejajar serat dan angka rasio Poisson

Hasil uji kuat tekan sejajar serat disajikan pada Gambar 1. Pada uji ini juga dicari nilai angka rasio Poisson, sehingga regangan yang terjadi arah longitudinal, radial dan tangensial diukur dan dicatat.



Gambar 1. Grafik hubungan tegangan-regangan tekan bambu laminasi //

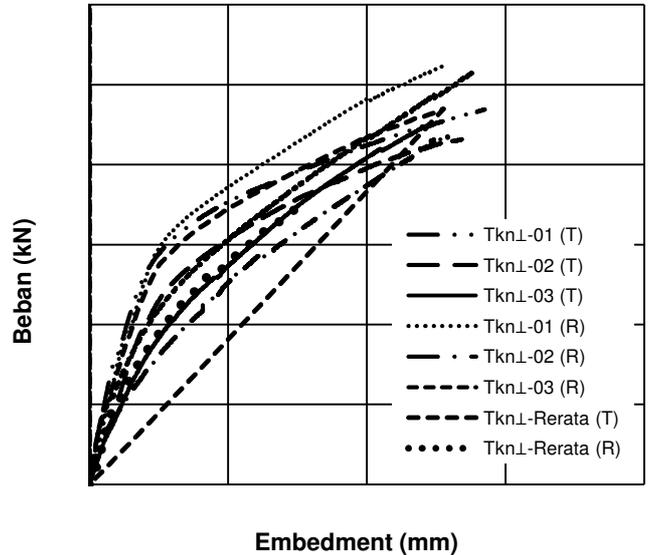
Perilaku pembebanan pada kondisi elastis  $0,1 P_{max}$  -  $0,4 P_{max}$  dipakai sebagai acuan perhitungan modulus elastisitas sesuai metode *secant* dan angka rasio Poisson (EN408 – 2003). Nilai rata-rata kuat tekan sebesar 55,030 MPa, modulus elastitas rata-rata sebesar 11,84 GPa dan angka rasio Poisson arah longitudinal-radial ( $\nu_{LR}$ ) sebesar 0,187; arah longitudinal-tangensial ( $\nu_{LT}$ ) sebesar 0,229; arah radial-tangensial ( $\nu_{RT}$ ) sebesar 0,231. Konfigurasi uji tekan sejajar serat dengan instrumentasi terdiri dari UTM, data logger, *load cell*, empat buah LVDT yang diletakkan horizontal sesuai dengan arah radial dan tangensial serat bambu dan *dial gauge* untuk mengukur deformasi/*displacement* arah vertikal (longitudinal) seperti disajikan pada Gambar 2a. Model kegagalan uji tekan, berupa rusak geser dan retak sehingga memendek dalam arah sejajar serat/longitudinal diperlihatkan pada Gambar 2b.



Gambar 2. Pengujian tekan dan kerusakan tekan bambu laminasi

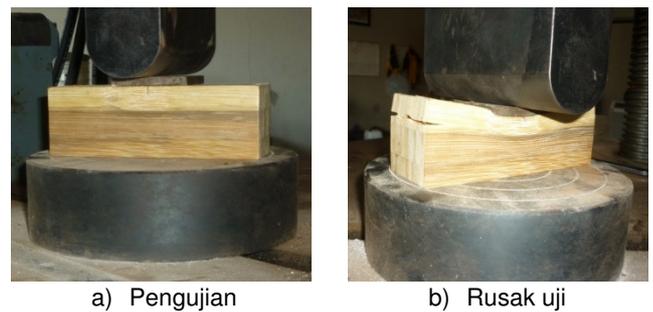
B. Kuat tekan tegak lurus serat

Hasil pengujian kuat tekan tegak lurus serat disajikan pada Gambar 3. Pada uji ini diambil beban maksimum pada saat *embedment* sebesar 10% dari tinggi benda uji, atau sekitar 5-6 mm. Nilai kuat tekan dan modulus elastisitas tekan tegak lurus arah tangensial lebih besar dari arah radial. Nilai masing-masing 17,96 Mpa dan 17,34 Mpa untuk kuat tekan, 814,39 Mpa dan 511,14 Mpa untuk nilai modulus elastisitas tekan tegak lurus.



