

PENGARUH JENIS PEREKAT TERHADAP KERUNTUHAN LENTUR BALOK LAMINASI GALAR DAN BILAH VERTIKAL BAMBU PETUNG

Purnawan Gunawan

Jurusan Teknik sipil Fakultas Teknik UNS Surakarta. Email : purnawan_g@uns.ac.id

Abstract

Bonding technology in the term of lamination technique is the technique of merging small material with limited size into material that have bigger, longer, wider and thicker dimension. Synthetics commercial glues which commonly being used in Indonesia for wood bonding processes are urea formaldehyde and melamine formaldehyde. The natural weaknesses of laminated bamboo beam are bending and shear failures. The objectives of this research are to observe the influence glue type and the element of laminated beam of bamboo petung in bending and shear rupture. Preliminary test has been conducted to know more about the physical and mechanical behavior with ISO 3129-1975 standard. Two kinds of tests, bending and shear tests, have been carried out on both stripped and flatted laminated bamboos. Flatted beam was arranged with 13 layers of flatted bamboos, while stripped beam was made by almost 65 stripped bamboos that were arranged into 5 lamination layers. Cold pressure processes of urea and melamine were used on these vertical layers of laminated beam. Hydraulics jack was used to make 2.5 MPa pressure. Four points statically load system was applied on both bending and shear tests. From the preliminary tests on bamboos from Magelang have been noted that the moisture content and the density were 12.48% and 0.98 g/cm³, respectively. The mechanical behavior indicated the compression parallel and perpendicular, tensile, modulus of rupture, modulus of elasticity, shear strength were 62.53 MPa, 14.54 MPa, 203.374 MPa, 162.34 MPa, 13589 MPa and 9.18 MPa, respectively. Nevertheless, from the preliminary tests on bamboos from Wates indicated that the moisture content and the density were 23.75% and 0.702 g/cm³ while the mechanical behavior were 44.468 MPa, 13.407 MPa, 157.065 MPa, 117.39 MPa, 18209 MPa and 10.20 MPa, respectively on similar parameters above. From the values of moment, stiffness and Modulus of Rupture (MOR) parameters in bending and shear tests, it can concluded that the strength stripped laminated beam was higher than that of flatted laminated.

Keywords:

bamboo petung, bending and shear rupture, gluelam.

PENDAHULUAN

Dominasi penggunaan kayu pada bangunan teknik sipil yang menyebabkan tereksplotasinya hutan secara besar-besaran yang berdampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem alam, hutan menjadi gundul, yang menyebabkan banjir besar pada musim hujan. Di lain pihak, kebutuhan kayu untuk konstruksi semakin besar. Kebutuhan kayu tersebut digunakan untuk membangun dan renovasi rumah, mebel ataupun untuk kepentingan industri pengolahan kayu lainnya. Oleh karenanya diperlukan bahan alami lain yang mampu menggantikan kayu. Salah satu solusi dalam mengurangi penggunaan kayu adalah penggunaan lamina bambu.

Masalah yang timbul yaitu bahwa bambu mempunyai dimensi terbatas sehingga memerlukan teknologi laminasi yang dapat membentuk bambu menjadi bahan yang berdimensi sesuai kebutuhan konstruksi.

Teknologi perekatan berupa teknik laminasi adalah teknik penggabungan bahan yang berdimensi kecil dan terbatas menjadi bahan yang berdimensi lebih besar baik panjang, lebar dan tebal. Teknik laminasi

seperti ini mampu digunakan untuk membentuk dimensi bahan bangunan yang digunakan sebagai bahan konstruksi. Dengan penggunaan beberapa jenis perekat. (Prayitno, 1996).

Lamina bambu mempunyai sifat lemah terhadap kuat lentur dengan tipe keruntuhan lentur. Dalam hal ini perlu kiranya diadakan penelitian mengenai pengaruh jenis perekat terhadap kuat lentur dengan keruntuhan lentur balok laminasi galar dan bilah vertikal.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisika dan mekanika bambu petung dan mengetahui pengaruh dua perekat yang berbeda, terhadap keruntuhan lentur bambu laminasi bilah dan galar serta mengetahui jenis kerusakan masing-masing balok laminasi bilah dan galar dengan dua perekat akibat beban lateral statik.

Agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuan penelitian maka perlu dibatasi dengan lingkup permasalahan. Ruang lingkup penelitian ini adalah bambu yang dipakai adalah bambu petung, baik yang dibentuk secara galar maupun bilah. Perekat yang dipakai adalah *urea formaldehyde* dan

melamine formaldehyde. Jumlah perekat yang digunakan 50 GPU.

