

ANALISIS KEKUATAN LENTUR DAN KEKUATAN TEKAN BALOK LAMINASI BAMBU PETUNG (*Dendrocalamus asper*) DAN SERAT KELAPA SEBAGAI KOMPONEN KONSTRUKSI KAPAL

ANALYSIS OF BENDING STRENGTH AND COMPRESSIVE STRENGTH OF LAMINATED BEAMS OF BAMBOO PETUNG (*Dendrocalamus asper*) AND COCONUT FIBER AS SHIP CONSTRUCTION COMPONENTS

Parlindungan Manik¹, S Samuel^{2*}, Muhammad Ariq Fikri Kamil³, Tuswan⁴

Gedung Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jalan Prof. Sudarto SH Tembalang, Semarang
E-mail: ¹parlindungan_manik@live.undip.ac.id, ²samuel@ft.undip.ac.id, ³aariqkamil@gmail.com,
⁴tuswan@lecturer.undip.ac.id

Tanggal diterima: 12 April 2022, direvisi: 22 Juni 2022, disetujui terbit: 23 Juni 2022

ABSTRAK

Balok laminasi terbentuk dari dua material atau lebih yang mempunyai sifat berbeda. Laminasi bambu merupakan salah satu solusi untuk mengembangkan suatu material agar memiliki struktur yang lebih baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh arah laminasi bambu terhadap kekuatan lentur dan kekuatan tekan pada balok laminasi bambu. Metode yang dilakukan merupakan pengujian eksperimental dengan menguji kekuatan lentur dan tekan. Pengujian balok mengacu pada SNI 03-3958-1995 dan SNI 03-3959-1995. Balok laminasi yang akan diuji memiliki nilai kadar air dibawah 13% sesuai dengan ketentuan pengujian dan memiliki berat jenis antara 0,58-0,69 g/cm³. Balok laminasi dengan variasi arah 0°/90° mempunyai kekuatan lentur sebesar 74,44 MPa dan mempunyai kekuatan tekan 55,36 MPa. Laminasi dengan variasi arah bersilangan +45°/-45° memiliki nilai kekuatan lentur sebesar 55,34 MPa dan kekuatan tekan 65,57 MPa. Variasi susunan arah bersilangan 0°/90° memiliki kekuatan lentur yang lebih baik dibandingkan dengan variasi arah bambu bersilangan +45°/-45°, sedangkan untuk pengujian tekan, variasi susunan arah bersilangan +45°/-45° memiliki hasil pengujian yang lebih besar. Hasil pengujian tekan dan lentur untuk kedua variasi tergolong dalam kelas kuat Badan Klasifikasi Indonesia (BKI) yang berbeda, variasi arah bambu bersilangan 0°/90° tergolong dalam kelas kuat II untuk pengujian lentur dan kelas kuat II untuk pengujian tekan, sedangkan untuk variasi arah bambu bersilangan +45°/-45° tergolong dalam kelas kuat III untuk pengujian lentur dan kelas kuat I untuk pengujian tekan.

Kata kunci: komposit, bambu laminasi, uji tekan, uji lentur

ABSTRACT

Laminated beams are formed from two or more materials that have different properties. Bamboo laminate is one solution to develop a material to have a better structure. The purpose of this study was to determine the effect of the direction of the bamboo laminate on the flexural strength and compressive strength of the bamboo laminated. The method used is an experimental test by testing the flexural and compressive strength. The beam test refers to SNI 03-3958-1995 and SNI 03-3959-1995. The laminated beam to be tested has a moisture content value below 13% in accordance with the test provisions and has specific gravity between 0.58-0.69 g/cm³. Laminated beams with a cross direction variation of 0°/90° have flexural strength of 74.44 MPa and compressive strength of 53.36 MPa. Laminate with a cross direction variation of +45°/-45° has flexural strength value of 55.34 MPa and compressive strength of 65.57 MPa. The variation of the cross direction 0°/90° directional arrangement has better flexural strength than the +45°/-45° variation, while for the compression test, the +45°/-45° directional arrangement variation has greater test results. The results of the compressive and flexural tests for both variations belong to different Indonesian Classification Bureau (BKI) strength classes, which cross-variation 0°/90° is classified in strength class II for flexural testing and strength class II for compressive testing, while cross variation +45°/-45° is classified in strength class III for flexural testing and strength class I for compressive testing.

Keywords: composite, bamboo laminate, compressive test, flexural test

PENDAHULUAN

Negara maritim merupakan negara yang memiliki kawasan perairan lebih luas dibandingkan dengan kawasan daratan. Indonesia adalah negara maritim yang memiliki luas wilayah perairan lebih besar dan menjadikan negara dengan kepulauan terbesar di dunia karena memiliki 17 ribu pulau yang tersebar di penjuru negeri. Potensi sektor perairan dalam negara maritim merupakan aspek penting dalam hal pendistribusian ke semua wilayah yang tersebar. Perkembangan dunia perkapalan di Indonesia sangat pesat, terutama dalam penemuan material baru di bidang konstruksi kapal. Pada umumnya, kapal terbuat dari baja dan kayu, yang mengakibatkan biaya pembuatan kapal tergolong mahal dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, perlu adanya inovasi baru dalam dunia perkapalan agar sektor perairan dapat berkembang lebih jauh lagi.