Gambar 3. Grafik hubungan beban – *embedment* tekan  $\perp$

Keseluruhan hasil uji bambu laminasi ini memiliki nilai kuat tekan tegak lurus rata-rata sebesar 17,65 Mpa dan modulus elastisitas rata-ratanya 765,86 Mpa. Hubungan beban dan lendutan memiliki tren berupa garis bilinear, pada garis pasca elastic, beban meningkat terus sampai nilai yang tidak terbatas walaupun sudah terjadi retak berupa pecah arah horizontal (tampak pada Gambar 4).

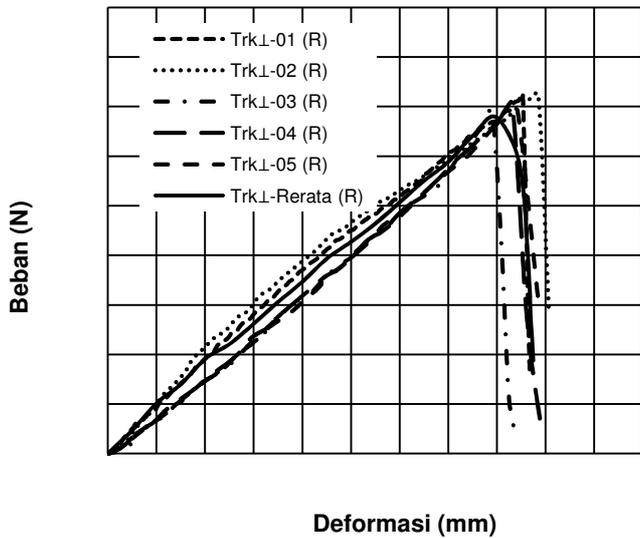


Gambar 4. Pengujian dan kerusakan tekan  $\perp$

C. Kuat tarik tegak lurus serat

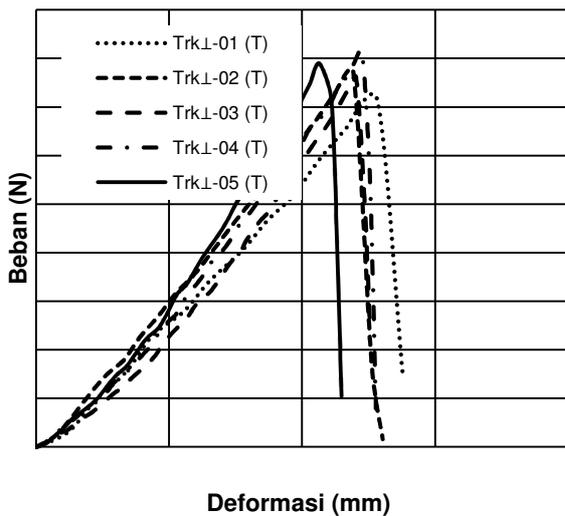
Hasil uji ini didapatkan nilai kuat tarik tegak lurus serat bambu laminasi arah radial lebih besar dari arah tangensial masing-masing dengan nilai rata-rata 2,85 MPa dan 2,63 MPa. Nilai modulus elastisitas rata-rata

masing-masing untuk arah radial dan tangensial berturut-turut adalah 75,33 MPa dan 58,68 MPa. Grafik hubungan beban-perpanjangan arah tegak lurus serat radial dan tangensial tampak pada Gambar 5 dan 6.