Pada penelitian ini terdapat dua hipotesis yang akan dibuktikan. Hipotesis yang pertama adalah perekat *urea formaldehyde* pada balok laminasi memiliki daya rekat lebih besar bila dibandingkan dengan *melamine formaldehyde*. Hipotesis yang kedua adalah kekuatan lentur balok laminasi bilah lebih kuat daripada balok laminasi galar.

Bambu Petung

Bambu merupakan jenis tanaman rumput-rumputan (*famili Graminae*) yang tumbuh hampir di seluruh dunia, terutama di benua Afrika, Amerika, Asia dan Australia. Saat ini telah diketahui sebanyak 50 negara yang terurai kedalam 700 jenis bambu. Bambu petung dapat tumbuh di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 2000 m diatas permukaan laut. Pertumbuhan cukup baik khususnya untuk daerah yang tidak terlalu kering. Bambu ini mempunyai warna kulit batang hijau kekuning-kuningan. Panjang batangnya berkisar antara 10-14 m, diameter batang 30-10 cm, panjang ruas antara 40-60 cm, dan tebal dindingnya antara 10-15 mm. Kuat tarik rata-rata bambu petung dalam keadaan kering oven sebesar 1900 kg/cm² (tanpa ruas) dan 1160 kg/cm² (dengan ruas) (Morisco, 2005).

Balok Laminasi

Balok laminasi dibuat dari lapisan-lapisan kayu yang relatif tipis, yang dapat digabungkan dan direkatkan sedemikian rupa untuk menghasilkan batang kayu dalam berbagai ukuran dan panjang (Breyer, 1988). Struktur *glulam* mempunyai lebar dan tinggi tertentu dengan ketebalan tiap-tiap lapisan tidak melebihi 2 inchi (Blass dkk, 1995). Untuk beberapa hal, sifat-sifat lamina tidak berbeda jauh dengan sifat bambu aslinya. Sifat akhir akan banyak dipengaruhi oleh banyaknya nodia/ruas yang ada pada satu batang bambu tersebut dan banyaknya perekat yang digunakan (Widjaja, 1995).

ASTM D 3737-92 memberikan dua jenis *glulam* atas dasar arah kerja pembebanan yaitu balok laminasi horisontal (*horizontally laminated*) dan balok laminasi vertikal (*vertically laminated*). Salah satu sifat lamina bambu adalah lemah terhadap kuat lentur. Sebagai penyelesaian masalah maka lamina bambu disusun secara vertikal agar kerusakan geser yang terjadi pada balok laminasi berkurang sehingga meningkatkan kekuatan lentur.

Jenis Perekat

Perekat sintetik komersial di Indonesia yang biasa digunakan untuk perekatan kayu terdiri atas perekat *urea formaldehyde*, *melamine formaldehyde*, *phenol*

formaldehyde, *resorsinol formaldehyde*, *cresol formaldehyde*. Jenis perekat komersial yang lain adalah perekat *epoxsi*, *polyvinil asetat*, perekat berbasis karet.

Dalam proses perekatan digunakan istilah *glue spread* yaitu banyaknya jumlah perekat yang dilaburkan per satuan luas permukaan bidang rekat. Jumlah perekat yang dilaburkan menggambarkan banyaknya perekat yang terlabur agar tercapainya garis perekat pejal yang kuat.

Satuan luas permukaan rekat ditentukan dengan satuan Inggris yaitu 1000 kaki persegi (1000 *square feet*) dengan singkatan MSGL yang dinyatakan dengan satuan pound (lbs). Jika kedua bidang permukaan dilabur maka disebut MDGL atau pelaburan dua sisi yang disebut *double spread* (Selbo, 1975 dalam Prayitno,1996:40).

Satuan perekat dikonversikan menjadi lebih sederhana yang disebut GPU (gram pick up), ditentukan dengan Persamaan 1.

$$GPU = \frac{S \cdot A}{317,5} \dots\dots\dots[1]$$

dengan GPU = *gram pick up* (dalam gram), S = jumlah perekat yang dilaburkan dalam pound/MSGL atau pound/MDGL, A = luas bidang yang akan direkatkan (inch²), Bila luas bidang rekat dalam satuan cm² digunakan faktor 2048,2 maka Persamaan 1 menjadi Persamaan 2.