Komposit merupakan sebuah bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari beberapa material yang memiliki sifat yang berbeda dari fisik, kimia, dan tetap terpisah pada hasil akhir. Komposit terdiri dari dua material penyusun, yaitu matriks dan *reinforcement*, yang memiliki sifatnya masing-masing. *Reinforcement* berfungsi sebagai penguat bahan atau penanggung beban utama dalam material komposit, sedangkan matriks merupakan penyusun dengan fraksi terbesar. Perkembangan material komposit telah menambah pengetahuan tentang material modern, berkontribusi pada kemajuan berkelanjutan dalam ilmu dan teknik material dan meningkatkan kehidupan manusia.¹ Adapun keuntungan penggunaan material komposit sebagai alternatif penggunaan komponen kapal yaitu tahan korosi, massa jenis rendah, ramah lingkungan, mudah diperoleh, harga yang terjangkau, dan memiliki sifat mekanik yang baik,² sehingga material komposit dapat dijadikan sebagai pengganti kayu. Bambu merupakan material yang dapat dijadikan alternatif dalam pembuatan konstruksi kapal dan dapat dijadikan material komposit. Bambu memiliki sifat yg baik untuk dimanfaatkan, seperti kuat, rata, ulet, keras, mudah dibentuk, ringan, dan dapat dengan mudah ditemukan.³

Jenis bambu yang sering ditemukan di Indonesia adalah bambu petung. Bambu petung atau *Dendrocalamus asper* merupakan tumbuhan yang dapat dijumpai pada daerah tropis yang lembab dan basah, juga dapat tumbuh pada daerah kering pada dataran rendah, hanya saja diameter akan lebih kecil dan batangnya akan semakin tebal. Bambu petung mempunyai karakteristik memiliki diameter batang yang cukup tebal, rumpunnya yang simpodial, tegak, dan rapat. Pada umumnya, bambu digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan, jembatan tradisional, industri mebel, kertas, dan lain-lain. Bambu petung muda memiliki ciri-ciri kulit batang berwarna hijau yang dilapisi oleh lapisan seperti bulu berwarna

kuning, namun pada bagian tengah sampai ujung batang dilapisi dengan warna putih kecokelatan. Ciri-ciri bambu tua akan dijumpai dengan warna hijau kekuningan yang dilapisi oleh bercak putih.

Balok laminasi adalah salah satu golongan material komposit yang tersusun dari dua material berbeda yang terkait secara bersamaan. Balok laminasi dapat digunakan sebagai alternatif baja dalam pembuatan papan geladak dan gading-gading pada konstruksi kapal. Kekuatan dan kekakuan bambu laminasi setara dengan kekuatan kayu, bahkan bambu laminasi dapat digunakan sebagai bahan pondasi struktur suatu bangunan dan kapal.⁴ Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan material komposit sebagai bahan konstruksi kapal sebagai alternatif material baru. Kombinasi laminasi bambu petung dengan serat kelapa akan memberikan kajian yang menarik untuk dilakukan. Potensi penggunaan bambu dalam menggantikan kayu dapat berdampak positif dikarenakan bambu dapat berkembang lebih cepat dan mudah ditemui di kawasan negeri, sehingga penggunaan kayu pada umumnya dapat berkurang.

Oleh karena itu, bahan komposit berdasarkan sumber daya terbarukan dapat menghasilkan komponen berbiaya rendah yang layak dan alternatif yang layak untuk bahan polimer untuk aplikasi produk. Ketersediaan komponen komposit murah berbasis sumber daya terbarukan juga akan lebih sederhana dalam waktu siklus hidup. Selain itu, aplikasi teknik pada bambu merupakan area prospektif untuk pengembangan dan pemanfaatan bambu, sehingga menjadikannya pilihan yang layak untuk penciptaan lapangan kerja dan pembangunan pedesaan.⁴

Berdasarkan penelitian sebelumnya, analisis teknis bambu petung memberikan hasil pengujian yang baik. Pada uji tekan, bambu yang disusun tegak lurus lebih baik daripada susunan anyaman, sejajar, dan bata. Pengujian tersebut masuk ke dalam Kelas III Kapal Kayu standar BKI (Badan Klasifikasi Indonesia) dan dapat digunakan pada gading, kulit, geladak, tiang, papan geladak, galar, dan konstruksi di atas garis air kapal.⁵ Perlakuan bambu dengan menggunakan larutan metanol membuat menjadi lebih kuat karena air yang direndam pada titik beku akan berkurang akibat panas dari senyawa CH_3OH .⁶

Penggunaan serat alami sebagai pengganti serat sintetis dapat mengurangi beban material hingga 40% dan dapat meningkatkan kekuatan tekan, kekakuan, dan keuletan dari komposit tersebut. Selain itu, sifat yang ditingkatkan dalam kasus komposit dapat diberikan perlakuan secara fisik dan kimiawi.⁷ Serat kelapa memiliki nilai kuat *bending* yang tergolong tinggi, dimana diketahui bahwa komposit serat kelapa memiliki kekuatan tarik tertinggi dengan arah susunan serat sejajar (0°) sebesar 14,34 MPa, dan komposit serat sabut kelapa dengan kekuatan lentur tertinggi ialah komposit

dengan arah susunan serat sejajar 0° , 45° sebesar 23,34 MPa.⁸

Pada pemilihan material lem perekat, epoxy memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan matriks *polyester* berdasarkan pengujian dengan serat gelas dan serat kelapa.⁹ Perekat epoxy juga memiliki keuntungan dibanding perekat lain, diantaranya yaitu adhesi dan kohesi yang lebih baik, tingkat penyusutan yang rendah, dan tahan terhadap kelembaban.¹⁰

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan properti mekanis balok laminasi bambu terhadap variasi arah serat $0^\circ/90^\circ$ dan $45^\circ/-45^\circ$. Metode yang dilakukan merupakan pengujian eksperimental dengan menguji kekuatan lentur dan tekan pada balok laminasi bambu petung dan serat kelapa. Pengujian balok mengacu pada SNI 03-3958-1995 dan SNI 03-3959-1995.

