

PEMANFAATAN GALAR BAMBU PADA BALOK KOMPOSIT SENGON-BAMBU TERHADAP KUAT LENTUR

UTILIZATION OF BAMBOO GALAR ON SENGON-BAMBOO COMPOSITE BEAMS AGAINST MODULUS OF RUFTURE (MOR)

Nor Intang Setyo Hermanto^{1,*}, Agus Maryoto¹, I Gusti Lanang Bagus Eratodi²

*Email: nor.hermanto@unsoed.ac.id

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar

Abstrak— Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan bambu pada balok komposit kayu-bambu terhadap perilaku mekanika lentur. Balok komposit sistem sisip (*sandwich*) dibentuk dari lapisan bambu apus (*Gigantochloa apuz*) bentuk galar dan lapisan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) sebagai pengisi dengan teknik laminasi menggunakan perekat *Urea Formaldehida*. Benda uji balok komposit dibuat dengan variasi jumlah lapisan bambu terhadap struktur komposit sebesar 0%, 25%, 50%, dan 75%. Pengujian lentur dengan beban lateral statik tiga titik (*third point loading*) diberikan bertahap sampai batang runtuh. Hasil pengujian lentur balok komposit menunjukkan kekuatan yang meningkat secara signifikan dari rasio bambu 0% hingga 50%, sedangkan kekuatan balok dengan rasio bambu 75% lebih rendah dari balok rasio bambu 50%. Persentase peningkatan kekuatan balok berturut-turut dari rasio terendah hingga tertinggi adalah 0%; 62,23%; 100,65%; dan 92,28%. Nilai optimum kekuatan balok komposit dicapai pada rasio bambu 50% (RBB 50), yaitu MOR sebesar 21,46 MPa. Kerusakan yang terjadi pada balok komposit adalah rusak lentur murni untuk balok dengan rasio bambu 0%, 25%, dan 50%, sedangkan pada balok dengan rasio bambu 75% terjadi rusak geser.

Kata kunci — *Sengon, bambu apus, laminasi, balok komposit, kuat lentur.*

Abstract— The purpose of this study was to determine the effect of using bamboo on bamboo-wood composite beams on bending mechanical behavior. The sandwich composite system is formed from a layer of bamboo apus (*Gigantochloa apuz*) in the form of galar and sengon wood (*Paraserianthes falcataria*) as a filler with lamination techniques using Urea Formaldehyde adhesives. Composite beam specimens were made with variations in the number of layers of bamboo against composite structures of 0%, 25%, 50%, and 75%. Flexural testing with a static third point loading is given gradually until collapses. Composite beam flexural test results showed that the strength increased significantly from the ratio of bamboo 0% to 50%, while the flexural strength of the beam with a bamboo ratio of 75% lower than the bamboo ratio beam of 50%. The percentage of beam flexural strength increase from lowest to the highest ratio is 0%; 62.23%; 100.65%; and 92.28%. The optimum flexural strength of composite beam was achieved at a bamboo ratio of 50% (RBB 50), which was MoR of 21.46 MPa. Failure that occurs in composite beams is damaged by pure bending for beams with a bamboo ratio of 0%, 25%, and 50%, while in beams with a bamboo ratio of 75% there is a sliding failure.

Keywords — *Sengon, apus bamboo, laminated, composite-beam, modulus of rufture.*

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan pengolahan dan penggergajian kayu, kebutuhan kayu semakin meningkat. Namun demikian, pasokan kayu dari hutan alam sudah semakin menipis, serta kayu ukuran besar dan mutu tinggi sudah semakin sulit

diperoleh, sehingga harga kayu sekarang dirasa sudah sangat mahal. Permasalahan yang timbul saat ini yaitu faktor ukuran kayu yang terbatas dan mutu kayu gergajian yang rendah. Untuk mengatasi hal tersebut, telah dikembangkan teknik sambungan kayu dengan perekatan (laminasi) dengan

pemanfaatan bahan kayu maupun bahan yang lain dengan mutu bervariasi disesuaikan penempatannya pada tegangan rendah dan tinggi pada tampang elemen struktur. Salah satu hasil teknik perekatan adalah balok kayu laminasi (*glulam beam*) [1][2]. Balok kayu laminasi dapat dibuat dengan memanfaatkan kayu mutu rendah dikombinasikan dengan kayu mutu tinggi menjadi bahan komposit, sehingga diperoleh mutu kayu yang tinggi (lebih ekonomis). [3] memaparkan bahwa balok laminasi mempunyai kelebihan dibandingkan kayu gergajian yang solid yakni disamping kekuatan yang tinggi, deformasi yang terjadi lebih sedikit. Kayu mutu rendah (*lower-grade*) dapat digunakan untuk daerah tegangan rendah sehingga lebih efisien.

Selain kayu, bambu merupakan salah satu bahan yang sangat bermanfaat untuk konstruksi bangunan. Bambu dapat dipakai sebagai pengganti kayu ataupun dipakai bersama-sama dengan kayu, dimana bambu dengan mutu baik dapat diperoleh pada umur 3 – 5 tahun. Bambu di Indonesia merupakan bahan bangunan yang relatif murah, mudah didapat dan dipergunakan secara tradisional untuk perumahan rakyat dan konstruksi lain yang sederhana. Serat bambu mempunyai kekuatan tarik sejajar serat yang tinggi namun kekuatan gesernya rendah [4] [5] [6], kuat tarik bambu dapat mencapai dua kali kuat tarik baja tulangan. Kriteria pemilihan bambu sebagai bahan bangunan dapat didasarkan pada harganya yang rendah serta kemudahan untuk memperolehnya [6].