$$GPU = \frac{S \cdot A}{2048,3} \dots\dots\dots[2]$$

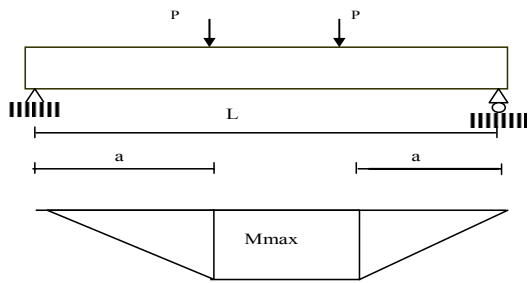
Sifat Fisika dan Mekanika

Pengujian terhadap sifat fisika dan mekanika bambu petung terdiri dari: kadar air, kerapatan, kuat tarik sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, kuat tekan sejajar serat, kuat geser sejajar serat, kuat lentur (MOR), dan modulus elastisitas (MOE) bambu petung.

Perancangan Balok Laminasi

Perancangan balok laminasi menggunakan tampang segi empat yang dibebani gaya transversal statik akan timbul tegangan dan regangan internal, sebagai bentuk perilaku perlawanan balok (Timoshenko dan Gere, 1996).

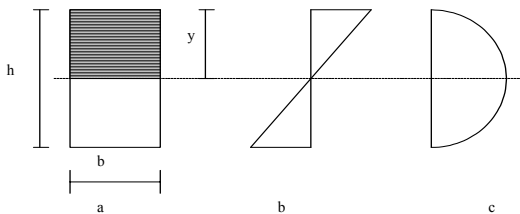
Pada balok laminasi dengan kondisi pembebanan seperti terlihat pada Gambar 1 dan 2, tegangan yang bekerja di penampang adalah gaya geser (D) dan momen lentur (M). Besar gaya geser dan momen lentur dapat dihitung dengan prinsip kesetimbangan statik.



Gambar 1. Sistem pembebanan *four point bending*

Hubungan tegangan-regangan terhadap perilaku balok yang dibebani beban dengan arah transversal sumbu longitudinal diperoleh Persamaan 3:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots [3]$$



Gambar 2. (a) Penampang balok, (b) Diagram tegangan regangan, (c) Distribusi tegangan geser

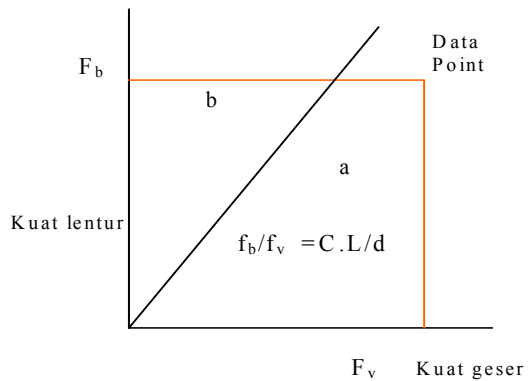
Panjang batas kritis balok laminasi diperoleh dari besarnya beban yang menyebabkan kegagalan lentur dan geser secara bersamaan berdasarkan jarak antar beban dan panjang bentang pada penelitian ini menggunakan Persamaan 4:

$$L_{cr} = \frac{4,64\sigma h}{8 \tau} \dots\dots\dots [4]$$

dengan σ = tegangan lentur, h = tinggi penampang, τ = tegangan geser

Tipe Keruntuhan

Tipe keruntuhan balok laminasi ditentukan dengan menggunakan konsep rasio L/d (Soltis, dkk., 1997:102). Berdasarkan Gambar 3 dan Persamaan 5 maka dapat diketahui tipe keruntuhan yang terjadi pada balok laminasi.



Gambar 3. Kriteria keruntuhan balok

$$\frac{f_b}{f_v} = C \frac{L}{d} \dots\dots\dots [5]$$

dengan:

$$f_b = \frac{M \cdot y_a}{I} \quad (\text{kuat lentur balok})$$

$$f_v = \frac{D \cdot S_c}{I \cdot b} \quad (\text{kuat geser balok})$$

Selanjutnya nilai kuat lentur hasil pengujian atau hasil perhitungan dengan cara analitis diposisikan terhadap garis $C.L/d$ sehingga dapat ditentukan jenis keruntuhan balok yang terjadi. Apabila titik pertemuan antara kuat lentur dan kuat geser berada pada zona a maka terjadi keruntuhan lentur dan sebaliknya bila titik pertemuan antara kuat lentur dan kuat geser berada pada zona b maka terjadi keruntuhan geser.

