



Analisis Teknis Dan Ekonomis Papan Laminasi Bambu Apus dan Kayu Johar Sebagai Alternatif Komponen Kapal Kayu

Albert Tua Haloho¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾, Sarjito Joko Sisworo¹⁾

¹⁾Laboratorium Material

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*)e-mail : alberttuahaloho@students.undip.ac.id parlindunganmanik@lecturer.undip.ac.id
sarjitojokosisworo@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Material komposit merupakan salah satu material hasil gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda hingga menghasilkan material baru dengan sifat yang berbeda. Salah satunya berupa papan laminasi yang dewasa ini digunakan sebagai alternatif penggunaan kayu konvensional pada manufaktur kapal kayu. Penelitian kali ini akan melakukan pengujian papan laminasi kayu Johar dan bambu Apus untuk mengetahui perubahan nilai kuat tarik dan tekuk, serta nilai ekonomis papan laminasi dengan spesifikasi (30% kayu 70% bambu, 40% kayu 60% bambu, 50% kayu 50% bambu, 60% kayu 40% bambu, 70% kayu 30% bambu). Hasil papan laminasi kayu Johar dan bambu Apus memiliki nilai berat jenis 0,71-0,89 gr/cm³, kadar air 13,18 – 14,95 %, kuat tarik sebesar 152,1 – 177,7 MPa meningkat hingga 57,92% dari RAW kayu Johar, serta nilai kuat tekuk sebesar 156,2 – 199,0 MPa meningkat hingga 59,97% dari RAW kayu Johar. Manufaktur lambung kapal yang menggunakan papan laminasi mengalami persentase peningkatan biaya paling minimum sebesar 7,54% dengan harga Rp301.753.488 pada variasi 70% kayu 30% bambu dibandingkan dengan kayu Johar dengan harga Rp280.578.000. Berdasarkan standar BKI maka laminasi kayu Johar dan bambu Apus dikategorikan kelas kuat I dan dapat digunakan sebagai alternatif material komponen kapal.

Kata Kunci : Balok Laminasi, Kayu Johar, Bambu Apus, Kuat Tarik, Kuat Tekuk

1. PENDAHULUAN

Penggunaan kayu sebagai bahan utama manufaktur sebuah kapal masih sangat banyak ditemukan di berbagai perairan yang ada di Indonesia[1]. Salah satu penggunaannya dapat ditemukan pada proses manufaktur kapal motor kayu yang digunakan sebagai moda transportasi dan daya tarik wisata tersendiri di kawasan Danau Toba. Akan tetapi, penggunaan kayu konvensional secara terus menerus, lambat laun akan menimbulkan potensi kelangkaan kayu dan menyebabkan kerusakan hutan apabila tidak diimbangi dengan tindakan regeneratif. Indonesia mengalami penggundulan hutan (deforestasi) terparah ke-2 yang disebabkan oleh tekanan sosial ekonomi dan dinamika politik yang ada di Indonesia disertai pula dengan data menunjukkan

bahwa telah terjadi deforestasi yang hebat selama sepuluh tahun terakhir[2][3].

Danau Toba sendiri merupakan salah satu Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) sehingga menjadi prioritas dalam pembangunan kepariwisataan[4] dan merupakan lokasi yang ditetapkan menjadi UNESCO Global Geopark (UGG) pada 2019. Jumlah serta potensi wisatawan yang mengunjungi 8 kabupaten disekitar danau Toba sepanjang periode 2015-2017 juga mengalami tren naik hingga mencapai 2 juta pengunjung di tahun 2017 [5] dan diperkirakan pada 2025 akan mengalami tren yang sama[6].

Berdasarkan studi sebelumnya tentang pemilihan moda penyebrangan antara kapal fery dan kapal motor kayu tradisional didapatkan bahwa masyarakat lebih cenderung memilih menggunakan kapal tradisional (52%) dibandingkan dengan kapal fery[7]. Manufaktur

kapal kayu yang tinggi tersebut pun memerlukan alternatif yang efisien dan tepat sasaran .

Masyarakat pesisir danau Toba pada umumnya memilih jenis kayu Johar dan Surian sebagai prioritas utama dalam pembuatan kapal yang disebabkan oleh kayu Johar yang banyak ditemui pada kawasan hutan alam kaldera danau Toba[8]. Pemakaian kayu konvensional secara terus menerus sebaliknya dapat menimbulkan kelangkaan hingga pada kerusakan hutan disekitar kawasan tersebut. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan papan laminasi komposit. Papan laminasi komposit tersebut berperan sebagai alternatif yang menjadi salah satu tindakan pencegahan kelangkaan suatu jenis pohon, peningkatan kemajuan teknologi industri pada bidang perkapalan, disertai dengan wujud dukungan untuk meningkatkan potensi wisata di danau Toba serta penambahan wawasan masyarakat pesisir danau Toba dan pendidikan mengenai papan laminasi.

Zhang et al., meneliti bahwa kekuatan lentur dan momen lentur papan laminasi bambu dan kayu lebih baik dibandingkan dengan laminasi bambu atau kayu saja, serta memiliki ketahanan geser dan tegangan geser yang lebih baik pada laminasi bambu dan kayu yang dipengaruhi oleh jumlah lapisan bambu[9]. Penelitian *Chen et al.*, sebelumnya diketahui bahwa tekanan maksimum dan kekakuan laminasi bambu dan kayu meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah dan tebal dari bambu yang ditambahkan[10]. Menurut *Wen & Xiao.*, didapatkan bahwa komposit bambu-kayu memiliki kekuatan bending yang sama dan cenderung lebih baik dibandingkan papan laminasi bambu saja maupun kayu saja[11], yang sejalan dengan kesimpulan *Chen et al.*, bahwa kemampuan Teknis dari komposit bambu-kayu meningkat secara signifikan, dan rasio berat konstruksi berkurang secara signifikan[12]

Studi terbaru oleh *Permana et al.*, meneliti papan laminasi dengan variasi persentase komposisi kayu dan bambu dan memperoleh hasil berupa berat jenis sebesar 0,73-0,88 gr/cm³, rerata kuat tarik sebesar 92,43-127,43 MPa, rerata kuat tekan tegak lurus sebesar 41,64-41,99 Mpa, serta diketahui bahwa variasi komposisi bahan dari penelitian ini dapat mempengaruhi kuat tarik pada suatu material[13]. Menurut *Permana et al.*, diketahui bahwa spesimen mengalami peningkatan kerapatan sebanyak 10%, modulus elastisitas 71%, modulus patah 34% dan keteguhan tekan 20% [14] sejalan dengan *Prabowo & Supomo*, yang menjelaskan bahwa laminasi bambu dengan variasi ketebalan bilah bambu yang semakin tebal maka kekuatan tekan laminasi akan semakin besar[15]

serta kekuatan tarik dan modulus papan laminasi akan bertambah [16]