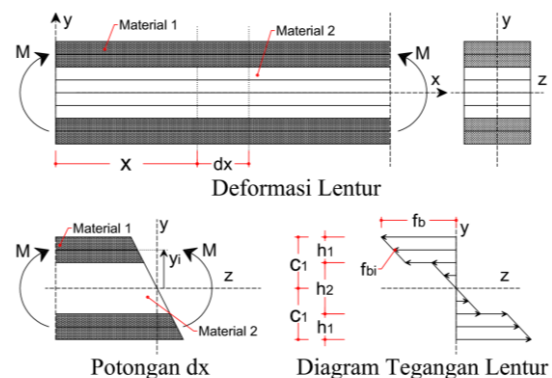
Bila jenis kayu dan bambu dimanfaatkan sebagai balok komposit, maka diharapkan dapat menghemat penggunaan kayu kualitas tinggi dan biaya yang dikeluarkan lebih murah. Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan bambu apus pada komposit kayu-bambu terhadap kekuatan dan kekakuan lentur balok laminasi dan mengetahui jenis kerusakan balok komposit akibat beban lentur.

Kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) dikenal masyarakat di Indonesia dengan nama antara lain: albazia, bae, bai, jeungjing (sunda), sengon laut (jawa), jing laut, sengon sebrang, sika, sika bot, sikas, tawa sela, wai, wiekkie dan wahagom [7]. Kayu sengon umur 8 tahun atau lebih dapat dipakai sebagai kayu konstruksi bangunan sederhana bila keawetannya mendukung. Kayu sengon umumnya mempunyai berat jenis 0,24 sampai 0,49 (rata-rata 0,33). Nilai penyusutan kayu sengon dibawah 2,5% arah radial dan kurang dari 5,2% arah tangensial. Hasil penelitian [7], menyatakan bahwa berat jenis kayu sengon dan sifat mekaniknya berpengaruh terhadap umurnya sejak umur 6 hingga 10 tahun.

Hasil penelitian [8], kekuatan lentur kayu sengon dapat mencapai 43,18 MPa dan kekuatan tekan sejajar serat sebesar 26,85 MPa dengan berat jenis rata-rata kayu sengon sebesar 0,314 g/cm³.

Bambu apus (*Gigantochloa Apus*) di berbagai daerah di Indonesia dikenal dengan nama bambu tali, sedang di berbagai daerah bambu tersebut dikenal dengan nama ami tali, pring tali, pring apus, pereng tele, tiing tali dan tiing tlantan [6]. Bambu apus relatif tidak mudah terserang bubuk sekalipun tidak diawetkan [9], sehingga bambu jenis ini banyak dipakai sebagai bahan bangunan. Kelebihan lain bambu apus adalah kuat, liat, lurus, serta mempunyai serat yang panjang kuat dan lentur. Kekuatan tarik bambu apus tanpa buku mencapai 151,5 MPa, sedangkan kekuatan tekan maksimum rata-rata sebesar 279,53 MPa untuk benda uji dengan berbagai posisi [6] Kuat tarik rata-rata dalam keadaan kering oven bambu apus adalah 1515 kg/cm² (tanpa buku) dan 552 kg/cm² (dengan buku).

Spesifikasi NDS [10] mengijinkan dipergunakannya persamaan lentur seperti perancangan balok kayu solid dengan faktor modifikasi yang telah ditentukan. Idealisasi tegangan aktual yang terjadi dapat diilustrasikan pada Gambar-1.



Gambar-1. Idealisasi distribusi tegangan lentur balok laminasi.

Berdasarkan diagram tegangan tersebut dapat dihitung besarnya tegangan lentur dengan menggunakan Persamaan 1.

$$f_b = \frac{M \cdot y}{I_t} \leq F_b \times C_i \quad (1)$$

dengan M = momen akibat beban lateral, y = jarak dari garis netral ke serat penampang yang ditinjau, I_t = momen inersia transformasi balok

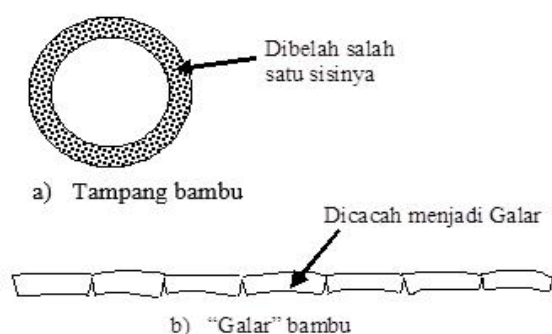
laminasi (Persamaan 1), dan F_b = tegangan lentur yang diijinkan, C_i = faktor-faktor modifikasi.

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

Bahan utama berupa bambu apus dan kayu sengon. Kayu sengon dengan ukuran 2 x 20 x 210 cm (penampang kotor) dipilih secara acak dengan memperhatikan warna kayu, cacat, retakan, dan kesempurnaan penampang. Kayu sengon sebelum digunakan disimpan di laboratorium sedemikian rupa disusun. Bahan utama berupa bambu apus dan

kayu sengon. Kayu sengon dengan ukuran 2 x 20 x 210 cm (penampang kotor) dipilih secara acak dengan memperhatikan warna kayu, cacat, retakan, dan kesempurnaan penampang. Kayu sengon sebelum digunakan disimpan di laboratorium sedemikian rupa dengan disusun menggunakan klos-klos kayu sehingga memungkinkan terjadinya sirkulasi udara yang baik dalam proses pengeringan dan diharapkan akan diperoleh kadar air yang seragam dan memenuhi syarat untuk pembuatan benda uji.



Gambar-2. Pembuatan bahan bambu apus berupa galar

Bambu petung diperoleh dari pedagang bambu dalam bentuk bilah-bilah (galar) bambu sepanjang 210 cm. Seluruh bambu yang dipakai dengan ketebalan rata-rata 7,5 – 12,5 mm, lebar rata-rata 180 mm, dan sudah dalam keadaan kering udara (kadar air dikontrol dengan alat ukur kadar air MC diperoleh sekitar 14%). Galar adalah sejenis lembaran papan dari bambu bulat yang dibelah salah satu sisinya, kemudian dicacah pada bagian dalam secara memanjang hingga diperoleh lembaran-lembaran bambu menyerupai ayaman tikar (Gambar-2).