METODE

Bahan

Bambu petung diperoleh dari Salaman Kabupaten Magelang dan Kabupaten Wates/Kulonprogo. Perekat yang digunakan dalam pembuatan balok laminasi adalah perekat jenis *urea* dan *melamine*, bahan pengeras jenis asam NH_4Cl (HU12), dan bahan pengembang berupa tepung terigu.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu peralatan pembuatan benda uji, peralatan pengujian sifat fisika dan mekanika bambu serta balok laminasi.

Benda uji pendahuluan

Benda uji pendahuluan untuk mengetahui sifat fisika dan mekanika bahan dibuat berdasarkan ISO 3129-1975. Benda uji pendahuluan meliputi kerapatan, kadar air, kuat tekan sejajar serat dan kuat tekan tegak lurus serat, kuat tarik sejajar serat, kuat geser sejajar serat, kuat lentur (MOR) dan modulus elastisitas (MOE).

Benda Uji Balok Laminasi

Benda uji balok laminasi terdiri dari balok laminasi galar dan bilah. Balok laminasi galar dibuat dengan cara menggalar bambu, setelah melalui proses pengeringan dan penyerutan galar direkatkan dengan perekat *urea dan melamine*. Balok laminasi bilah dibuat dengan cara bambu dibilah, setelah melalui proses pengeringan dan penyerutan bilah direkatkan dengan perekat *urea dan melamine*. Setelah proses perekatan, balok laminasi dikempa dan dirapikan siap untuk diuji lentur. Ada dua variasi yang diteliti, variasi pertama penggunaan dua jenis perekat yaitu perekat *urea de dan melamine*. Variasi kedua adalah balok laminasi bilah atau galar. Tabel 1 menunjukkan keterangan masing-masing benda uji balok laminasi.

Tabel 1. Benda uji balok laminasi uji kuat lentur

Kode Balok	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Panjang (cm)	Jumlah
PUBML	6	12	240	2
PUBUL	6	12	240	2
PUGML	6	12	240	2
PUGUL	6	12	240	2

Keterangan:

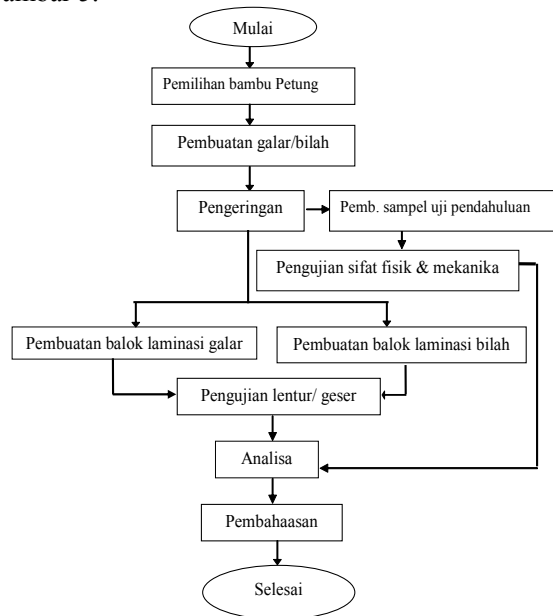
- PUBML : Pengujian untuk balok laminasi bilah dengan perekat melamin diuji lentur.
 PUBUL : Pengujian untuk balok laminasi bilah dengan perekat urea diuji lentur.
 PUGML : Pengujian untuk balok laminasi galar dengan perekat melamin diuji lentur.
 PUGUL : Pengujian untuk balok laminasi galar dengan perekat melamin diuji lentur.

Pelaksanaan penelitian di tiga tempat, untuk membuat balok laminasi dan benda uji pendahuluan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan UGM. Pelaksanaan pengujian benda uji pendahuluan di Laboratorium PAU UGM. Pengujian balok Laminasi di Laboratorium Struktur Teknik Sipil UGM. Secara keseluruhan tahapan pelaksanaan penelitian sesuai bagan alir pada Gambar 4.

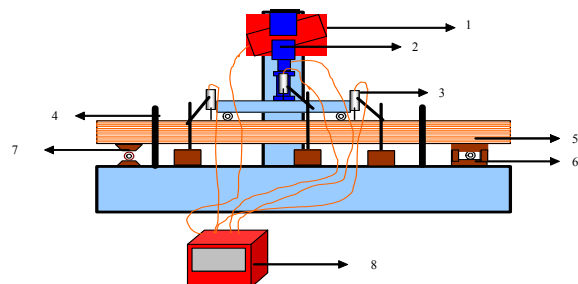
Pengujian kuat lentur menggunakan *Flexural Testing Machine (FTM)* dengan sistim tumpuan sederhana dan dua titik pembebanan. *FTM* ini dilengkapi dua pekekang lateral yang masing-masing terletak antara tumpuan dan titik pembebanan dan alat pembaca beban digital, *LVDT* pengukur besarnya lendutan balok dan *data logger* yang bisa mencatat besarnya lendutan dari *LVDT* secara digital.