Hasil penelitian dan masalah diatas akhirnya menghasilkan ide untuk mengurangi penggunaan kayu Johar dengan melakukan eksperimen untuk mengetahui sifat komposit papan laminasi bambu Apus dan kayu Johar dengan memberikan variasi fraksi volume bambu dan kayu yang akan dibandingkan secara ekonomis. Peneliti akan melakukan eksperimen dengan judul “Analisis Teknis dan Ekonomi Balok Laminasi Kayu Johar dan Bambu Apus Sebagai Alternatif Komponen Kapal Kayu” dengan tujuan mengetahui kekuatan tarik, tekuk pada papan laminasi untuk dapat diketahui kegunaannya pada kapal kayu.

Penelitian papan laminasi bambu Apus dan kayu Johar bertujuan untuk mengetahui perubahan dan perbandingan nilai kuat tarik dan tekuk serta ekonomis papan laminasi dengan materia RAW kayu Johar. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh material penyusun terhadap nilai kuat tarik dan tekuknya dan mengetahui apakah papan laminasi memenuhi regulasi peraturan kapal kayu.

2. METODE DAN BAHAN

Proses eksperimen pada penelitian kali ini akan dibagi menjadi beberapa tahapan. Pada tahapan pertama akan membahas seputar pemilihan material yang sesuai dengan topik masalah dan akan digunakan pada eksperimen kali ini. Langkah selanjutnya berupa pembahasan mengenai proses secara detail mengenai manufaktur spesimen yang akan diuji dan dilanjutkan dengan proses pengujian spesimen berupa Uji Tarik dan Uji Tekuk menggunakan standar pengujian yang dipakai agar didapatkan hasil kekuatan tarik dan kekuatan tekuk. Hasil tersebut kemudian akan dibandingkan dengan material Kayu Johar secara ekonomis dan kekuatan untuk mendapatkan material yang paling efisien.

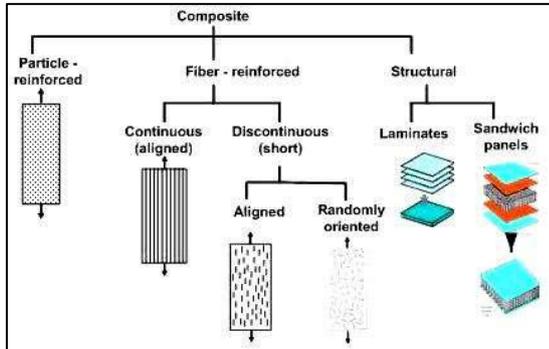
2.1. Pemilihan Material

Pada pemilihan material akan dijelaskan pengertian, identifikasi serta karakteristik material beserta metode yang akan dilakukan untuk melakukan eksperimen nantinya.

2.1.1. Material Komposit

Komposit merupakan bahan multi fase, yaitu campuran bahan yang terdiri dari dua bahan atau lebih dengan campuran tidak homogen. Sifat pada komposit merupakan suatu gabungan dari sifat-sifat material penyusunnya, yaitu matriks dan penguat (reinforcement) atau pengisi (filler) dimana keduanya memiliki sifat yang berbeda.

Ketentuan untuk material penguat, harus dapat menunjang/memperbaiki sifat-sifat matrik dalam membentuk material komposit. Sehingga pada penelitian kali ini, kayu Johar sebagai matrik akan dioptimalkan kekuatannya dengan menambahkan papan laminasi bambu Apus yang berperan sebagai penguat.



Gambar 1. Klasifikasi Komposit

Penggolongan jenis komposit dapat dilihat pada gambar 1 yang menunjukkan jenis komposit struktural dengan tipe laminasi. Salah satu produk tipe laminasi adalah papan laminasi atau balok laminasi. Balok laminasi merupakan salah satu bagian dari jenis komposit yang terbentuk dari beberapa lapisan serat dan matriks yang memiliki karakteristik masing-masing yang digabungkan secara berlapis sehingga menghasilkan karakteristik khusus[17].



Gambar 2. Balok Laminasi

Komposit pada umumnya dibentuk dari lapisan papan yang direkatkan sesuai dengan material penyusunnya dan menghasilkan suatu papan yang memiliki karakteristik tersendiri sehingga memiliki perbedaan dengan matriks partikel dan serat pada umumnya. Bentuk balok laminasi dapat dilihat berdasarkan gambar 2.

2.1.2. Bambu Apus

Penelitian kali ini menggunakan material kayu Johar dan bambu Apus sebagai material penyusun kompositnya. Bambu apus sendiri sudah dikenal dalam dunia papan laminasi dimana hasil

laminasi bambu Apus memiliki nilai kekuatan Teknis yang mumpuni sehingga cocok untuk digunakan sebagai penguat pada material komposit.



Gambar 3. Bambu Apus

Bambu apus memiliki karakteristik berwarna hijau ketika muda dan krem setelah kering. Tumbuhan ini dapat kita lihat pada gambar 3 dimana pada umumnya memiliki panjang sekitar 11-14 meter, panjang ruas 26-32 cm pada pangkal, 49-51 cm pada tengah, dan 37-44 pada ujung. Memiliki diameter 6,1 – 7,5 cm. Bambu apus memiliki berat jenis 0,59 gr/cm³ dengan kuat tarik sejajar sebesar 120 – 280 Mpa dan kuat tekuk sebesar 49,2 – 121,6 Mpa. Kemudian bambu Apus memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 12.888 Mpa[18].

2.1.3. Kayu Johar

Material penyusun papan laminasi selanjutnya merupakan kayu Johar yang berperan sebagai matrik pada proses laminasi. Kayu Johar (*Senna Siamea*) merupakan kayu yang sering dikenal dengan sebutan kayu Bujuk atau Dulang. Persebaran kayu Johar merata mulai pulau Sumatera, Jawa, dan Kalimantan[19].