Galar berbeda dengan bilah bambu yang dibelah memanjang serat bambu hingga dibentuk seperti reng-reng bambu. Bahan perekat yang dipergunakan adalah jenis perekat *setting* dingin dan mengeras pada suhu ruang. Perekat merupakan campuran adonan yang terdiri dari resin urea formaldehida (UF) dengan kode UA-104, bahan pengeras (*hardener*) yang berbentuk bubuk asam NH_4Cl dengan kode HU-12 yang diperoleh dari PT Pamolite Adhesive Industry (PAI) Probolinggo Jawa Timur, sedangkan bahan tambah berupa pengembang (*extender*) dipergunakan bersama dengan perekat dan pengeras berupa tepung terigu.

Alat yang dipergunakan dalam penelitian terdiri dari alat pembuatan benda uji, alat uji fisika, dan alat

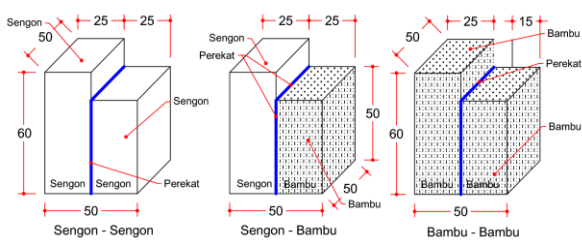
pengujian mekanika. Beberapa peralatan tersebut diantaranya yaitu:

- Mesin planner untuk menyerut kayu dan bambu merk SCM-S52.
- Gergaji circular saw untuk membuat sampel uji merk SCM-SI 16 W.
- Universal Testing Maching (UTM) untuk uji mekanika merk United.
- Kempa hidraulik untuk proses perekatan merk Carver Laboratory Press.
- Dial gauge untuk mengukur besarnya lendutan pada benda uji merk Peacock.
- Load cell dan transducer indicator untuk mengukur besarnya beban yang diberikan pada benda uji.
- Moisturemeter Content (MC) untuk menentukan persentase kadar air merk Delmhorst.
- Alat-alat lainnya seperti meteran, timbangan, klem, cawan pencampur, pengaduk perata perekat, kunci, dan lain-lain.

B. Benda Uji

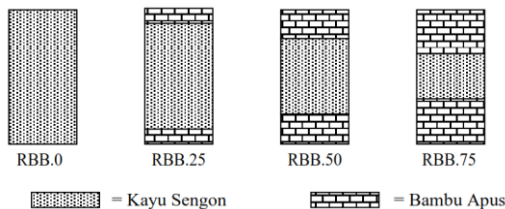
Benda uji terdiri dari benda uji pendahuluan dan benda uji utama. Benda uji pendahuluan untuk mengetahui sifat fisika dan mekanika bahan dibuat berdasarkan standar ISO mengingat ukuran bahan terutama bambu yang tidak memungkinkan untuk

dibuat benda uji berukuran besar. Selain untuk kayu dan bambu, dibuat juga benda uji untuk blok geser laminasi. Masing-masing dibuat dalam tiga ulangan. Tekanan alat kempa yang diberikan sebesar 0,5 sampai dengan 1,0 MPa dan lama waktu pengempaan 10 jam. Jenis dan jumlah benda uji pendahuluan untuk kayu sengon dan bambu apus yaitu: kerapatan, kadar air, tekan, tarik, lentur, dan geser. Untuk mengetahui kekuatan geser perekat, maka dibuat benda uji blok geser perekat antar bahan (sengon-sengon, sengon-bambu, dan bambu-bambu) seperti terlihat di dalam Gambar-3.

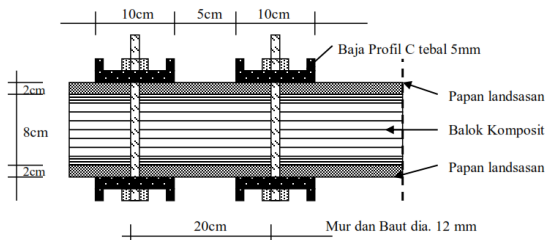


Gambar-3. Blok geser perekat 3 tipe

Benda uji utama (balok komposit sengon-bambu) dibuat dengan variasi jumlah lapisan bambu 0%, 25%, 50%, dan 75%, dengan kode benda uji RBB (Rasio Bambu Balok) seperti disajikan di dalam Gambar-4. Ukuran balok komposit RBB disajikan di dalam Tabel 1.



Gambar-4. Penampang melintang balok komposit RBB



Gambar-5. Proses pengempaan balok komposit dengan profil baja kanal

C. Pelaksanaan Penelitian

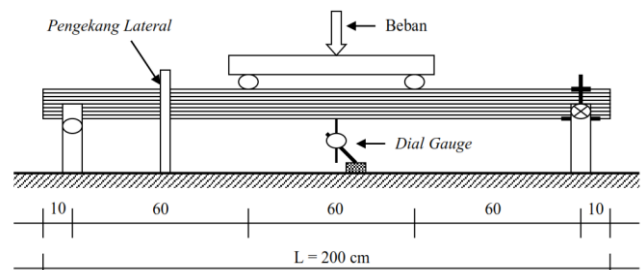
Balok komposit dibuat dengan teknologi laminasi menggunakan jumlah perekat UF terlatur 50 MDGL [11]. Perbandingan campuran adukan perekat dibuat sesuai dengan rekomendasi pabrik yaitu 150 : 25 : 0,5 (resin : pengembang : pengeras). Kayu sengon

dan galar bambu apus yang sudah kering udara (8-15%) diplaner dengan ketebalan tertentu sampai benar-benar rata. Pembuatan balok dilakukan dengan merekatkan masing-masing bagian sesuai variasi bambu terhadap balok (RBB). Dalam pelaksanaannya jumlah perekat yang dipergunakan dlebihkan 30 % untuk faktor kehilangan dan mengisi di celah-celah galar bambu agar diperoleh laminasi yang padat dan pejal. Proses pelaburan pada kedua bidang rekatan masing-masing lembaran papan. Pengempaan dilakukan memakai baja profil kanal yang diberikan papan landasan dibagian bawahnya untuk meratakan tekanan ke seluruh bidang balok (Gambar-5). Pemberian tekanan dilakukan dengan memakai *hydraulic jack* sebesar 0,5 sampai 1,0 MPa, kemudian baut pemegang dikencangkan satu per satu. Setelah seluruh baut dikencangkan, balok diletakkan selama 10 jam untuk kemudian dilepaskan kembali dari klem baja