Pengujian dimulai dari beban nol dan lendutan nol secara bertahap beban dinaikan dengan penambahan beban 100 N, dan pada tiap kenaikan 100 N dicatat nilai beban dan lendutan dengan cara memencet

tombol *print* pada *data logger*, secara digital *data logger* akan menyimpan data pembebanan dan lendutan yang disertai hasil *print out* data pembebanan dari *FTM* dan lendutan dari *LVDT*. Berikut *setting up* pengujian diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Bagan alir pelaksanaan penelitian



Gambar 5. *Setting up* pengujian

Keterangan:

1. Indikator beban
2. *Hydraulics jack*
3. *LVDT*
4. Pekekang lateral
5. Balok
6. Roll
7. Sendi
8. *Data logger*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisika

Kadar air dan kerapatan benda untuk bambu petung dari Magelang masing-masing sebesar 12,48% dan 0,598 g/cm³, sedangkan dari Wates 23,75% dan 0,702 g/cm³. Kadar air benda uji bambu petung dari Magelang telah memenuhi syarat kadar air perencanaan konstruksi yaitu untuk kayu yang akan direkatkan harus mempunyai kadar air ≤ 15% (LPMB,1961) dan perekatan struktur balok laminasi menurut ketentuan pabrik perekat, dalam hal ini

PT Pamolite Adhesive (PAI) disyaratkan kadar air lamina saat direkatkan berkisar 6-12%. Kadar air bambu dari Wates belum memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam pembuatan balok laminasi. Hal ini terjadi karena bambu petung dari Wates direndam dulu selama dua minggu, mengakibatkan kadar airnya tinggi.

Berdasarkan nilai kerapatan kayu dengan rentang berat jenis 0,9-0,6 termasuk kategori kayu kelas kuat II (Badan Standarisasi Nasional, 2002).

Sifat mekanika

Pengujian terhadap sifat mekanika bambu petung diperoleh nilai rata-rata kuat tarik sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, kuat tekan sejajar serat, kuat geser sejajar serat, kuat lentur (MOR), dan modulus elastisitas (MOE) bambu petung dari Magelang dan Wates masing-masing diperlihatkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil pengujian sifat mekanika bambu petung dari Magelang

No. Benda Uji	Tekan // (MPa)	Tekan \perp (MPa)	Tarik // (MPa)	Geser // (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1.	57,056	4,779	378,848	11,604	168,08	12203
2.	62,299	22,286	134,409	6,998	184,79	14557
3.	68,236	16,506	96,865	8,961	134,15	14171
Rata ²	62,530	14,524	203,374	9,183	162,34	13589

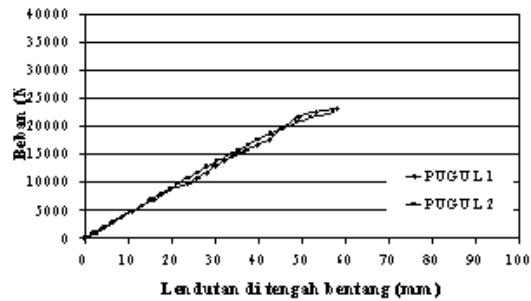
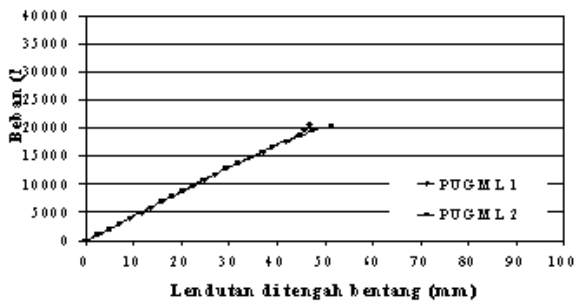
Tabel 3. Hasil pengujian sifat mekanika bambu petung dari Wates

No. Benda Uji	Tekan // (MPa)	Tekan \perp (MPa)	Tarik // (MPa)	Geser // (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1.	53,471	8,94	195,285	8,626	151,59	18940
2.	44,121	15,250	118,845	8,916	162,93	17479
3.	35,812	16,032	-	13,056	135,69	4273
Rata ²	44,468	13,407	157,065	10,200	117,396	18210