Gambar 4. Kayu Johar

Kayu Johar memiliki karakteristik berupa batang bulat, tegak dan berkayu serta memiliki kulit kasar dan berwarna putih kotor. Pohon Johar dapat dilihat pada gambar 4. Kayu johar sering digunakan untuk pembuatan jembatan dan tiang

bangunan akan tetapi memiliki kekurangan yaitu sulitnya untuk diolah karena memiliki sifat yang keras. Di Indonesia sendiri, persebaran kayu Johar dapat ditemukan pada daerah Sumatera[19]. Kayu Johar termasuk kedalam golongan kayu keras dan memiliki kuat kelas I dan kuat Awet I-III[8] serta memiliki kemampuan mekanis berupa Kuat Tekan kayu sebesar 7,7-8,6 Mpa dengan kuat Tarik sebesar 150,6 – 160,7 Mpa dan berat jenis sebesar 0,79 – 0,80.

Proses laminasi material komposit ini menggunakan perekat berupa resin *epoxy* yang dikenal memiliki kemampuan yang mumpuni dan unggul. Secara umum terdapat 2 komponen utama resin *epoxy* yaitu resin dan *hardener*[20]. Penggunaan resin pada umumnya cocok diaplikasikan pada sambungan papan, kayu, kaca hingga logam. Epoxy memiliki sifat yang unggul dimana merupakan perekat yang tergolong murah dibandingkan dengan perekat sintetis lainnya, dengan sifat yang anti air (*waterproof*), tahan minyak dan cocok untuk pemakaian eksterior.

Untuk mengetahui kemampuan mekanis papan laminasi yang dibuat, akan dilakukan 2 jenis pengujian diantaranya uji tarik (*tensile*) dan uji tekuk (*bending*). Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik, regangan dan modulus elastisitas dari spesimen sehingga dapat diketahui bagaimana kemampuan material tersebut melalui respon pertambahan panjang hingga kegagalan material. Uji tekuk dilakukan untuk mengetahui respon dan sifat material ketika diberikan pembebanan secara transversal atau tegak lurus sumbu axis pada papan laminasi.

2.2. Tahap Penelitian

Penelitian ini mencakup beberapa tahap, antara lain:

2.2.1. Pengumpulan Bahan

Kayu Johar dan bambu Apus digunakan sebagai material dasar yang akan dilakukan proses laminasi. Sesuai dengan ukuran spesimen maka untuk awalan kayu Johar dipotong dengan ukuran 25 mm x 25 mm x 500 mm sebanyak 20 buah untuk uji tarik dan 50 mm x 50 mm x 1000 mm sebanyak 20 buah untuk uji tekuk. Sementara itu, sebagai awalan untuk bambu apus, bambu dipotong dengan ukuran ruas bambu sepanjang 500 mm untuk uji tarik dan 1000 mm untuk uji tekuk. Material yang sudah dipotong sebagai awalan kemudian dilakukan proses pengeringan hingga mendapatkan kadar air dibawah 15% sebelum dilakukan proses lebih lanjut. Kadar air perlu diperhatikan karena merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi

kemampuan teknis sebuah material, dimana semakin tinggi kadar air yang ada dalam suatu material maka semakin rendah nilai kemampuan teknis nya[21]. Hal tersebut dapat terjadi akibat terdapatnya partikel air pada rongga antar partikel papan laminasi sehingga ketika melakukan proses perekatan, maka perekat tidak dapat masuk kedalam rongga partikel penyusun papan laminasi sejalan dengan hasil rekatnya yang lemah.

2.2.2. Langkah Pembuatan

a. Persiapan Material



Gambar 5. Potongan Kayu Johar

Kayu Johar dipotong sesuai dengan ukuran standar pengujian yaitu pada uji tarik dengan ukuran 25 mm x 25 mm x 440 mm sesuai dengan standar SNI[22] maka kayu Johar dipotong dengan panjang dan lebar yang sama yaitu 440 mm x 25 mm. Ukuran standar pengujian pada uji tekuk dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 760 mm sesuai dengan standar SNI [23] maka kayu Johar dipotong dengan panjang dan lebar yang sama yaitu 760 mm x 50 mm.



Gambar 6. Bilah Bambu

Sebelum dilakukan proses laminasi antara kayu Johar dan bambu Apus, bambu terlebih dahulu dilaminasi dengan ukuran yang sudah ditentukan. Proses laminasi bambu memudahkan

ketelitian ukuran agar sesuai dengan variasi fraksi volume yang diinginkan. Ruas bambu pertama dipotong menjadi bilah bambu sesuai dengan ukuran panjang dan lebar pengujian dan dilaminasi dengan jumlah lapisan sebanyak 2 lapis dengan tebal bilah yang berbeda. Proses laminasi bambu juga bertujuan untuk membantu mengatasi permasalahan pada keterbatasan tebal bambu, dimana bambu memiliki pertumbuhan yang dominan secara axial sehingga untuk mendapatkan ketebalan tertentu perlu dilakukan proses laminasi[12].



Gambar 7. Laminasi Bambu Apus

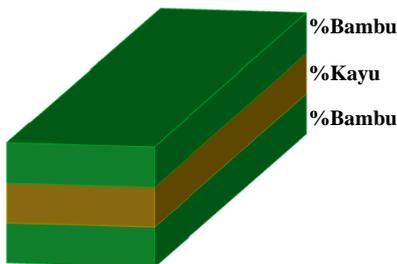
b. Laminasi Kayu Johar dan Bambu Apus

Kayu Johar dan papan laminasi bambu yang sudah sesuai dengan ukuran standar pengujian kemudian direkatkan kembali menggunakan resin epoxy sesuai dengan variasi fraksi volume yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Variasi Fraksi Volume

Tebal Lapisan (Bambu-kayu-bambu)		
Variasi	Uji Tarik (mm)	Uji Tekuk (mm)
J30A70	8,75 – 7,50 – 8,75	17,50 – 15,00 – 17,50
J40A60	7,50 – 10,00 – 7,50	15,00 – 20,00 – 15,00
J50A50	6,25 – 12,50 – 6,25	12,50 – 25,00 – 12,50
J60A40	5,00 – 15,00 – 5,00	10,00 – 30,00 – 10,00
J70A30	3,75 – 17,50 – 3,75	7,50 – 35,00 – 7,50
J100	25,00	50,00

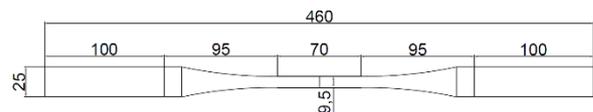
Bentuk papan laminasi sesuai dengan variasi fraksi volume dapat dilihat melalui ilustrasi pada gambar 5.