Tabel-1. Ukuran benda uji balok komposit RBB

Kode Balok	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Persentase Bambu	Jumlah
RBB.0	2000	60	80	0 %	3
RBB.25	2000	60	80	25 %	3
RBB.50	2000	60	80	50 %	3
RBB.75	2000	60	80	75 %	3
Jumlah					12

Pengujian balok komposit dilakukan pada tumpuan sendi-rol dengan dua buah titik pembebanan pada jarak sepertiga bentang bersih (180cm). Pada pengujian lentur diharapkan terjadi kerusakan lentur murni di bagian tengah bentang dengan menghilangkan pengaruh gaya geser. *Setting up* pengujian lentur ditunjukkan dalam Gambar-6.



Gambar-6. Setting up pengujian balok komposit

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Fisika dan Mekanika Bahan

Kadar air pada sampel benda uji kayu sengon yang diamati berkisar antara 12,554-14,976%, dengan kadar air rata-rata 13,593%. Kadar air pada

sampel benda uji bambu apus menunjukkan angka berkisar antara 10,317% sampai dengan 11,811%, dengan kadar air rata-rata bambu apus diperoleh sebesar 11,233 %. Hal ini berarti kadar air benda uji telah mencapai kadar air yang diinginkan yakni kadar air keseimbangan atau kadar air kering udara di mana kadar air kering udara di Indonesia berkisar antara 12-20%. Pemeriksaan kadar air dengan alat *moisturemeter content (MC)* menunjukkan angka rata-rata sebesar 13% untuk kayu sengon dan 11% untuk bambu apus. Kerapatan sampel uji kayu sengon yang diamati berkisar antara 0,27 g/cm³ sampai dengan 0,297 g/cm³ dengan nilai rata-rata

sebesar 0,284 g/cm³. Pada bambu apus yang belum diolah, tercatat kerapatan berkisar antara 0,596 g/cm³ sampai dengan 0,653 g/cm³ dengan nilai rata-rata sebesar 0,621 g/cm³.

Berdasarkan hasil pengujian kerapatan ini, maka kayu sengon termasuk dalam jenis kayu-kayu lunak dan sudah sesuai dengan nilai kerapatan kayu sengon pada umumnya, yaitu berkisar antara 0,24 g/cm³ hingga 0,49 g/cm³, atau rata-rata 0,33 g/cm³ [12] [13]. Dari pengujian sifat mekanika bahan, untuk kayu sengon dan bambu apus diperoleh hasil seperti tercantum dalam Tabel-2.

Tabel-2. Rata-rata hasil uji sifat mekanik bahan Kayu dan Bambu

No.	Jenis Pengujian	Kayu Sengon (MPa)	Bambu Apus (MPa)
1.	Kuat tekan tegak lurus serat	4,79	42,62
2.	Kuat tekan sejajar serat	19,61	34,05
3.	Kuat tarik sejajar serat	52,51	141,46
4.	Kuat geser	5,14	7,12
5.	Kekuatan lentur (MOR)	30,32	77,89
6.	Elastisitas (MOE)	5119,06	10932,43

Kekuatan kayu sengon dalam pengujian lentur murni sebesar 30,32 MPa terlihat lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan yang dimiliki oleh bambu apus yaitu sebesar 77,89 MPa. Ditinjau nilai modulus elastisitas bahan kayu sengon (5119,06 MPa) menurut SNI 7973:2013 maka kayu sengon termasuk dalam kayu mutu E5 [14]. Mengingat

balok laminasi yang akan diuji dengan memakai jenis pembebanan yang sama, maka dari hasil ini dapat diduga bahwa kayu sengon akan mengalami kerusakan lebih dahulu dibandingkan dengan bambu apus.

Tabel 3. Hasil pengujian dan persentase kerusakan blok geser laminasi

No	Sengon-Sengon		Sengon-Apus		Apus-Apus	
	Kuat Geser (MPa)	Kerusakan (%)	Kuat Geser (MPa)	Kerusakan (%)	Kuat Geser (MPa)	Kerusakan (%)
1	4,97	60% Sengon 40% Perekat	4,53	50% Sengon 40% Perekat 10% Apus	5,40	95% Perekat 5% Apus
2	5,94	100% Sengon 0% Perekat		70% Sengon 30% Perekat 0% Apus	4,59	100% Perekat 0% Apus
3	5,37	90% Sengon 10% Perekat	5,25	40% Sengon 60% Perekat 0% Apus	5,27	100% Perekat 0% Apus
Rata-Rata	5,43		4,54		5,09	

Hasil pengujian blok geser laminasi dilakukan untuk mendapatkan kekuatan daya rekat antar bahan (sengon-sengon, sengon-bambu, dan bambu-bambu). Dari hasil pengujian blok geser laminasi diperoleh nilai kuat geser dan model kerusakan masing-masing blok geser seperti disajikan di dalam Tabel-3.