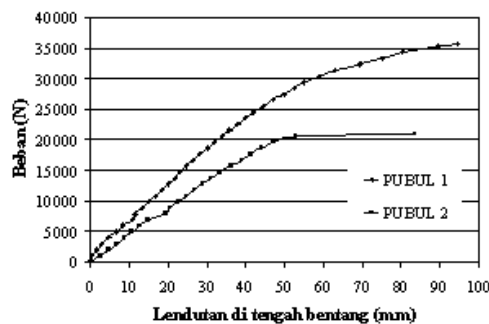
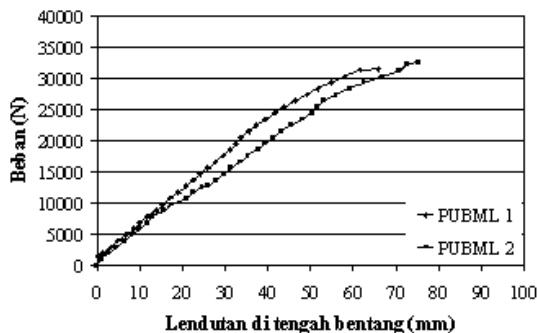
Berdasarkan analisis varian terhadap benda uji pendahuluan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa lokasi asal bambu memberikan pengaruh sangat tidak signifikan terhadap uji sifat fisika dan mekanika benda uji pendahuluan.

Kekuatan Balok Laminasi

Berdasarkan hasil pengujian lentur balok laminasi diperoleh hasil kekuatan balok laminasi seperti terlihat pada Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa pemakaian perekat *urea* pada balok laminasi galar maupun bilah pada umumnya lebih kuat dibandingkan perekat *melamine*. Hal ini mengingat bahwa pada dasarnya perekat *melamine* tersebut adalah hasil turunan kimia dari urea ditambahkan bahan aditif yang tingkat viskositasnya lebih rendah daripada perekat urea. Sehingga perekat *melamine* cenderung memiliki tingkat kekuatan yang relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan perekat *urea*.



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Pengujian Lentur



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Pengujian Lentur (lanjutan)

Perbandingan kekuatan antara balok bilah dan balok galar dengan perekat yang sama, balok bilah mempunyai kekuatan yang lebih besar daripada balok galar. Hal ini terjadi karena pembuatan galar bambu mengalami perlemahan kekuatan akibat cacahan parang dan adanya rongga-rongga arah memanjang pada lapisan galar yang muncul pada saat pembuatan galar, sedang pada balok laminasi bilah tidak ada cacat dan lebih solid.

Kekakuan Balok Laminasi

Nilai kekakuan adalah perbandingan antara beban proposional dengan lendutan proposional. Perbandingan kekakuan balok laminasi dengan dua perekat berbeda pada balok laminasi bilah dan galar ditinjau keruntuhan lentur diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan kekakuan balok laminasi keruntuhan lentur

Kode balok	Lendutan Beban		Kekakuan		Rasio Kekakuan Balok dgn beda perekat
	prop (mm)	prop (N)	Hasil (N/mm)	Rata ² (N/mm)	
PUGML 1	38,91	16661	428,25	426,78	0,97
PUGML 2	39,18	16661	425,30		
PUGUL 1	34,23	14701	429,54	441,81	1,00
PUGUL 2	32,38	14701	454,08		
PUBML 1	54,82	29402	536,34	511,72	1,00
PUBML 2	50,30	24501	487,11		
PUBUL 1	46,95	26461	563,62	493,46	0,96
PUBUL 2	43,99	18621	423,31		

Penggunaan perekat *urea* dan pada balok laminasi galar dan bilah pada pengujian lentur pada umumnya perekat *urea* lebih kuat dari *melamine*, namun perbedaannya tidak besar

Momen Internal dan Eksternal Balok Laminasi

Momen internal ditentukan dengan menggunakan metode pias. Momen eksternal balok laminasi didapat dari analisis beban dua titik dengan prinsip kesetimbangan statik balok dengan tumpuan sederhana

dengan kondisi *four-point load system*. Perbandingan momen internal dan eksternal diperlihatkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Perbandingan momen internal dan eksternal balok menunjukkan mendekati sama atau gaya dalam hampir sama dengan gaya luar, hal ini terlihat pada rasio momen internal dan eksternal tidak jauh dari angka satu dengan demikian syarat kesetimbangan struktur terpenuhi. Perbedaan nilai antara momen internal dan eksternal terjadi oleh kurang telitinya pembacaan besarnya lendutan dan beban pada saat pengujian balok laminasi.