METODE

Material

Bambu petung (*Dendrocalamus asper*) seperti pada Gambar 1, adalah material utama pada penelitian ini. Bambu yang digunakan pada penelitian ini menggunakan bagian ujung dan tengah bambu yang berumur sekitar 3-5 tahun. Bambu apus yang digunakan berasal dari Getasan, Salatiga, Jawa Tengah. Batang bambu yang akan digunakan dipotong di atas 1 meter dari tanah. Tinggi bambu berkisar antara 1 sampai 4,5 meter dari permukaan tanah.

Kelapa atau *Cocos nucifera* adalah material kedua yang digunakan dalam bentuk lembaran yang berukuran 100 cm x 100 cm. Sabut kelapa yang digunakan pada penelitian ini berasal dari pengrajin keset sabut kelapa Semarang, Jawa Tengah.

Material pendukung lainnya adalah perekat resin epoxy. Resin epoxy merupakan perekat yang berbentuk cairan dan terdiri dari dua komponen, yaitu resin dan *hardener*, yang dicampur saat digunakan dengan rasio 50%-50%. Komposisi epoxy adalah bahan kimia seperti minyak, bensin, beberapa asam, dan alkali, sedangkan komposisi resin yaitu *Bisphenol A* (80%-90%), *Alkyl Glycidyl Ether* (5-15%), *Modified Epoxy Resin* (5-15%), *Tertiary Amine* (5-10%), *Mercapton Polymers* (50-60%), *Polyamide Resin* (30-35%), *Triethylene Tetramine* (<3%), and *Alifatic Amine* (1-10%). Resin ini merupakan hasil dari proses pengeluaran tumbuhan dengan alami ataupun buatan. Resin epoxy cocok digunakan dalam perekatan kayu pada kapal dan sambungan kayu pada furnitur atau mebel.

Alat Uji

Pengujian tekan dan tekuk dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine WE-1000B Chenda Tester*. Mesin uji universal digunakan untuk menguji ketahanan, kekuatan tarik, kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan mengetahui

struktur bahan suatu material sebuah produk. Fungsi dari alat ini yaitu untuk memberikan gaya tekan atau gaya tarik terhadap benda yang akan diuji sehingga menunjukkan hasil ketahanan benda yang diuji. Alat *Universal Testing Machine (UTM)* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 7.

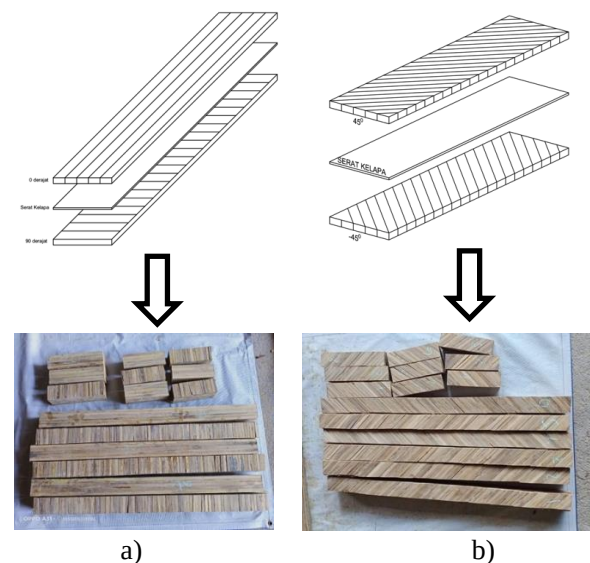


Gambar 7. Universal Testing Machine (UTM)

Pembuatan bambu laminasi dilakukan di Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil & Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Lokasi pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro.

Rancangan Pembuatan

Penelitian balok laminasi ini menggunakan kombinasi bambu petung dan serat kelapa yang mempunyai dua variasi, yaitu $+45^\circ/-45^\circ$ dan $0^\circ/90^\circ$. Kombinasi arah bersilangan antara sudut 45° dan *vertical horizontal* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Balok laminasi pada 2 variasi: a) $0^\circ/90^\circ$ dan b) $45^\circ/-45^\circ$

Serat kelapa akan berada di tiap lapisan antar bambu hingga mencapai ketebalan keseluruhan mencapai 50 mm sesuai dengan standar SNI 03-3958-1995, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Letak serat kelapa

Langkah Pembuatan

Bambu petung dipotong sesuai ukuran panjang, lebar, tinggi (4 cm x 2 cm x 0,2 cm). Setelah bambu mendapatkan ukuran yang diinginkan, lapisan serat kelapa dipotong sesuai ukuran yang akan dibuat perlapisan. Ukuran lapisan serat kelapa yang digunakan adalah 5 cm x 5 cm x 15 cm untuk spesimen uji tekan dan 5 cm x 5 cm x 76 cm untuk spesimen uji tekuk. Semakin tipis bilah bambu, maka nilai kekuatan *interface* balok laminasi tersebut akan semakin besar.¹¹

Pengeringan serat kelapa dan bambu dilakukan setelah bambu dan kelapa sudah terpotong agar mencapai kadar air yang diinginkan. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan oven pada suhu 140°C agar kadar air mencapai 13% dengan waktu pengeringan 4-6 jam. Pemeriksaan kadar air dilakukan menggunakan alat *moisture meter*. Setelah mendapatkan kadar air yang diinginkan berdasarkan ketentuan ISO 22157-1-2004, maka dilakukan penataan bilah sesuai dengan variasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.