Gambar 8. Model Spesimen

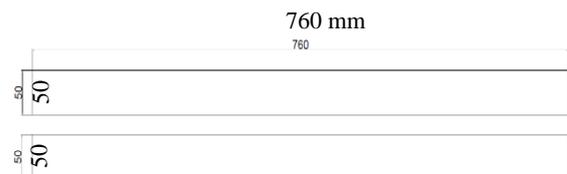
Pemilihan variasi fraksi volume dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan bambu pada kayu Johar dengan tujuan untuk mendapatkan material yang paling efisien yang mana dalam hal ini merupakan material dengan harga, kemampuan teknis terbaik. Pemilihan posisi kayu Johar yang berada ditengah dan bambu Apus berada diluar didasarkan pada sifat material bambu yang cenderung lebih elastis dibanding dengan kayu. Ketika material mendapatkan beban secara transversal atau tegak lurus arah axial papan laminasi maka lapisan kayu akan cenderung untuk mengalami patahan akibat sifatnya yang getas. Penempatan bambu diluar diharapkan akan mengurangi kelemahan tersebut dengan sifatnya yang elastis sehingga material dapat menerima beban lebih baik tanpa mengalami kerusakan[24]. Studi sebelumnya tentang pemilihan posisi tersebut sudah dilakukan oleh Li et al.,

2.2.3. Langkah Pembuatan



Gambar 9. SNI 03-3999-1994 (Tensile)

Setelah proses laminasi selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses pemotongan spesimen sesuai dengan standar pengujian untuk uji tarik berdasarkan standar SNI 03-3399-1994 dengan dimensi spesimen sesuai dengan Gambar 7.



Gambar 10. SNI 03-3959-1995 (Bending)

Sementara itu, dimensi uji tarik disesuaikan dengan standar SNI 03-3959-1995 dengan dimensi spesimen yang disajikan pada gambar 8. Proses pengujian tarik dan tekuk dilaksanakan di Laboratorium Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro (UNDIP), Semarang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk mengukur tegangan maksimum, regangan serta modulus elastisitas material spesimen yang dibuat. Tegangan tarik maksimum akan memberikan informasi terkait kemampuan material untuk

menahan beban yang diberikan sebelum mengalami deformasi atau kerusakan. Sementara itu regangan adalah perubahan ukuran sebagai respon material ketika diberikan tekanan. Sedangkan modulus elastisitas akan memberikan informasi mengenai seberapa tangguh material tersebut atau bagaimana respon material terhadap pemberian beban seperti gaya tarik atau tekuk.

3.1.1. Tegangan Tarik

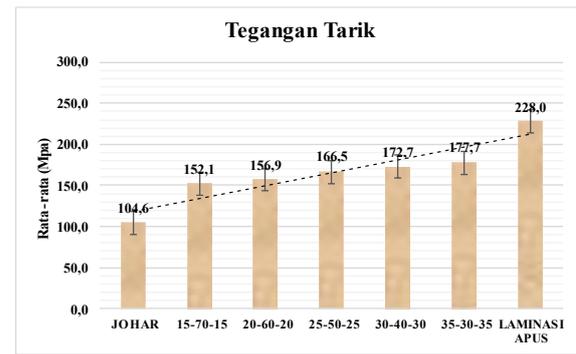
Tegangan tarik merujuk pada tegangan proporsional dan maksimum yang dapat diterima oleh suatu material sebelum mengalami deformasi hingga patah. Kekuatan tarik didapatkan menggunakan mesin Universal testing Machine dengan membagikan tekanan yang diterima dengan luas permukaan spesimen uji.

Tabel 2. Tegangan Tarik

Variasi	No	b (mm)	d (mm)	P Max (kN)	σ Max (Mpa)	SD	$\sigma \bar{x}$ (Mpa)
15-70-15	A	25	25	17,6	146,7	5,8	177,1
	B	25	25	18,9	157,5		
	C	25	25	17,7	147,5		
	D	25	25	18,8	156,7		
20-60-20	A	25	25	19,6	163,3	6,5	181,9
	B	25	25	18,1	150,8		
	C	25	25	19,4	161,7		
	D	25	25	18,2	151,7		
25-50-25	A	25	25	21,2	176,7	12,8	191,5
	B	25	25	18,7	155,8		
	C	25	25	21,4	178,3		
	D	25	25	18,6	155,0		
30-40-30	A	25	25	19,4	161,7	15,3	197,7
	B	25	25	22,1	184,2		
	C	25	25	18,9	157,5		
	D	25	25	22,5	187,5		
35-30-35	A	25	25	22,6	188,3	12,8	202,7
	B	25	25	22,7	189,2		
	C	25	25	19,9	165,8		
	D	25	25	20,1	167,5		
JOHAR	A	25	25	13,1	109,2	4,8	108,8
	B	25	25	12,1	100,8		
	C	25	25	13,0	108,3		
	D	25	25	12,0	100,0		
APUS							228

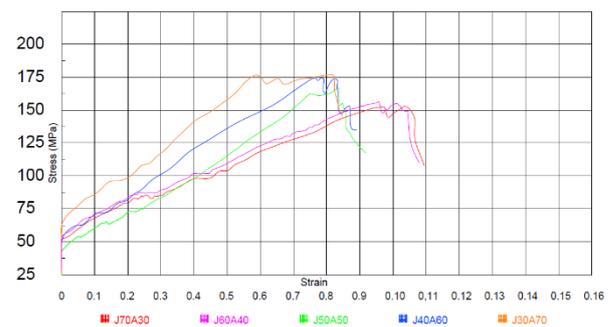
Data pada Tabel 6 menampilkan bahwa spesimen komposit dengan komposisi 30% kayu Johar dan 70% bambu Apus (35-30-35) memiliki rata-rata kuat tarik paling tinggi sebesar 177,7 MPa, yang mana memiliki peningkatan sebesar 69,8 % dibandingkan spesimen RAW kayu Johar dan variasi 15-70-15 (152,1 MPa) merupakan variasi dengan nilai rata-rata kuat tarik terendah, namun memiliki kenaikan nilai tegangan sebesar 45,4 % dibandingkan dengan spesimen RAW kayu Johar. Hal ini menunjukkan penambahan bambu

terhadap material kayu Johar memiliki peningkatan kekuatan tarik yang relatif cukup besar.