Untuk kekuatan geser perekat pada blok geser kayu sengon-sengon dapat dikatakan mendekati dengan kekuatan geser kayu utuhnya (5,14 MPa), sehingga dapat dikatakan kekuatan perekat cukup

baik menahan gaya geser. Sedangkan untuk kekuatan geser perekat pada blok geser bambu apus-apus menghasilkan kekuatan yang jauh dibawah kekuatan geser bambu utuhnya (7,12 MPa). Sehingga untuk lamina bambu betul-betul mengandalkan kekuatan perekatnya. Ditinjau dari persentase kerusakan yang terjadi, untuk blok geser laminasi sengon-sengon kerusakan yang terjadi lebih dominan pada kayu sengon, hal ini menunjukkan kekuatan perekat cukup baik. Untuk blok geser

laminasi sengon-apus, persentase kerusakan yang terjadi adalah hampir seimbang antara kayu sengon dan perekat, sedangkan bambu apus tidak mengalami kerusakan berarti. Untuk blok geser laminasi apus-apus, persentase kerusakan semua terjadi pada garis perekatnya (bahan perekat). Namun demikian ditinjau secara keseluruhan dari hasil uji blok geser laminasi diperoleh kekuatan geser perekat cukup baik, hal ini ditunjukkan dengan nilai hasil uji yang seragam, yaitu nilainya berkisar antara 4,54 – 5,43 Mpa.

B. Kekuatan Balok Komposit (Laminasi)

Hasil pengujian lentur balok komposit RBB diperoleh grafik hubungan beban dan lendutan seperti disajikan di dalam Gambar-7. Tampak pada Gambar-7a, bahwa dari hasil pengujian balok RBB.0-1 menunjukkan nilai beban maksimum dan lendutan maksimum yang paling besar. Beban maksimum untuk balok RBB.0-1 dicapai sebesar 680,192 kg, sedangkan pada balok RBB.0-2 beban maksimum dicapai sebesar 622,558 kg, dan untuk balok RBB.0-3 dicapai pada beban maksimum sebesar 459,519 kg. Hasil pengujian lentur balok RBB.25 (Gambar-7b) nilai batas proporsional terlihat berada di kisaran beban 700 – 800 kg. Balok RBB.25-3 mempunyai kekuatan yang paling besar dibandingkan dengan kedua balok lainnya, yaitu sebesar 1097,654 kg. Pada pengujian balok laminasi RBB.50 (Gambar-7c) tampak balok RBB.50-2 mempunyai nilai beban puncak yang paling kecil. Secara berturut-turut besar beban maksimum yang dicapai dari benda uji ke-1, 2, dan 3 untuk balok rasio bambu 50% sebesar 1289,769 kg ; 990,692 kg ; dan 1255,50 kg.

Pada balok RBB.50-2 mempunyai grafik hubungan beban-lendutan yang plastis. Untuk balok RBB.75 (Gambar-7d) menunjukkan bahwa semua balok RBB.75 kekuatan maksimum dicapai masih dalam batas elastisnya. Tidak tampak pada grafik secara nyata perilaku balok inelastis. Hal ini disebabkan oleh kerusakan (runtuh) balok terjadi pada saat balok belum melewati batas elastisnya. Alasan ini diperkuat dengan jenis kerusakan yang terjadi pada balok RBB.75, dimana semua balok mengalami rusak geser pada garis perekat sekitar garis netral. Kondisi ini menunjukkan kekuatan lentur sepenuhnya belum tercapai, namun sudah didahului oleh rusak geser. Beban maksimum yang dicapai sebesar 859,327 kg untuk balok RBB.75-1, dan untuk balok RBB.72-2 kekuatan maksimum dicapai pada beban sebesar 1354,154 kg, sedangkan untuk balok RBB.75-3 beban maksimum dicapai

sebesar 1175,019 kg. Untuk balok RBB.75-1 mempunyai kekuatan lentur yang paling kecil dibanding kedua balok lainnya, bahkan juga lebih kecil dari balok RBB.50.

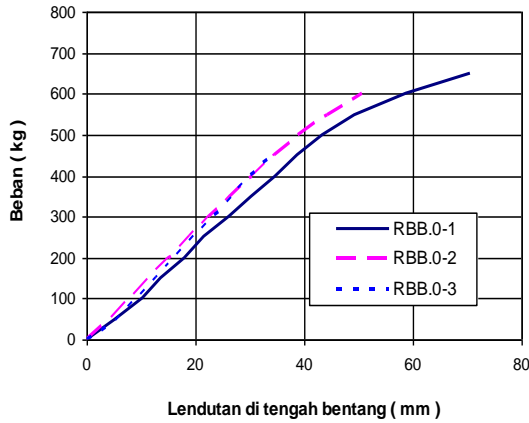
Nilai kekuatan balok dicapai untuk masing-masing benda uji, baik untuk beban puncak, beban runtuh dan beban batas proporsional disajikan pada Tabel-4. Secara rata-rata kekuatan balok komposit laminasi (glulam) meningkat secara signifikan dari balok RBB.0 hingga balok RBB.50, sedangkan dari balok RBB.0 hingga balok RBB.75 tidak terjadi peningkatan, bahkan kekuatan menurun. Apabila kekuatan hasil eksperimen balok tersebut secara rata-rata dibandingkan dengan hitungan analitis (teoritis) disajikan pada Gambar-7.

Tampak pada Tabel-4 batas elastis meningkat dari rasio bambu balok 0-75 %, namun peningkatan tidak begitu besar dari rasio 50 % ke 75 %. Untuk balok RBB.25 dan RBB.50 nilai beban runtuh tidak sama dengan beban puncak, yaitu sedikit lebih rendah. Berbeda dengan balok RBB.0 dan balok RBB.75, beban runtuh sama dengan beban puncak. Hal ini menunjukkan perbedaan perilaku balok RBB.0 lebih bersifat getas, balok RBB.25 dan RBB.50 bersifat daktal, sedangkan balok RBB.75 juga sedikit bersifat getas (pengaruh perekat dan sengon) pada daerah garis netral. Perbandingan hasil hitungan teoritis dan eksperimental (Gambar 7) menunjukkan secara umum hasil dari balok RBB.0 ke balok RBB.75 memiliki tren peningkatan yang hampir sama secara nonlinier, namun sedikit untuk hasil eksperimental terjadi penurunan nilai beban puncak dari balok RBB.50 ke RBB.75.