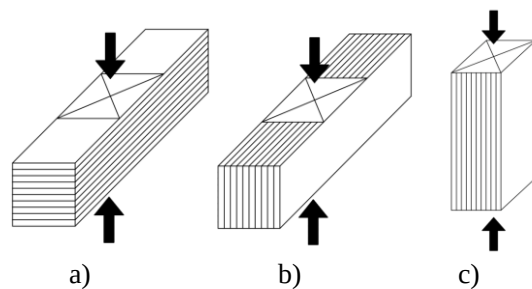


Gambar 3. Penataan Bilah Variasi 45°/-45°

Setelah penataan bilah selesai, dilakukan perekatan menggunakan resin *epoxy* pada tiap lapisan dan antar bilah pada bambu, lalu bilah akan dikempa melalui penekanan *horizontal* dan *vertical* untuk mendapatkan perekatan yang sempurna. Alat kempa hidrolik memberikan tekanan 20 MPa. Waktu kempa dilakukan selama 24 jam pada suhu ruang 25°C. Pembentukan balok dilakukan setelah proses *pressing* telah selesai, pembentukan balok akan disesuaikan dengan ukuran standar SNI 03-3958-1995. Pemeriksaan terakhir terhadap balok dilakukan untuk memastikan ukuran sesuai dengan standar SNI 03-3958-1995.

Arah Sumbu Pengujian

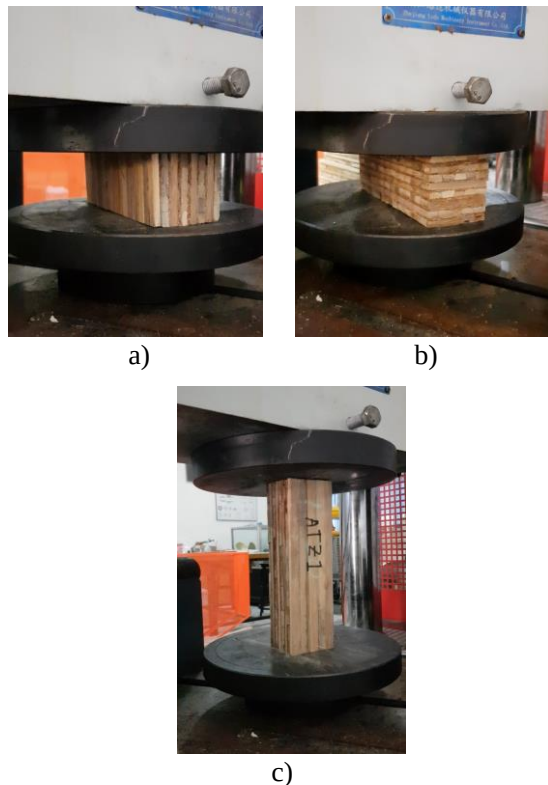
Pengujian pada penelitian ini dilakukan melalui tiga sumbu pengujian, yaitu sumbu x, y, dan sumbu z untuk pengujian tekan, dan sumbu x dan sumbu y untuk pengujian tekuk. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali agar mendapatkan hasil pengujian rata-rata dari setiap balok laminasi. Ukuran spesimen balok disesuaikan dengan standar dari setiap sumbu pengujian. Arah sumbu pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Arah sumbu pengujian: a) pengujian sumbu x, b) pengujian sumbu y, dan c) pengujian sumbu z

Uji Tekan

Uji tekan merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan material terhadap beban statis yang diberikan secara lambat. Pengujian tekan menggunakan standar SNI 03-3958-1995 dengan ukuran spesimen 50 mm x 50 mm x 150 mm untuk sumbu x dan y dan 200 mm untuk pengujian tekan sumbu z.¹² Pengujian dari berbagai sumbu bertujuan untuk mendapatkan hasil pengujian maksimal dari berbagai sisi balok, dikarenakan setiap sisi balok memiliki struktur ikatan lapisan yang berbeda dan kekuatan yang berbeda, termasuk kekuatan dari ikatan antar bilah bambu yang disusun. Pengujian tekan berdasarkan sumbu ditunjukkan pada Gambar 5.

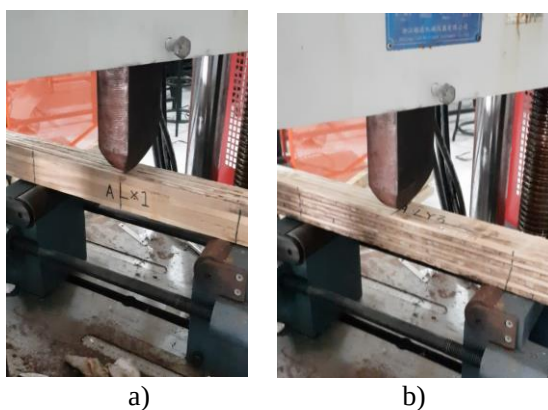


Gambar 5. Pengujian tekan balok laminasi dari berbagai sumbu: a) sumbu x, b) sumbu y, dan c) sumbu z

Uji Lentur

Pengujian lentur merupakan pengujian untuk menentukan mutu material secara visual. Proses pengujian lentur dilakukan dengan memaksa bagian tengah spesimen tertekuk di antara dua penyangga pemisah sesuai aturan yang ditentukan.