Gambar 11. Grafik Tegangan Tarik

Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai kuat tarik tertinggi berada pada komposisi bambu terbanyak (35-30-35) yang mana sesuai dengan penelitian terdahulu dimana peningkatan komposisi bambu terbukti menghasilkan kemampuan mekanis material yang lebih baik oleh karena sifat mekanis dari bambu itu sendiri.



Gambar 12. Kurva *stress-strain* uji tarik.

Pada grafik 4.2 diperoleh kurva strain-stress material dengan persentase bambu yang lebih banyak memiliki sifat yang lebih kuat menerima tegangan dan sifat yang relatif semakin getas. Sifat material bambu sendiri yang lebih mumpuni terbukti mempengaruhi hasil papan laminasi dimana pengaruh kemampuan bambu dalam menerima tegangan tarik yang searah dengan serat lebih baik dibanding tegak lurus arah serat.

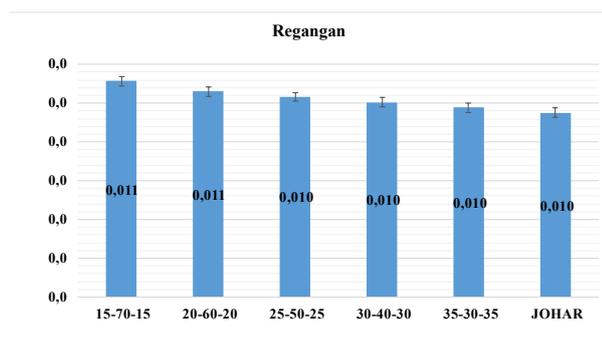
3.1.2. Regangan Tarik

Hasil tes menunjukkan nilai Regangan Tarik rata-rata sebagai berikut:

Tabel 3. Data Regangan Tarik

Variasi	No	L0 (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	Rata (mm)	Regangan ϵ (%)	$\bar{\epsilon}$
15-70-15	A	460	465,0	5,00	5,125	0,011	0,011
	B	460	465,5	5,50		0,012	
	C	460	465,5	5,50		0,012	
	D	460	464,5	4,50		0,010	
20-60-20	A	460	464,5	4,50	4,875	0,010	0,011
	B	460	465,0	5,00		0,011	
	C	460	465,5	5,50		0,012	
	D	460	464,5	4,50		0,010	
25-50-25	A	460	464,0	4,00	4,75	0,009	0,010
	B	460	465,0	5,00		0,011	
	C	460	464,5	4,50		0,010	
	D	460	465,5	5,50		0,012	
30-40-30	A	460	464,0	4,00	4,625	0,009	0,010
	B	460	465,0	5,00		0,011	
	C	460	464,5	4,50		0,010	
	D	460	465,0	5,00		0,011	
35-30-35	A	460	464,0	4,00	4,5	0,009	0,010
	B	460	464,5	4,50		0,010	
	C	460	465,0	5,00		0,011	
	D	460	464,5	4,50		0,010	
JOHAR	A	460	464,0	4,00	4,375	0,009	0,010
	B	460	464,0	4,00		0,009	
	C	460	465,0	5,00		0,011	
	D	460	464,5	4,50		0,010	

Dari Tabel 7 regangan tarik diperoleh nilai regangan paling tinggi didapat oleh variasi 70% kayu Johar dan 30% bambu Apus (15-70-15) dengan rata-rata sebesar 1,114%. Sementara itu untuk nilai regangan terkecil didapat oleh variasi 30% kayu Johar dan 70% bambu Apus (35-30-35) dengan rata-rata sebesar 0,978%.



Gambar 13. Grafik Regangan Tarik

Dari gambar 9 diketahui bahwa nilai regangan spesimen menyebar dari 1,114 – 0,951 yang mana dengan nilai regangan tersebut menunjukkan adanya perubahan panjang pada spesimen sehingga dapat dihasilkan Modulus Young sebagai respon pengujian. Respon ini akan menunjukkan bahwasanya material spesimen yang diuji memiliki sifat yang getas atau elastis.

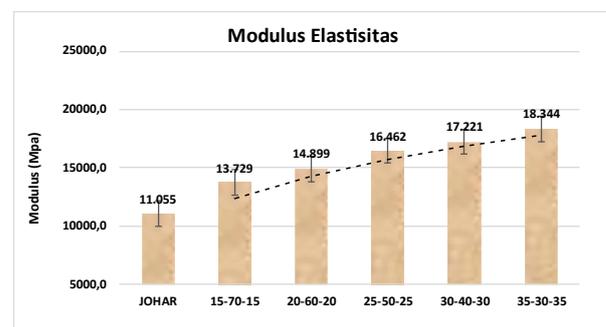
3.1.3. Modulus Elastisitas

Hasil tes menunjukkan nilai Modulus Young rata-rata sebagai berikut:

Tabel 4. Data Modulus Elastisitas

Variasi (B-W-B) %	No	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	E (Mpa)	\bar{E} (Gpa)
15-70-15	A	156,7	0,011	14413,3	13,7
	B	157,5	0,012	13172,7	
	C	147,5	0,012	12336,4	
	D	146,7	0,010	14992,6	
20-60-20	A	151,7	0,010	15503,7	14,9
	B	150,8	0,011	13876,7	
	C	161,7	0,012	13521,2	
	D	163,3	0,010	16696,3	
25-50-25	A	176,7	0,009	20316,7	16,4
	B	155,8	0,011	14336,7	
	C	178,3	0,010	18229,6	
	D	155,0	0,012	12963,6	
30-40-30	A	161,7	0,009	18591,7	17,2
	B	184,2	0,011	16943,3	
	C	157,5	0,010	16100,0	
	D	187,5	0,011	17250,0	
35-30-35	A	188,3	0,009	21658,3	18,3
	B	189,2	0,010	19337,0	
	C	165,8	0,011	15256,7	
	D	167,5	0,010	17122,2	
JOHAR	A	100,0	0,009	11500,0	18,3
	B	100,8	0,009	11595,8	
	C	108,3	0,011	9966,7	
	D	109,2	0,010	11159,3	

Pada Tabel 8 diperoleh bahwa nilai rata-rata modulus tertinggi diperoleh pada variasi 30% kayu Johar dan 70% bambu Apus (35-30-35) sebesar 18,3 GPa dimana lebih besar 65,61% dibanding dengan spesimen RAW kayu Johar sejalan dengan variasi 70% kayu Johar dan 30% bambu Apus dimana memiliki nilai peningkatan modulus Young sebesar 23,98% dibanding spesimen RAW kayu Johar.