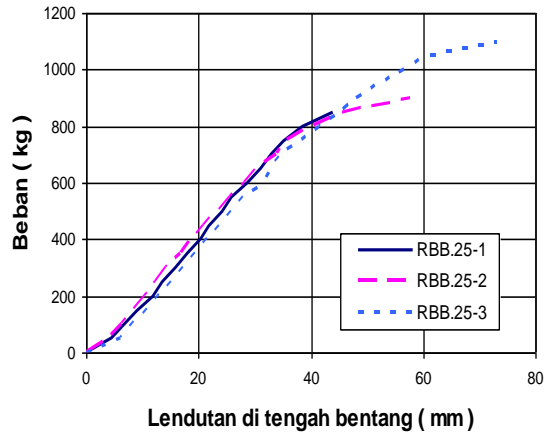
Berturut-turut persentase peningkatan kekuatan balok hasil eksperimen dari rasio bambu 0%, 25%, 50%, dan 75% sebesar 0% ; 62,23% ; 100,65% ; dan 92,28%. Perbedaan hasil ini dapat dijelaskan apabila kita melihat dari bentuk kerusakan benda uji masing-masing balok. Pada balok RBB.0 dengan sepenuhnya bahan balok dari kayu sengon, pada saat pengujian, kerusakan terjadi adalah lentur. Demikian halnya dengan balok RBB.25 dan balok RBB.50, juga terjadi rusak lentur, dengan sebagian balok didahului rusak tekuk lamina bambu pada titik beban. Sedangkan pada balok RBB.75, kerusakan terjadi adalah rusak geser, yaitu berupa selip atau bergesernya antara lapisan atas dan bawah balok, dan sobek terjadi pada garis netral penampang (gaya geser terbesar). Hal ini tentu saja terjadi untuk rasio balok 75%, karena pada bagian tengah tersebut (garis netral) terdiri dari bahan lamina bambu-bambu yang mempunyai hasil pengujian pendahuluan blok geser laminasi adalah paling rendah. Juga hal ini

didukung dengan tebal lapisan bambu apus yang kemungkinan terlalu tebal hampir mendekati berada

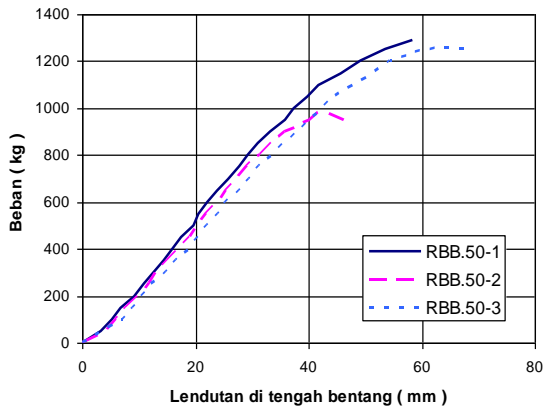
ditengah penampang balok (daerah geris netral) yang menerima gaya geser terbesar.



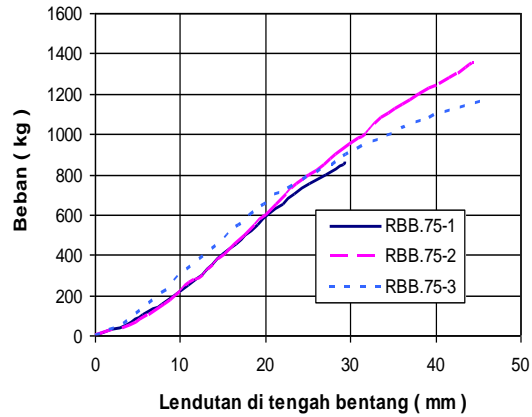
a) Grafik hub. Beban lendutan RBB.0



b) Grafik hub. Beban lendutan RBB.25



c) Grafik hub. Beban lendutan RBB.50



d) Grafik hub. Beban lendutan RBB.75

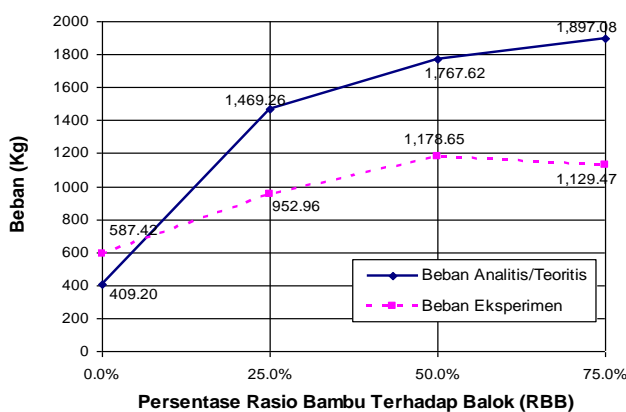
Gambar-7. Grafik hubungan beban-lendutan balok RBB

Tabel-4. Rekapitulasi kekuatan balok komposit laminasi

No	Kode Balok	BEBAN (Kg)					
		Eksperimen			Rata-rata		
		Batas Proporsi	Puncak	Runtuh	Batas Proporsi	Puncak	Runtuh
1	RBB.0-1	500	680,192	680,192			
2	RBB.0-2	500	622,558	622,558	483,33	587,42	587,42
3	RBB.0-3	450	459,519	459,519			
4	RBB.25-1	700	856,731	856,731			
5	RBB.25-2	750	904,500	850,00	750,00	952,96	910,58
6	RBB.25-3	800	1097,654	1025,00			
7	RBB.50-1	1000	1289,769	1240,00			
8	RBB.50-2	800	990,692	920,00	933,33	1178,65	1125,00
9	RBB.50-3	1000	1255,500	1215,00			
10	RBB.75-1	800	859,237	859,237			
11	RBB.75-2	1200	1354,154	1354,154	950,00	1129,47	1129,47
12	RBB.75-3	850	1175,019	1175,019			