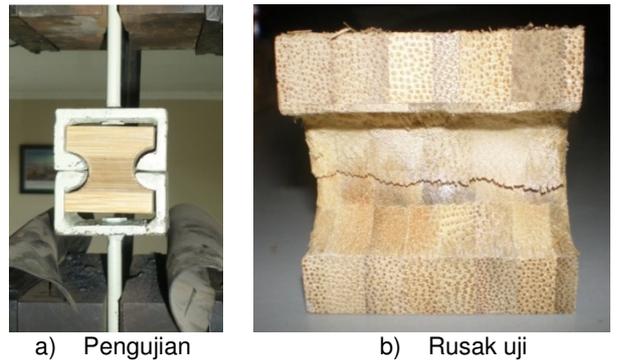


Gambar 5. Grafik hubungan beban – deformasi tarik ⊥ (Radial)

Hubungan beban-deformasi membentuk garis lurus saat kondisi elastis, dan benda uji putus saat beban puncak ditandai beban yang langsung turun drastis. Pengujian sesuai dengan harapan, karena secara keseluruhan benda uji gagal putus pada bagian luas permukaan bidang tarik terkecil dan tidak ada satupun yang gagal digaris perekat (perekat telah bekerja sempurna pada bambu laminasi ini). Skema pengujian tarik tegak lurus serat dapat kita lihat pada Gambar 7a dan model kegagalan pada Gambar 7b.



Gambar 6. Grafik hubungan beban – deformasi tarik ⊥ (Tangensial)

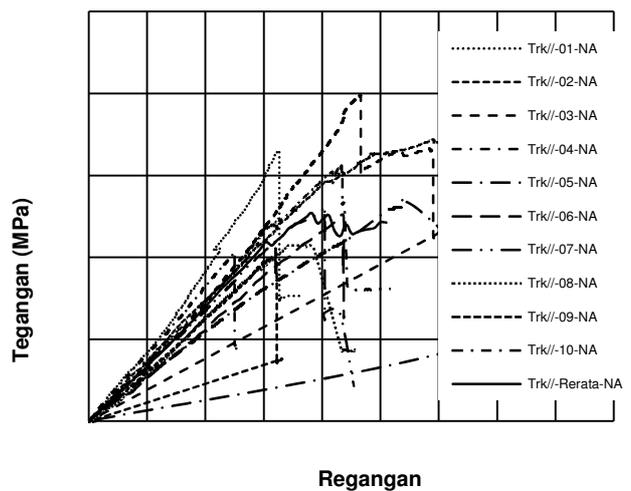


Gambar 7. Pengujian dan kerusakan tarik ⊥

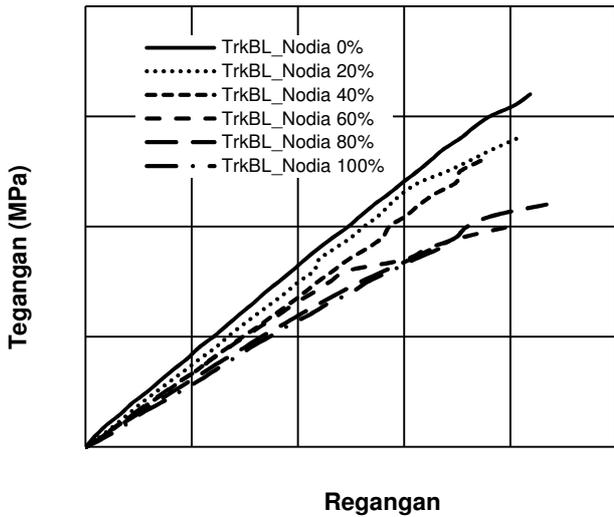
*D. Kuat Tarik Sejajar Serat*

Kuat tarik sejajar serat dengan variasi nodia acak mendekati kondisi kenyataan dilapangan. Hasil pengujian berupa grafik tegangan-regangan tarik dengan nodia diacak ditampilkan pada Gambar 8. Sedangkan untuk variasi nodia diatur, hasil pengolahan data pengujian berupa grafik hubungan tegangan-regangan disajikan pada Gambar 9.