Tabel 5. Perbandingan momen internal dan eksternal balok laminasi galar

Kode Balok	Momen internal Hasil (kNmm)	Momen eksternal Rata ² (kNmm)	Momen internal & Eksternal Rasio
PUGML 1	8687	8849	10635 / 10565 = 0,84
PUGML 2	9011		10494
PUGUL 1	12586	11521	11957 / 11780 = 0,98
PUGUL 2	10456		11603

Tabel 6. Perbandingan momen internal dan eksternal balok laminasi bilah

Kode Balok	Momen internal Hasil (kNmm)	Momen eksternal Rata ² (kNmm)	Momen internal & Eksternal Rasio
PUBML1	12957	13919	16333 / 16617 = 0,84
PUBML2	14880		16900
PUBUL1	17146	13870	18435 / 14616 = 0,95
PUBUL2	10594		10798

Kapasitas lentur

Nilai kapasitas lentur balok kayu atau yang biasa disebut *modulus of rupture* (MOR) dan *modulus of elastic* (MOE) (Gere dan Timoshenko, 1985). Harga MOR dan MOE diperlihatkan pada Tabel 7. Pada pengujian lentur, nilai MOR dan MOE untuk balok bilah lebih besar daripada balok laminasi galar. Hal ini terjadi balok laminasi bilah lebih solid daripada balok laminasi galar.

Tabel 7. Nilai MOR dan MOE balok laminasi uji lentur keruntuhan lentur

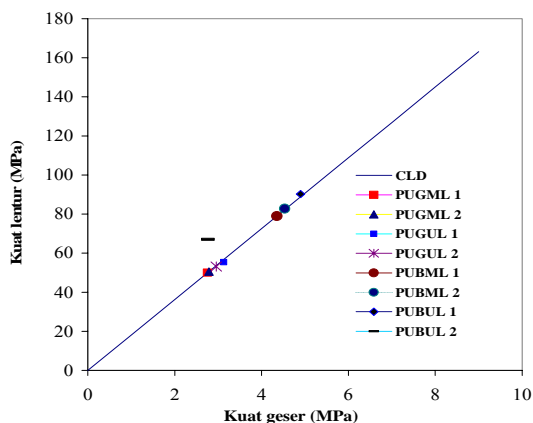
Kode Balok	P _{prop} (N)	Lendutan (mm)	MOR (MPa)	Rata-rata (MPa)	MOE (MPa)	Rata-rata (MPa)
PUGML 1	16661.13	38.91	72.52	73.01	13563	13704.40
PUGML 2	16661.13	39.18	73.49		13846	
PUGUL 1	14701.00	34.23	82.62	79.97	13820	13884.05
PUGUL 2	14701.00	32.38	77.31		13948	
PUBML 1	29402.00	54.82	115.35	118.36	17680	17072.92
PUBML 2	24501.66	50.30	121.37		16466	
PUBUL 1	26461.80	46.95	129.33	102.16	18395	16030.13
PUBUL 2	18621.26	43.99	74.99		13665	

Pada galar terjadi perlemahan kekuatan akibat cacahan parang dan adanya rongga-rongga arah memanjang pada lapisan galar yang muncul pada saat pembuatan galar. Pada pengujian lentur, nilai MOR dan MOE balok laminasi galar dan bilah dengan perekat *urea* pada umumnya lebih besar daripada balok laminasi galar dan bilah dengan perekat *melamine*.

Pola Keruntuhan Balok Laminasi

Tipe keruntuhan balok laminasi ditentukan dengan menggunakan konsep rasio L/d (Soltis, dkk., 1997:102). Jenis tipe keruntuhan balok yang mengalami lentur yaitu keruntuhan lentur dan geser. Penentuan tipe keruntuhan balok laminasi berdasarkan perbandingan nilai kuat lentur (f_b) dan kuat geser (f_v) terhadap garis $C.L/d$. Kriteria kerusakan balok laminasi galar dan bilah pada pengujian lentur ditunjukkan pada Gambar 7. Terlihat bahwa hampir semua titik berada di bawah garis CL/d sehingga dapat dikatakan seluruh balok laminasi lentur gagal akibat lentur, yang kemudian disertai dengan kegagalan geser kecuali balok laminasi PUBUL 2. Pada balok laminasi ini terjadi kegagalan geser. Hal ini terjadi karena balok laminasi dengan perekat urea yang sudah lama, dan kadar air balok laminasi masih tinggi pada waktu pengujian, sehingga terjadi penurunan daya rekatnya, maka terjadi keruntuhan geser pada daerah perekatnya.