Pengujian lentur menggunakan standar SNI 03-3959-1995 dengan ukuran spesimen 760 mm x 50 mm x 50 mm untuk sumbu x dan y.¹² Sama halnya dengan pengujian tekan, pengujian lentur dilakukan dari berbagai sisi balok untuk mendapatkan hasil pengujian maksimal dari tiap sisi balok. Dengan ini, maka akan didapatkan sisi yang lebih baik saat digunakan, yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengujian lentur balok laminasi: a) sumbu x dan b) sumbu y

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Kadar Air dan Berat Jenis

Kadar air sebelum dilakukan pengujian harus sesuai dengan ketentuan ISO 22157-1-2004, yaitu di bawah 13%. Pemeriksaan kadar air dilakukan menggunakan alat *moisture meter*. Berat jenis balok laminasi didapatkan melalui perbandingan antara massa balok dan volume balok yang akan diuji. Pada penelitian kali ini, berat jenis dan kadar air yang digunakan adalah 0,58 – 0,69 gr/cm³.

Pengujian Lentur

Hasil pengujian lentur menggunakan alat UTM merupakan nilai beban maksimum, defleksi dihitung secara manual di lapangan menggunakan jangka sorong, MOE (modulus elastistas), dan kuat lentur didapat dari persamaan rumus, hasil perhitungan lentur dapat dilihat pada Tabel 1. Spesimen dinamakan sesuai dengan pengujian dan variasi yang ada, A untuk spesimen yang memiliki variasi arah 0°/90° dan B untuk variasi arah 45°/-45°, L merupakan kode pengujian lentur, dan xyz merupakan arah sumbu pengujian yang dilakukan. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali.

Tabel 1. Hasil perhitungan lentur variasi 0°/90°

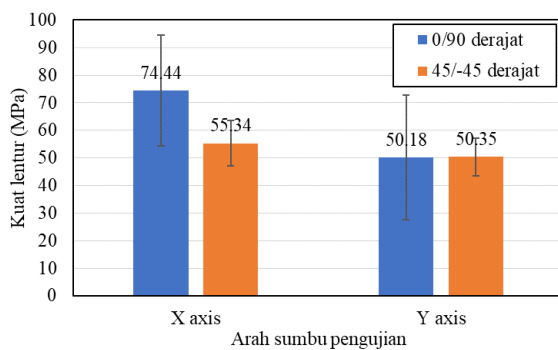
Kode	MOE (MPa)	STDEV MOE	Kuat lentur (MPa)	STDEV Kuat Lentur
ALX	7969,03	753,63	74,44	20,14
ALY	6257,99	837,41	50,18	22,57

Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa hasil pengujian lentur terbesar yakni pada pengujian sumbu x dengan hasil 74,44 MPa dan nilai MOE sebesar 7969,03 MPa. Selisih hasil pengujian lentur pada sumbu x dan sumbu y untuk variasi ini sebesar 32,59%.

Tabel 2. Hasil pengujian lentur variasi 45°/-45°

Kode	MOE (MPa)	STDEV MOE	Kuat lentur (MPa)	STDEV V Kuat lentur
BLX	11146,24	2941,89	55,34	8,33
BLY	5273,29	2484,03	50,35	6,72

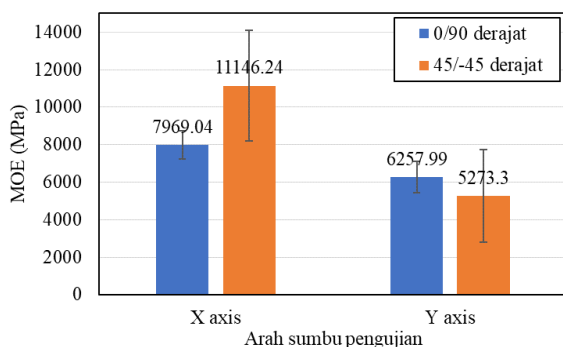
Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil perhitungan MOE terbesar pada variasi +45°/-45° yaitu 11146,24 MPa untuk sumbu x, dengan rata-rata hasil pengujian lentur sebesar 55,34 MPa atau setara dengan 564,31 kg/cm². Selisih hasil pengujian lentur pada sumbu x dan sumbu y untuk variasi arah bambu 45° sebesar 9,01%.



Gambar 8. Perbandingan Kuat Lentur

Perbandingan hasil pengujian lentur dengan variasi arah $0^\circ/90^\circ$ dan $+45^\circ/-45^\circ$ dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Gambar 8. Perbedaan nilai kuat lentur dari kedua variasi memiliki selisih 32,44% pada pengujian sumbu x dan 9% pada sumbu y. Perbedaan hasil pengujian dapat terjadi karena pengaruh arah variasi yang diterapkan pada balok laminasi, susunan arah memiliki hasil kuat yang berbeda.¹³ Arah 0° memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan arah 45° untuk pengujian lentur. Hal itu disebabkan karena ikatan antar bilah arah 0° lebih sedikit dibandingkan 45° . Ikatan antar bilah bambu dieratkan menggunakan perekat, semakin banyak ikatan antar bilah bambu, maka akan sebanding dengan banyaknya perekat yang akan digunakan. Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai kekuatan lentur bambu, persentase bahan pada suatu balok akan mempengaruhi besar kecilnya hasil pengujian balok tersebut, semakin banyak persentase bambu yang digunakan, maka akan semakin besar pula hasil pengujian yang didapat.¹⁴

Berdasarkan Gambar 9, dapat diketahui bahwa spesimen balok yang memiliki nilai MOE terbesar yaitu pada kode BLX dikarenakan memiliki nilai defleksi yang paling kecil sehingga spesimen tersebut sulit untuk mengalami perubahan bentuk. Modulus elastisitas merupakan perhitungan untuk mengukur ketahanan suatu objek untuk mengalami deformasi. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas suatu bahan, maka akan semakin tidak elastis bahan tersebut sehingga sulit mengalami perubahan ketika diberikan gaya.