Kuat tarik sejajar serat bambu laminasi yang dihasilkan rata-rata variasi dengan nodia penuh (100%), nodia diacak, dan tanpa nodia (0%) berturut-turut sebesar 109,32 MPa, 139,09 MPa, 192,86 MPa. Nilai Modulus Elastisitas tarik sejajar serat masing-masing variasi memiliki nilai rata-rata sebesar 16,55 GPa, 17,13 GPa, dan 25,45 GPa. Hubungan tegangan-regangan uji tarik sejajar arah serat bambu laminasi variasi nodia penuh (100%), nodia acak, dan tanpa nodia (0%), tampak perbedaan kekakuan dan tegangan maksimum yang terjadi. Benda uji tanpa nodia memiliki kekakuan dan tegangan tarik yang paling tinggi.



Gambar 8. Grafik hubungan beban – deformasi tarik//



Gambar 9. Grafik hubungan beban – deformasi tarik// variasi nodia

Model kegagalan tarik sejajar serat tanpa nodia tampak pada Gambar 10 dimana secara keseluruhan serat bambu pada bagian tengah bentang (daerah uji) meregang, memanjang dan saling terlepas satu dengan yang lain. Kerusakan yang terjadi pada dasarnya semua pada nodia, kecuali variasi benda uji tanpa nodia. Tampak kerusakan pada variasi dengan nodia penuh (100%) terjadi rusak putus pada nodia dalam satu garis (Gambar 10a). Untuk untuk nodia diacak kerusakan meskipun tampak pada tengah uji namun sebenarnya telah terjadi pada nodia juga yang letaknya kemungkinan tidak di tengah daerah uji, jadi secara otomatis mencari sendiri bagian terlemah (nodia) tersebut (Gambar 10b). Sedangkan untuk tanpa nodia, kerusakan terjadi adalah putuss pada seratnya, dan bersifat elastis (Gambar 10c).



a) Rusak tarik nodia 100%



b) Rusak tarik nodia diacak



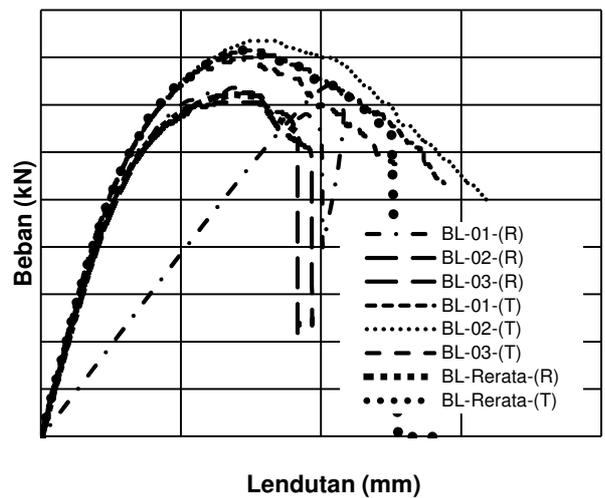
c) Rusak tarik nodia 0%

Gambar 10. Grafik hubungan beban – deformasi tarik// variasi nodia

Perilaku ini menunjukkan serat bambu sangat kuat dan daktail sehingga memiliki tegangan tarik yang sangat tinggi. Benda uji dengan nodia acak memiliki kecenderungan gagal yang sama, benda uji akan putus pada bagian nodia yang merupakan bagian terlemah dari bambu.

#### E. Kuat Lentur

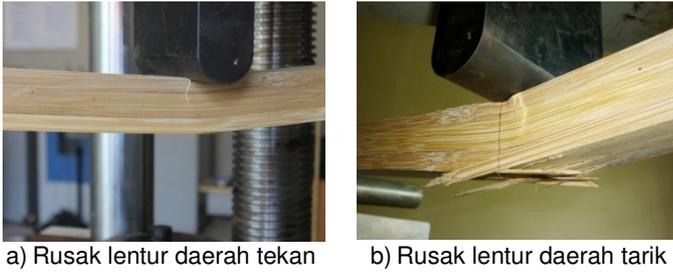
Pengujian lentur balok dilakukan untuk dua variasi posisi tampang bilah bambu balok uji pada arah radial (R) dan tangensial (T). Hasil pengujian disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan beban – lendutan lentur balok bambu petung laminasi

Tampak balok dengan arah beban tangensial lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan balok dengan arah beban radial, dimana nilai kuat lentur (MOR) dalam arah radial dan tangensial berturut-turut yaitu sebesar 122,30 MPa dan 139,67 MPa. Untuk nilai modulus elastistas (MOE) dalam arah radial dan tangensial balok berturut-turut nilainya 12,07 GPa, 12,78 GPa.