Dari pengamatan pada saat pengujian kuat lentur keruntuhan lentur pada balok laminasi galar dan bilah kerusakan terjadi pada saat pembebanan maksimum pada daerah tekan dan daerah tarik. Retak vertikal terjadi pada daerah tarik dan tekan karena bahan tidak kuat menahan tekanan yang besar terletak sekitar sepertiga bentang bagian tengah.



Gambar 7. Tipe balok laminasi uji kuat lentur dengan keruntuhan lentur.



Gambar 8. Kerusakan balok galar dengan perekat *melamine formadehyde* dan *urea formaldehyde* uji lentur keruntuhan lentur.



Gambar 9. Kerusakan balok bilah dengan perekat *melamine formadehyde* dan *urea formaldehyde* uji lentur keruntuhan lentur.



Gambar 10. Kerusakan balok laminasi bilah (PUBUL 2) dengan perekat *urea formaldehyde* uji lentur keruntuhan lentur gagal geser

SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan terhadap hasil penelitian yang dilakukan dan tujuan dari penelitian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Bambu petung yang digunakan dalam pengujian mempunyai kekuatan yang cukup tinggi, baik bambu petung dari Magelang maupun Wates. Apabila bambu dianalogikan sebagai kayu, menurut LPMB-PKKI-1996 bambu tergolong ke dalam kayu kelas kuat II.
- Perekat *urea formaldehyde* pada balok laminasi galar maupun bilah menghasilkan kekuatan yang lebih kuat daripada perekat *melamine formaldehyde*. Pada pengujian kuat lentur balok laminasi galar dengan perekat *urea formaldehyde* besarnya MOR dan MOE adalah 79,97 MPa dan 13884 MPa lebih kuat daripada balok laminasi galar dengan perekat *melamine formaldehyde* yang mempunyai MOR dan MOE masing-masing sebesar 73,01 MPa dan 13704

Mpa, sedangkan pada pada pengujian kuat lentur balok laminasi bilah dengan perekat *melamine formaldehyde* mempunyai MOR dan MOE masing-masing sebesar 118,36 MPa dan 17073 MPa lebih kuat daripada pada balok laminasi bilah dengan perekat *urea formaldehyde* yang mempunyai besarnya MOR dan MOE adalah 102,16 MPa dan 16030 MPa. Ini berarti pada perekat *melamine formaldehyde* lebih kuat dari perekat *urea formaldehyde* tapi tidak beda nyata. Hal ini terjadi pada pelaksanaan laminasi PUBUL 2, perekat yang digunakan sudah cukup lama dan pengujian PUBUL 2 kadar airnya masih tinggi, belum stabil. Jenis tipe keruntuhan pada balok laminasi yang diuji lentur pada umumnya tipe keruntuhan lentur.

- c. Balok laminasi bilah mempunyai MOR, MOE lebih tinggi daripada balok laminasi galar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh PHKB. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Morisco, Ph.D dan Dr. Ir. Fitri Mardjono, M.Sc serta Prof. Ir. T. A. Prayitno, M.For selaku Pembimbing Thesis dan semua pihak yang memberikan kontribusi terhadap pelaksanaan penelitian.

REFERENSI

- ASCE, 2003, Annual Book of ASTM Standards Section 4, Philadelphia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia, SNI 03-1726-2002, Jakarta.
- Blass, H.J., P. Aune, B.S. Choo, R. Gortacher, D.R. Griffiths, B.O. Hilso, P. Raacher dan G. Steek, (Eds), 1995, Timber Engineering Step 1, First Edition, Centrum Hout, The Netherlands.
- Breyer, D.E., 1988, Design of Wood Structures, Second Edition, Mc Graw-Hill, New York.
- Gere, J.M. dan S.P. Timoshenko, 1985, Mechanics of Materials, Second Edition, Wadsworth, Inc, California.
- Liese, W, 1980, Anatomy and Properties of Bamboo, In: International Bamboo Workshop, October 6-14, 1985, Nanjing, China, pp 196 – 208
- LPMB, 1961, Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI -15 PKKI – 1961, Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Morisco, 2005, Rekayasa Bambu, Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Prayitno, T.A. 1996, Perekatan Kayu, Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- PT PAI, 2003, Spesifikasi Perekat, Probolinggo.
- Soltis, L.A dan D.R. Rammer, 1997, *Bending to Shear Ratio Approach for Beam Design*, Forest Product Journal, 47(1):104-108.