Gambar 9. Perbandingan *modulus of elasticity* (MOE)

Perbandingan *modulus of elasticity* dapat terjadi karena memiliki nilai defleksi yang berbeda antara spesimen balok laminasi setelah dilakukan pengujian. Berdasarkan rumus untuk mendapatkan nilai MOE, semakin besar defleksi, maka akan sebanding dengan nilai modulus elastisitasnya dan sebaliknya, semakin kecil defleksi maka modulus elastisitasnya akan semakin kecil.

Pengujian Tekan

Pengujian tekan dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan rata-rata pada hasil pengujian. Hasil pengujian tekan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 10. Spesimen dinamakan sesuai dengan pengujian dan variasi yang ada, A untuk spesimen yang memiliki variasi arah $0^\circ/90^\circ$ dan B untuk variasi arah $+45^\circ/-45^\circ$, T merupakan kode pengujian tekan, dan xyz merupakan arah sumbu pengujian yang dilakukan.

Tabel 3. Hasil pengujian tekan variasi $0^\circ/90^\circ$

No	Kode	Nilai kuat tekan (MPa)	STDEV Kuat tekan
1	ATX	25,12	3,23
2	ATY	55,36	1,65
3	ATZ	25,92	1,26

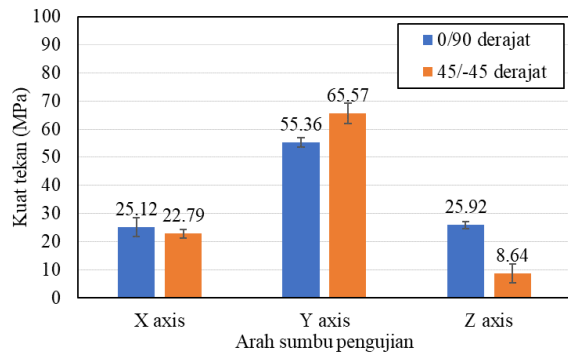
Tabel 4. Hasil pengujian tekan variasi $+45^\circ/-45^\circ$

No	Kode	Nilai Kuat Tekan (MPa)	STDEV Kuat tekan
1	BTX	22,79	1,59
2	BTY	65,57	3,61
3	BTZ	8,64	3,30

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui hasil pengujian tekan pada variasi ini memiliki hasil di antara 25,12–55,36 MPa. Hasil rata-rata pengujian terbesar diperoleh pada sumbu y dengan hasil sebesar 55,36 MPa. Pengujian pada sumbu x memiliki hasil sebesar 25,12 MPa dan pengujian sumbu z sebesar 25,92 MPa. Hasil pengujian tekan untuk variasi $+45^\circ/-45^\circ$ dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 10.

Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui hasil pengujian pada variasi ini memiliki hasil di antara 8,64–65,57 MPa. Hasil rata-rata pengujian terbesar diperoleh pada sumbu y dengan hasil pengujian sebesar 65,57 MPa. Pengujian pada sumbu x memiliki hasil sebesar 22,79 MPa dan pengujian sumbu z sebesar 8,64 MPa. Pengujian tekan dilakukan dengan memberi beban tegak lurus terhadap balok sesuai arah sumbu pengujian. Berdasarkan hasil pengujian tekan yang didapat, diketahui bahwa hasil pengujian yang paling efektif yaitu pengujian sumbu y, karena balok laminasi

dapat memaksimalkan kekuatan tiap material penyusunnya dan juga ikatan antar lapisan penyusun juga mendukung untuk mengoptimalkan hasil pengujian. Berbeda dengan pengujian sumbu x dan z, ikatan antar lapisan akan bekerja kurang optimal karena diberi beban yang sejajar dengan lapisan penyusun.



Gambar 10. Perbandingan hasil rata-rata pengujian kuat tekan

Sumbu y memiliki hasil rata-rata pengujian yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumbu x dan z dari kedua variasi arah bambu, yang membuktikan bahwa balok laminasi memiliki kekuatan tekan yang optimal pada arah beban tegak lurus terhadap balok. Variasi arah penyusun bambu 0°/90° memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan variasi yang lain, akan tetapi hasil berbeda diperoleh saat pengujian tekan sumbu y. Arah bambu +45°/-45° memiliki hasil yang lebih besar, hal ini membuktikan bahwa saat beban tegak lurus diberikan ikatan antar bilah, bambu akan bekerja lebih optimal, karena pada sudut variasi ini terdapat ikatan yang lebih banyak dibandingkan dengan variasi yang lain.

Perbandingan dengan Laminasi Bambu Petung dan Bambu Apus

Berdasarkan hasil pengujian pada tiap variasi laminasi bambu petung dan serat kelapa, maka dapat dilihat pada Tabel 5 perbandingan hasil pengujian ini dengan pengujian sebelumnya.