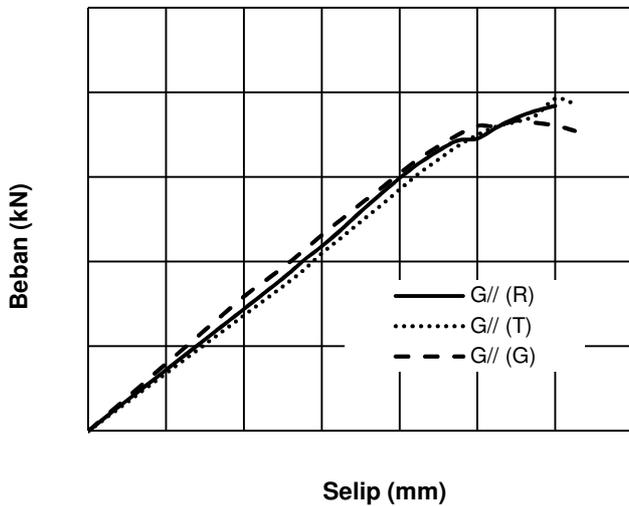
Keseluruhan benda uji lentur mengalami kegagalan lentur murni pada daerah tegangan terbesar (serat atas dan bawah) dengan ditandai rusak tekuk (serat atas) dan rusak tarik pada bagian bawah (tegangan tarik) dengan beban maksimum rata-rata 12,31 kN. Kerusakan lentur diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Kerusakan lentur daerah tekan a) Rusak lentur daerah tekan b) Rusak lentur daerah tarik laminasi

F. Kuat Geser Sejang Serat

Hasil uji geser bambu laminasi dengan variasi uji pada bidang radial (R), tangensial (T), dan garis perekat (G) disajikan pada Gambar 13. Kuat geser secara umum untuk ketiga kondisi tersebut tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Kuat geser sejang berturut-turut menurut variasi benda uji rata-rata, 8,46 MPa; 7,85 MPa dan 8,63 MPa.



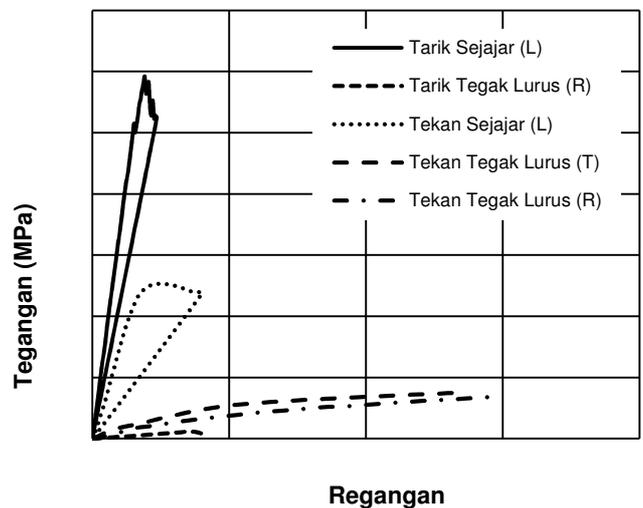
Gambar 13. Grafik hubungan beban – lendutan lentur balok bambu petung laminasi

G. Rekapitulasi Sifat Mekanika

Hasil rekapitulasi keseluruhan uji sifat mekanika bambu petung laminasi disajikan pada Tabel 3, sedangkan sifat mekanika dalam bentuk grafik untuk kuat tarik, dan kuat tekan disajikan pada Gambar 14.

Tabel 3. Nilai hasil uji rata-rata, standar deviasi dan maksimum-minimum sifat mekanika bambu laminasi.