Gambar 14. Grafik Modulus Young

Kemudian hasil yang diperoleh dari Gambar 11 menunjukkan perbedaan nilai Modulus Elastisitas dimana variasi 35-30-35 memiliki nilai lebih besar dari kayu Johar. Nilai tersebut menunjukkan variasi yang diuji memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menerima tegangan tarik dibanding material RAW kayu

Johar, atau dengan kata lain, material variasi yang diuji lebih sulit untuk patah atau gagal.

Nilai tersebut dapat terjadi akibat pengaruh regangan dan tegangan yang diperoleh sebuah material. Suatu material dapat memperoleh nilai modulus yang sama dengan dua pendekatan yang berbeda. Peneliti meyakini bahwa suatu material dapat memiliki kapasitas menerima tegangan yang tinggi akan tetapi merespon dengan regangan yang berbeda-beda. Hal tersebut dapat mempengaruhi sifat material, sehingga dapat digolongkan sebagai material elastis atau getas.

3.2. Hasil Uji Tekuk

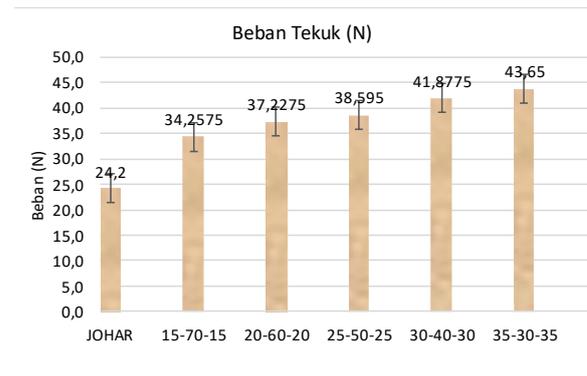
Uji tekuk atau bending test merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan, kekakuan serta kemampuan material untuk mempertahankan bentuknya. Uji tekuk kali ini menggunakan Three Point Bending Test.

Tabel 5. Beban Tekuk

Variasi (B-W-B) %	No	Lebar	Tebal	P (kN)	P (N)
15-70-15	A	50	50	34,44	34440
	B	50	50	33,75	33750
	C	50	50	34,66	34660
	D	50	50	34,18	34180
20-60-20	A	50	50	37,74	37740
	B	50	50	37,31	37310
	C	50	50	36,37	36370
	D	50	50	37,49	37490
25-50-25	A	50	50	40,32	40320
	B	50	50	38,73	38730
	C	50	50	38,42	38420
	D	50	50	36,91	36910
30-40-30	A	50	50	41,15	41150
	B	50	50	41,46	41460
	C	50	50	42,45	42450
	D	50	50	42,45	42450
35-30-35	A	50	50	43,53	43530
	B	50	50	43,86	43860
	C	50	50	42,97	42970
	D	50	50	44,24	44240
JOHAR	A	50	50	24,05	24050
	B	50	50	25,35	25350
	C	50	50	24,47	24470
	D	50	50	23,95	23950

Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian sebelumnya tentang kekuatan teknis papan laminasi dimana kekuatan tekuk meningkat seiring dengan meningkatnya persentase bambu. Hal ini menunjukkan bahwa sifat material komposit yang dihasilkan semakin baik ketika material memiliki

fraksi bambu yang lebih dominan. Nilai beban tekuk dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 15. Grafik Beban Tekuk

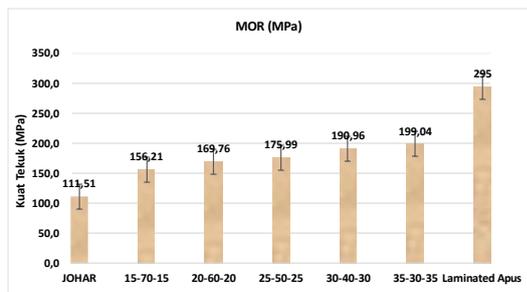
Pada Gambar 12 didapatkan nilai beban maksimum dan grafik 12 tentang nilai kuat tekuk. Diperoleh bahwa nilai beban tekuk terbaik berada pada variasi 15-70-15 atau kayu Johar 70% dan bambu Apus 30%. Dengan demikian dari nilai yang didapat, perlu dikaji sifat material yang mempengaruhi nilai kuat tekuk. Data yang diperoleh ini akan menunjukkan kemampuan material dalam menerima beban.

Tabel 6. Data MOR

Variasi (B-W-B) %	No	MOR (Mpa)	SD	MOR (Mpa)	\bar{x} MOR (Mpa)
15-70-15	A	211,77	1,5	211,77	156,21
	B	208,62		208,62	
	C	208,21		208,21	
	D	210,58		210,58	
20-60-20	A	213,13	2,4	213,13	169,76
	B	211,17		211,17	
	C	206,89		206,89	
	D	211,99		211,99	
25-50-25	A	215,37	5,5	215,37	175,99
	B	217,33		217,33	
	C	214,18		214,18	
	D	219,06		219,06	
30-40-30	A	215,00	2,7	215,00	190,96
	B	217,79		217,79	
	C	216,83		216,83	
	D	217,74		217,74	
35-30-35	A	220,34	2,1	220,34	199,04
	B	217,65		217,65	
	C	216,24		216,24	
	D	218,47		218,47	
JOHAR	A	109,67	2,5	200,87	199,04
	B	115,60		161,20	
	C	111,58		202,78	
	D	109,21		200,41	