Pada Tabel 5, dapat diketahui bahwa hasil pengujian dari bambu petung dan serat kelapa pada kedua variasi memiliki nilai kuat lentur yang lebih rendah dibandingkan dengan balok laminasi bambu petung dan bambu apus. Perbedaan hasil dapat terjadi karena berat jenis yang berbeda dari kedua material. Berat jenis balok laminasi bambu apus memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan balok laminasi bambu petung dan serat kelapa. Berat jenis disebutkan juga sebagai kerapatan benda yang diperoleh dari berat dan volume objek. Konsentrasi resin menjadi salah satu pengaruh terhadap berat balok, maka semakin besar rasio resin akan semakin besar pula berat yang dihasilkan.¹⁶ Terbukti bahwa balok laminasi bambu petung dan bambu apus

memiliki nilai kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bambu petung dan serat kelapa. Pada umumnya, semakin tinggi kerapatan suatu objek maka akan sebanding dengan sifat fisik mekaniknya.¹⁷

Tabel 5. Perbandingan berbagai hasil pengujian balok laminasi

Pengujian terhadap Balok Laminasi	Bambu Petung dan Serat Kelapa 0°/90°	Bambu Petung dan Serat Kelapa +45°/-45°	Bambu Petung ¹⁵	Bambu Apus ¹⁵
Kadar air (%)	10,96 - 11,80	10,70 - 10,86	10,04 - 10,81	12,22 - 13,84
Berat jenis (g/cm ³)	0,60 – 0,67	0,58 – 0,69	0,59 – 0,66	0,68 - 0,72
Kuat lentur (Mpa)	x 50,18 y 74,44	55,34 50,35	82,44 106,61	98,30 100,80
Kuat tekan (MPa)	x 25,12 y 55,36 z 25,92	22,79 65,57 8,64	24,40 36,02 23,04	- 49,00 37,93

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa balok laminasi bambu petung dan serat kelapa tergolong dalam kelas kuat yang berbeda. Balok laminasi dengan variasi arah bambu 0° dan 90° tergolong dalam kelas kuat II dengan hasil pengujian maksimum sebesar 74,44 Mpa untuk pengujian lentur sumbu y dan kelas kuat III untuk pengujian tekan dengan hasil pengujian maksimum sebesar 55,36 MPa. Balok laminasi dengan variasi arah bambu 45° tergolong dalam kelas kuat III untuk pengujian tekan dengan hasil pengujian 55,34 MPa dan kelas kuat I untuk pengujian tekan dengan hasil pengujian maksimum sebesar 65,57 MPa.

Penambahan serat kelapa pada balok laminasi bambu petung tidak memberi nilai tambah pada pengujian lentur, sebab ikatan pada serat kelapa tidak sepadat ikatan material bambu, menyebabkan daya tahan lentur memiliki hasil pengujian yang lebih rendah. Serat tanaman memiliki kekuatan yang cenderung lebih rendah dengan standar industri komposit, tetapi nilai kuat bambu memiliki nilai yang tergolong besar dan lebih rapat dibandingkan dengan serat dari alam dan telah digunakan untuk memproduksi struktur *biocomposite*.¹⁸

Komposisi material penyusun dan arah penyusunan bambu berpengaruh terhadap hasil uji yang dihasilkan, secara langsung akan berpengaruh terhadap volume dari suatu benda yang akan diuji. Arah variasi 0°/90° merupakan kombinasi arah bambu *vertical* dan *horizontal*, arah bambu *vertical*/0° memiliki hasil pengujian lentur dan pengujian tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *diagonal*/45°. Rekomendasi komponen kapal

menurut BKI terhadap balok laminasi hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekomendasi konstruksi kapal menurut BKI

Konstruksi Kapal	Kelas Kuat
Kulit	✓
Galar bilga	✓
Galar balok	✓
Senta	✓
Gading	✓
Lunas	—
Geladak	✓
Balok buritan	✓
Balok geladak	✓
Linggi	✓
Lutut balok	✓
Dudukan mesin	✓
Papan geladak	✓
Konstruksi Diatas Garis Air	✓
Penumpu Geladak	✓

Tabel 7. Rekomendasi Kelas Kuat Kayu menurut BKI

Kelas Kuat	Berat Jenis Kering Udara (gr/cm ³)	Pengujian Lentur (MPa)	Pengujian Tekan (MPa)
I	≥0,90	≥ 107,87	≥63,74
II	0,60-0,90	71,10-107,87	41,68-63,74
III	0,40-0,60	49,03-71,10	29,42-41,68
IV	0,30-0,40	35,30-49,03	21,08-29,42
V	≤ 0,30	≤35,30	≤21,08

Tabel 6 tersebut menunjukkan bahwa balok laminasi pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan dan dapat digunakan dalam beberapa bagian kapal, terutama pada bagian konstruksi kapal. Penggunaan balok laminasi pada kapal juga harus memperhatikan arah beban yang diterima oleh balok laminasi, karena kekuatan masing-masing sumbu memiliki kekuatan yang berbeda.

Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), dijelaskan bahwa untuk konstruksi penting dalam kapal kayu harus menggunakan minimum kelas kuat III. Tabel 7 menunjukkan kelas kuat yang direkomendasikan oleh BKI. Berdasarkan tabel tersebut, kuat kelas laminasi pada penelitian ini memberikan hasil yang sesuai dengan standar BKI. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, kekuatan lentur balok laminasi mempunyai hasil maksimal 74,44 MPa untuk variasi arah bambu 0°/90° dan 55,34 MPa untuk variasi +45°/-45°, kedua variasi

tergolong dalam kelas kuat III dan II Standar BKI. Hasil pengujian tekan pada balok laminasi 0°/90° yang terbesar yakni sebesar 55,36 MPa, sedangkan balok laminasi +45°/-45° sebesar 65,57 MPa. Kedua variasi tergolong dalam kelas kuat II dan kelas kuat I.