No	Jenis uji	Hasil Rerata
1	$\sigma_{tkn //}$ , (MPa)	55,03
2	$E_{tkn //}$ , (GPa)	11,84
3	VLR	0,197
4	VLT	0,229
5	VRT	0,231
6	$\sigma_{tk \perp}$ (T) , (MPa)	12,07
7	$E_{tk \perp}$ (T) , (MPa)	814,39
8	$\sigma_{tk \perp}$ (R) , (MPa)	12,73
9	$E_{tk \perp}$ (R) , (MPa)	511,14
10	$\sigma_{trk \perp}$ (R) , (MPa)	2,63
11	$E_{trk \perp}$ (R) , (MPa)	75,33
12	$\sigma_{trk \perp}$ (T) , (MPa)	2,85
13	$E_{trk \perp}$ (T) , (MPa)	58,68
14	$\sigma_{trk // - TN}$ , (MPa)	192,86
15	$E_{trk // - TN}$ , (GPa)	25,45
16	$\sigma_{trk // - N}$ , (MPa)	109,32
17	$E_{trk // - N}$ , (GPa)	16,55
18	$\sigma_{trk // - NA}$ , (MPa)	139,09
19	$E_{trk // - NA}$ , (GPa)	17,13
20	MOR , (MPa)	130,98
21	MOE , (GPa)	12,42
22	$\tau_g$ (garis perekat) , (MPa)	8,63
23	$E_g$ (garis perekat) , (MPa)	227,55
24	$\sigma_{g //}$ (T) , (MPa)	7,85
25	$E_{g //}$ (T) , (MPa)	195,53
26	$\tau_{g //}$ (R) , (MPa)	8,46
27	$E_{g //}$ (R) , (MPa)	223,84



Gambar 14. Grafik sifat mekanika balok petung laminasi

KESIMPULAN

Sifat mekanika bambu laminasi didapatkan melalui uji dengan *Standard Methods of Testing Small Clear*

*Specimens of Timber* ASTM D143. Persamaan konstitutif material lamina *multilayer* linier elastik ortotropik digunakan sebagai dasar analisis numerikal dengan nilai-nilai parameternya adalah Young's Modulus (E)  $E_L = 11.840$  MPa ;  $E_R = 511,14$  MPa;  $E_T = 814,39$  Mpa, rasio Poisson  $\nu_{LR} = 0,179$ ;  $\nu_{LT} = 0,229$ ;  $\nu_{RT} = 0,231$ , dan Modulus Geser (G, MPa)  $G_{LR} = 2,6112$ ;  $G_{LT} = 1,0435$ ;  $G_{RT} = 1,0435$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Mechanical Engineers, 2002. ASTM D143: Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber. Annual book of ASTM Standards, Vol. 04.10., West Conshohocken, PA, USA.
- Breyer, D. E., 1988. *Design of Wood Structures*, Second Edition. Me Graw-Hill, New York
- Correal, J. dan Lopez, L., 2008, *Mechanical properties of Colombian glued laminated bamboo*, *Modern Bamboo Structures*, CRC Press/Balkema, AK Leiden, The Netherlands Taylor & Francis Group, London.
- European Standard EN 408, 2003. *Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties*. CEN, European Committee For Standardization.
- Irawati, I. S. dan Saputra, A. 2012, *Analisis Statistik Sifat Mekanika Bambu Petung*, prosiding Simposium Nasional Rekayasa dan Budidaya Bambu I 2012, Rekayasa Bambu sebagai solusi pelestarian lingkungan. ISBN:978-602-95687-6-9, 30 Januari 2012, JTSL FT UGM, Yogyakarta
- Morisco, 2006. *Teknologi Bambu*. Bahan Kuliah Magister Teknologi Bahan Bangunan. Program Studi Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Salim, A. M. A., 2006. Pengaruh Variasi Dimensi Bilah Bambu, Jenis Perekat dan Tekanan Kempa Terhadap Keruntuhan Lentur Balok Laminasi Bambu Petung. Tesis S2. Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta. (tidak diterbitkan).