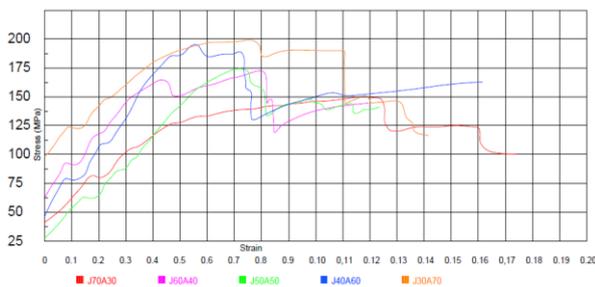
Berdasarkan Tabel 10 pengujian, material dengan nilai kuat tekuk tertinggi berada pada variasi 30% kayu Johar dan 70% bambu Apus (35-30-35)% dengan nilai kuat tekuk sebesar 199,04 MPa meningkat sebesar 78,49% dibanding spesimen RAW kayu Johar. Peneliti meyakini bahwa ketika material memiliki sifat yang elastis (ductile) menyebabkan keterbatasan dalam

pengujian tekuk, sehingga ketika nilai yield sudah tercapai maka material akan terus berdeformasi dan tidak mencapai nilai rupture. Nilai kuat tekuk yang didapat oleh variasi komposit akan tetapi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan material RAW kayu Johar terlihat pada variasi dengan penambahan nilai kuat tekuk terendah pada variasi 70% kayu Johar dan 30% bambu Apus memiliki nilai kuat tekuk 156,21 MPa meningkat sebesar 40,08% dibanding material RAW kayu Johar.



Gambar 16. Grafik Beban Tekuk

Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekuk tertinggi didapat pada variasi 30% kayu Johar dan 70% bambu Apus. Nilai kuat tekuk tersebut didapatkan karena beberapa faktor yang pada intinya menunjukkan pengaruh penambahan bambu pada papan laminasi terbukti meningkatkan kekuatan teknis material itu sendiri.



Gambar 17. Kurva stress-strain uji tekuk

Pada pengujian tekuk terdapat keterbatasan dalam pengujian tekuk, dimana material yang sifatnya elastis memiliki kendala ketika dilakukannya uji tekuk, sehingga ketika nilai yield sudah tercapai maka material akan melentur dan tidak mencapai nilai rupture. Akan tetapi nilai kuat tekuk yang didapat oleh variasi komposit memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan material RAW kayu Johar.

3.3. Fraksi Volume

Fraksi volume merupakan bagian penting dari penentuan kekuatan material komposit yang akan dibuat. Dengan adanya perbedaan yang jelas antara variasi fraksi volume material komposit yang satu dengan yang lain maka dapat diperkirakan variasi

terbaik mana yang dapat digunakan serta peran suatu material penyusun dalam komposit. Pada kasus ini material komposit antara kayu Johar dan bambu Apus memiliki fraksi volume penyusun sebagaimana disajikan pada tabel 8.

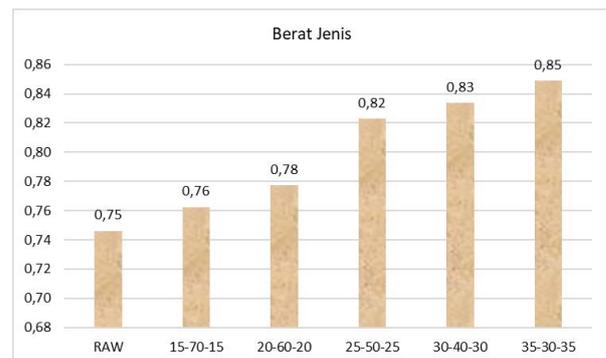
Tabel 8. Fraksi Volume

Fraksi Volume Uji Tarik			Fraksi Volume Uji Tekuk		
Variasi	Kayu	Bambu	Variasi	Kayu	Bambu
K30B70	58,13	135,63	K30B70	570,00	1330,00
K40B60	77,50	116,25	K40B60	760,00	1140,00
K50B50	96,88	96,88	K50B50	950,00	950,00
K60B40	116,25	77,50	K60B40	1140,00	760,00
K70B30	135,63	58,13	K70B30	1330,00	570,00

3.4. Berat Jenis

Berat jenis merupakan salah satu indikator yang mempengaruhi kekuatan teknis suatu material dimana pada beberapa kasus material dengan berat jenis yang cenderung lebih besar memiliki kemampuan teknis yang lebih baik dikarenakan hubungan antara kepadatan partikel.

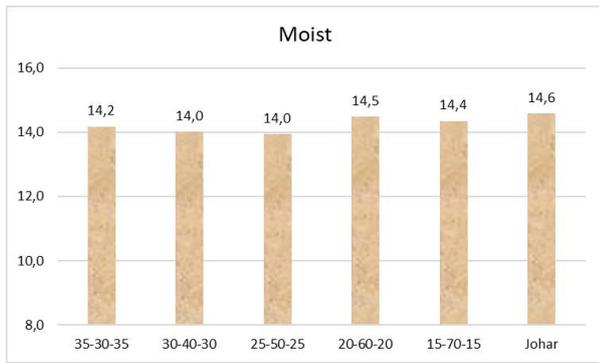
Berat jenis pada setiap spesimen dihitung untuk mengetahui berat jenis masing-masing spesimen untuk mengetahui perbandingan berat jenis dengan kemampuan teknis yang didapat. Berat jenis dapat dihitung dengan membagikan massa (m) dengan volume (v) benda, atau $\rho = (m)/v$. Berat jenis dapat dilihat pada tabel 9.



Gambar 18. Grafik massa jenis

3.5. Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu indikator lain yang mempengaruhi kekuatan teknis suatu material dimana semakin tinggi kadar air yang dimiliki suatu material maka akan berpengaruh pada kekuatan antar partikel penyusun dan memungkinkan untuk mengalami pelunakan karena menurunnya daya ikat antar kayu[25]. Kadar air dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik kadar air

3.6. Perbandingan dengan Material Lain

Gambar 20 menunjukkan rasio antara nilai kuat tarik dari massa jenis beberapa material konstruksi kapal lain dengan papan laminasi yang dibuat.