Tabel-5. Perubahan kekakuan balok laminasi

NO	Kode Balok	Kekakuan Balok		Rata-rata Kekakuan		Peningkatan Kekakuan (%)	
		$k = (P/\delta)$	$EI = (M/\phi)$	$k = (P/\delta)$	$EI = (M/\phi)$		
		kg/mm	kN.mm ²	kg/mm	kN.mm ²		
1	RBB.0-1	11,52	12,50				
2	RBB.0-2	12,80	19,01	12,52	18,57	0,00%	0,00%
3	RBB.0-3	13,23	24,20				
4	RBB.25-1	21,19	90,87				
5	RBB.25-2	21,15	180,80	20,54	105,07	64,08%	465,74%
6	RBB.25-3	19,29	43,55				
7	RBB.50-1	26,77	142,11				
8	RBB.50-2	25,47	133,33	25,24	116,95	101,63%	529,71%
9	RBB.50-3	23,48	75,42				
10	RBB.75-1	29,52	51,43				
11	RBB.75-2	31,45	51,43	30,47	56,52	143,42%	204,34%
12	RBB.75-3	30,44	66,72				



Gambar-8. Perbandingan kekuatan balok eksperimen dan abalitis

C. Kekakuan Balok Komposit (Laminasi)

Penggunaan lamina bambu apus dalam balokkomposit mengakibatkan terjadinya perubahan kekakuan balok sebagaimana terlihat pada Tabel-5.

Kekakuan tertinggi dicapai pada rasio bambu terhadap balok sebesar 75%. Secara umum peningkatan kekakuan akan menambah kekuatan balok dalam menahan beban lentur. Namun karena nilai kekakuan adalah masih dalam kondisi batas elastis (proporsional).

Sehingga untuk kondisi inelestis, perilaku balok sudah berbeda, tergantung dengan mutu masing-masing bahan dan teknik peraktannya. Sedangkan faktor kekakuan (EI) diperoleh dengan memakai metode beda hingga, dimana hasilnya adalah tercantum pada Tabel-5. Apabila ditinjau dari kekakuannya, balok RBB.75 mestinya paling kuat dibanding balok lainnya. Namun untuk beban sedikit diatas batas elestisnya balok dengan rasio bambu 75% sudah mengalami kegagalan struktur.

D. Kerusakan Balok

Kerusakan balok akibat lentur terjadi dua jenis kerusakan pada balok, yaitu rusak lentur dan geser. Kerusakan lentur sesuai dengan hasil yang diharapkan untuk pengujian, namun jenis kerusakan geser kemungkinan terjadi karena faktor rasio bambu terhadap balok maupun diakibatkan oleh tidak sempurnanya benda uji. Sebagian besar benda uji mengalami kerusakan awal yaitu retak/tekuk pada titik-titik pembebanan (daerah tekan), serta sobek atau terlepasnya/geser/selip lamina bambu.

Secara umum kerusakan yang terjadi pada balok komposit kayu-bambu disajikan di dalam Gambar-9. Balok RBB.0 secara umum mengalami kerusakan lentur murni, di mana balok rusak pada bagian bawah berupa rusak akibat tarik (Gambar-9a). Secara umum kerusakan yang terjadi pada balok komposit kayu-bambu disajikan di dalam Gambar-9. Balok RBB.0 secara umum mengalami kerusakan lentur murni, di mana balok rusak pada bagian bawah berupa rusak akibat tarik (Gambar-9a). Pada balok RBB.0 rusak lentur secara tiba-tiba dimulai retak dan pecahnya kayu sengon pada sisi bawah (daerah tarik) menyebar menuju ke atas hingga daerah garis netral penampang. Untuk balok balok RBB.25 mengalami kerusakan lentur murni setelah terjadinya retak dan tekuk pada serat atas balok akibat tekan (Gambar-9b). Pada daerah tekan, ada satu dua lapis bambu terlepas akibat gaya tekan sepanjang sekitar 65 cm. Rusak lentur ditandai dengan pecah dan retaknya kayu sengon pada serat bawah (daerah tarik) dan tertekuknya pada daerah tekan di bawah titik beban setebal sekitar 4 cm menuju garis netral.

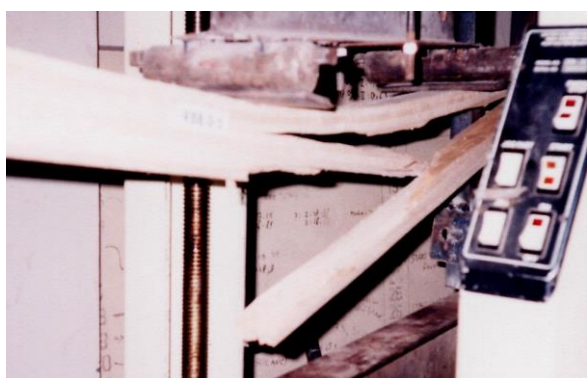
Kerusakan pada daerah tarik disertai dengan selipnya bambu dan kayu, sehingga dukungan bambu terhadap gaya tarik menjadi berkurang

(hilang) sehingga sebagian besar tarik ditahan oleh kayu. Mengacu pada hasil uji pendahuluan bahwa kuat tarik kayu (52,51 Mpa) lebih rendah dari kuat tarik bambu (141,46 Mpa), yang tentu saja kayu akan lebih lemah daripada bambu sehingga rusak/pecahnya kayu adalah sangat wajar.