KESIMPULAN

Hasil pengujian dan analisis pada balok laminasi bambu petung dan serat kelapa menunjukkan hasil yang baik. Berdasarkan rekomendasi yang diberikan oleh BKI maka material balok laminasi ini dapat digunakan untuk konstruksi kapal yang termasuk kedalam kelas kuat I, II dan III. Pengujian kekuatan lentur masuk kedalam kelas II dan III, sementara pengujian kekuatan tekan masuk kedalam kelas I dan II. Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dijelaskan bahwa untuk konstruksi kapal kayu harus menggunakan minimum kelas kuat III.

Berdasarkan hasil pengujian lentur, diketahui bahwa kekuatan lentur arah bambu 0°/90° lebih besar dibandingkan dengan arah bambu +45°/-45°. Namun pada pengujian tekan, kekuatan tekan arah bambu +45°/-45° lebih besar dibandingkan arah bambu 0°/90°. Hasil pengujian lentur dan tekan pada penelitian ini menunjukkan hasil serupa dengan penelitian sebelumnya,¹³ dimana arah serat vertikal memiliki kekuatan lentur dan tekan yang lebih baik dibandingkan arah serat diagonal.

PUSTAKA

- Yi, X. S., Du, S. & Zhang, L. *Composite materials engineering. Composite Materials Engineering* vol. 2 (Chemical Industry Press, 2017).
- Hastuti, S., Pramono, C. & Akhmad, Y. Sifat Mekanis Serat Enceng Gondok Sebagai Material Komposit Serat Alam Yang Biodegradable. *J. Mech. Eng.* 2, 22–28 (2018).
- Rini, D. S. Sifat Fisika Bambu Petung (*Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex Heyne) dari KHDTK (Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus) Senaru Berdasarkan Posisi Aksial. *J. Belantara* 1, 101–106 (2018).
- Rassiah, K. & Ahmad, M. M. H. Bamboo, thermoplastic, thermosets, and their composites: a review. *Appl. Mech. Mater.* 330, 53–61 (2013).
- Rindo, G., Manik, P., Jokosisworo, S., Putri, C. & Wilhelmina, P. Effect analysis of the direction of fiber arrangement on interfaces of laminated bamboo fiber as a construction material for wood vessel hulls. in *AIP Conference Proceedings* vol. 2262 30002 (American Institute of Physics, 2020).

6. Manik, P., Suprihanto, A., Sulardjaka & Nugroho, S. Technical analysis of increasing the quality of apus bamboo fiber (*Gigantochloa apus*) with alkali and silane treatments as alternative composites material for ship skin manufacturing. in *AIP Conference Proceedings* vol. 2262 50014 (AIP Publishing LLC, 2020).
7. Ansell, M. P. Natural fibre composites in a marine environment. in *Natural Fibre Composites: Materials, Processes and Applications* 365–374 (Elsevier, 2013). doi:10.1533/9780857099228.3.365.
8. Arsyad, M., Arsyad Suyuti, M., Farid Hidayat, M. & Sahi Pajarrai, A. Pengaruh Variasi Arah Susunan Serat Sabut Kelapa Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Sabut Kelapa. *J. Tek. Mesin Sinergi* **12**, 101–113 (2014).
9. Jenarthanan, M. P., Marappan, K. & Giridharan, R. Evaluation of mechanical properties of e-glass and aloe vera fiber reinforced with polyester and epoxy resin matrices. *Pigment Resin Technol.* **48**, 243–248 (2019).
10. Manik, P., Sisworo, S. J. & Rindo, G. Technical and economic analysis of the usages glued laminated of Apus and petung bamboo as an alternative material component of timber shipbuilding. in *Materials Today: Proceedings* vol. 13 115–120 (Peer Review dll, 2019).
11. Manik, P., Jokosisworo, S., Rindo, G. & Mahardika, M. H. The Analysis of Size and Arrangement Effects of Petung Bamboo Split Fiber to the Matrix Interface Bond with Laminated Bamboo Split Fiber as Construction Materials for Wooden Vessels. *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.* **9**, 3432–3438 (2020).
12. SNI 03-3959. Metode pengujian kuat lentur kayu di laboratorium. *Badan Standar Nas. Indones.* 1–9 (1995).
13. Yang, D. *et al.* Mechanical properties of laminated bamboo under off-axis compression. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **138**, 106042 (2020).
14. Manik, P., Samuel, S. & Prasetyo, D. A. Analisa Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Lentur Balok Laminasi Kombinasi Bambu Petung Dan Bambu Apus Untuk Komponen Kapal Kayu. *Kapal* **13**, 142 (2017).
15. Manik, P., Sisworo, S. J., Rindo, G. & Kamal. Technical and economic analysis of the usages glued laminated of Apus and petung bamboo as an alternative material component of timber shipbuilding. in *Materials Today: Proceedings* vol. 13 115–120 (Elsevier, 2019).
16. Mulyawan, A. S., Wibi Sana, A. & Kaelani, Z. Identification of Physical and Thermal Properties of Cellulosic Fibers for Synthesis of Composite. *Arena Tekst.* **30**, 75–82 (2015).
17. Mutia, T., Risdianto, H., Sugesty, S., Hardiani, H. & Kardiansyah, T. Serat Dan Pulp Bambu Tali (*Gigantochloa apus*) Untuk Papan Serat. *Arena Tekst.* **31**, 63–74 (2017).
18. Abdul Khalil, H. P. S. *et al.* Bamboo fibre reinforced biocomposites: A review. *Materials and Design* vol. 42 353–368 (2012).