Kerusakan pada balok RBB.50 yang terjadi adalah sangat mirip dengan balok RBB.25. Hanya saja karena rasio bambu balok lebih ditingkatkan menjadi 50%, maka mengalami resak pada daerah tekan berupa pecah dan retak tekuk setebal antara 2,5 cm hingga lebih dari 4 cm menuju ketengah

(garis netral) penampang balok. Kerusakan balok dominan pada titik pembebanan (Gambar-9c). Untuk kerusakan balok RBB.75 yang terjadi adalah dominan rusak geser pada tengah penampang sepanjang balok (Gambar8d).

Terdapatnya kontribusi gaya geser yang besar terhadap lamina bambu yang berada di sekitar garis netral mengakibatkan kerusakan geser berupa lepasnya rekatan antar lamina, dan terlihatnya *slip* sepanjang 2/3 bentang balok dimulai sekitar garis titik beban hingga ke ujung balok/tumpuan



a) Kerusakan balok RBB.0



b) Kerusakan balok RBB.25



c) Kerusakan balok RBB.50



d) Kerusakan balok RBB.75

Gambar-9. Kerusakan balok komposit bambu-kayu RBB

Rusak geser terjadi pada lamina bambu (apus-apus) pada satu lapis di bawah kayu sengon. Hal ini menunjukkan kekuatan perekat lamina bambu lebih lemah dibandingkan dengan lamina sengon-bambu maupun sengon-sengon. Rusak geser terjadi pada daerah tarik, dimana gaya tarik hampir semuanya ditahan oleh bambu dan gaya geser maksimum terjadi sekitar garis netral sehingga perbedaan tarik dan tekan akan menimbulkan gesekan yang cukup besar. Akibat kuat tarik dan geser bambu (7,12 Mpa) lebih besar daripada kuat geser blok laminasi apus-

apus (4,54 Mpa), sehingga terjadinya rusak berupa slip/geser pada garis perekat sudah wajar terjadi.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

Kekuatan geser antara bahan yang direkat untuk perekat terlabur 50/MDGL, diperoleh kekuatan yang paling baik adalah pada uji blok geser kayu sengon-sengon dan paling kecil adalah kayu sengon - bambu

apus. Hasil kuat geser perekat adalah berkisar 4,54 – 5,43 MPa.

Pemanfaatan bambu bersama–sama dengan kayu sengon dalam balok komposit dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur balok. Kekuatan tertinggi dicapai pada rasio bambu terhadap balok sebesar 50%, dan terendah pada rasio bambu terhadap balok sebesar 0%. Berturut-turut persentase peningkatan kekuatan untuk rasio bambu terhadap balok 0%, 25%, 50% dan 75% adalah 0%; 62,23%; 100,65%; dan 92,28%. Sehingga nilai kekuatan optimum balok dicapai pada rasio bambu 50%.

Kerusakan balok yang terjadi adalah rusak lentur dan geser. Rusak lentur terjadi pada balok dengan rasio bambu 0%, 25%, dan 50%. Untuk balok dengan rasio bambu 75% terjadi rusak geser. Rusak lentur untuk rasio bambu 0% bersifat getas, sedangkan pada balok dengan rasio bambu 25% dan 50% terjadinya rusak lentur adalah bersifat daktil. Jenis-jenis kerusakan ini terjadi kemungkinan disebabkan oleh komposisi dan persentase bahan penyusun (kayu sengon dan bambu apus), serta ditunjang kekuatan bahan perekat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Somayaji, S., *Civil Engineering Materials*, Prentice Hall, 1995, Englewoodf, Cliffs, New Jersey.
- [2]. Breyer, D.E., *Design of Wood Structures*, Second Edition, 1999, McGraw-Hill, Inc. New York.
- [3]. Fakhri, Pengaruh Jumlah Kayu Pengisi Balok Komposit Kayu Keruing-Sengon Terhadap Kekuatan dan Kekakuan Balok Kayu Laminasi (Glulam Beams), 2001, Tesis S2, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4]. Janssen, J.J.A., *Bamboo in Building Structures*, Ph.D. Thesis, 1981, University of Technology of Eindhoven, Nedherland.
- [5]. Ghavami, K., Application of Bamboo as Laow-cost Construction Material, in Rao, I.V.R., Gnanaharan, R. & Shastri, C.B. , 1990, *Bamboos Current Research*, pp : 270-279. The Kerala Forest Reserch Institute Indiana and IDRC Canada.
- [6]. Morisco, *Rekayasa Bambu*, 1999, Nafiri Offset, Yogyakarta.
- [7]. Kasmudjo, *Kajian Sifat-sifat Kayu Sengon dan Kemungkinan Penggunaannya*, 1995, Duta Rimba, XX (179-180) : 41-46.
- [8]. Hermanto, N.I.S., *Kekuatan Sambungan Miring pada Balok Laminasi Kayu Sengon*, Tesis S2, 2003, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [9]. Sulthoni, Suatu kajian tentang pengawetan bambu secara tradisional untuk mencegah serangan bubuk, Disertasi S3, 1988, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- [10]. AF&PA/ASCE, *Standard for Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Engineering Wood Construction* : AF&PA/ASCE-16-95, 1996, American Society of Civil Engineerr, New York.
- [11]. Prayitno, T.A., *Perekatan Kayu*, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, 1996, Yogyakarta.
- [12]. PIKA, *Mengenal Sifat-Sifat Kayu Indonesia dan Penggunaannya*, Pendidikan Industri Kayu Atas (PIKA) - Semarang, 1981, Kanisius, Yogyakarta.
- [13]. Mardikanto, TR., Karlinasari, L., dan Bahtiar, E.T., *Sifat Mekanis Kayu*, 2017, IPB Press, Bogor
- [14]. BSN, *Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu*, 2013, SNI 7973:2013, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.