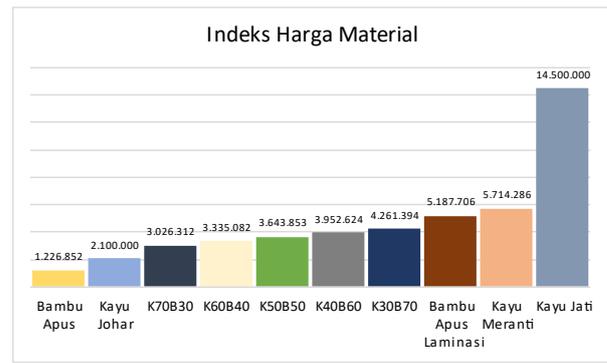


Gambar 20. Rasio kuat tarik dan massa jenis

Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa terdapat material yang memiliki kemampuan teknis yang tinggi dan massa jenis yang rendah memiliki nilai rasio yang lebih besar, sehingga dapat dipertimbangkan untuk memilih material yang kuat sekaligus ringan. Tabulasi tersebut menunjukkan papan laminasi kayu Johar dan bambu Apus memiliki rasio yang relatif bersaing, dimana masih memiliki nilai yang lebih optimum dibanding beberapa material laminasi lainnya

3.7. Perbandingan Ekonomis

Perhitungan nilai ekonomis pada penelitian ini berupa penghitungan estimasi biaya yang digunakan selama proses pembuatan spesimen sehingga harga pada lokasi dan pekerja yang lain dapat mempengaruhi. Nilai harga yang didapat akan merepresentasikan bagaimana harga apabila material komposit nantinya akan digunakan dalam proses manufaktur kapal. Perbandingan nilai ekonomis dapat dilihat pada tabel 12.



Gambar 21. Indeks harga material

Hasil pengujian yang didapatkan kemudian dilakukan perbandingan hingga mendapat nilai paling optimal pada perbandingan harga dengan kekuatan mekanis yang didapat. Hasil perbandingan kenaikan kekuatan mekanis dengan harga yang paling optimal dapat dilihat pada material pada Tabel 4.17.

Sebagai faktor pertimbangan ekonomis, manufaktur kapal kayu menggunakan kayu konvensional akan dibandingkan dengan kayu laminasi dan material lainnya. Untuk mengetahui perbandingan ekonomis, baik kenaikan ataupun penurunan biaya, maka diperlukan analisis terhadap nilai ekonomis dari setiap material penyusun pada satu kondisi kapal yang sama. Proses analisis ekonomis meliputi perhitungan biaya material, biaya produksi, biaya overhead dan biaya operasional. Objek yang dihitung merupakan lambung kapal tanpa bagian-bagian lainnya seperti electrical, permesinan hingga interior kapal untuk memudahkan menganalisis perbedaan biaya antar material. Kapal yang digunakan sebagai pembanding berupa kapal dengan ukuran sebagai berikut:

LOA	: 16,40 m
B	: 5,50 m
H	: 2,10 m
Draft	: 1 m

Tabel 6 dibawah dapat dilihat volume kebutuhan material kapal untuk menghitung jumlah material yang akan digunakan pada proses manufaktur kapal

Tabel 6. Volume kebutuhan material kapal

Komponen Kapal	Total Volume (m ³)
Kulit & Geladak	12.67
Linggih	0.88
Wrang	1.78
Gading-gading	1.81
Galar	0.69
Lunas	0.83
Penumpu Geladak	3.04
Sekat	1.16
Total	22.86

Kemudian pada tabel 7 dibawah dapat dilihat biaya kebutuhan berdasarkan harga material per m³.

Tabel 7. Biaya Material /m³

Material	Harga (Rp/m ³)	Kebutuhan (m ³)	Biaya (Rp)
Jati	14.500.000	22.86	331.470.000
Bambu Apus	5.187.706	22.86	118.590.959
Johar	2.100.000	22.86	48.006.000
Meranti	5.714.286	22.86	130.628.578
Laminasi Apus Johar	3.026.312	22.86	69.181.488

Nilai tersebut merupakan representasi biaya material yang dibutuhkan untuk proses manufaktur lambung kapal. Kemudian dilakukan perhitungan biaya produksi yang upah tukang dan serabutan dalam kurun waktu pembangunan kapal. Biaya produksi dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Biaya Produksi

Pekerja	Biaya Produksi			Total
	Jumlah	Upah/Hari	Waktu (Hari)	
Tukang Lambung	6	180.000	45	Rp48.600.000
Serabutan	2	100.000	45	Rp9.000.000
Total biaya produksi				Rp57.600.000

Biaya overhead sendiri juga perlu untuk diperhitungkan yang merupakan biaya yang mencakup hal-hal kondisional yang akan berpengaruh penting pada proses manufaktur kapal sehingga diperlukan. Biaya overhead pada tabel 9 meliputi bahan bakar, jasa, perawatan alat, listrik dan dan alat keselamatan kerja.

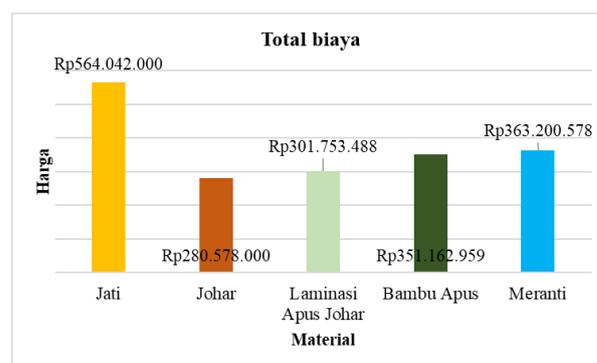
Tabel 9. Biaya Overhead

Biaya Overhead			
Item	Jumlah	Harga	Total
Bahan Bakar	6	Rp200.000	Rp1.200.000
Perawatan alat	1	Rp1.000.000	Rp1.000.000
Jasa Gergaji	45	Rp200.000	Rp9.000.000
Listrik	6	Rp200.000	Rp1.200.000
Alat K3	8	Rp514.000	Rp4.112.000
Total			Rp16.512.000

Sementara itu, biaya operasional merupakan biaya yang secara berkala akan terus ada ketika kapal beroperasi. Biaya ini meliputi upah kru, bahan bakar, biaya asuransi, biaya perawatan dan keperluan berkala pada kapal. Tabulasi biaya operasional yang akan terus berjalan selama kapal beroperasi dapat dilihat pada tabel 10 dibawah.

Tabel 10. Biaya Operasional

Biaya Operasional			
Item	Jumlah	Biaya	Biaya/Tahun
Crew	4 orang	Rp5.000.000	Rp60.000.000
Bahan Bakar	30 liter	Rp6.800	Rp74.460.000
Perawatan	12 bulan	Rp1.000.000	Rp12.000.000
Asuransi	12 bulan	Rp1.000.000	Rp12.000.000
Total			Rp158.460.000

**Gambar 22.** Grafik Total Biaya

Total harga manufaktur kapal tertinggi berada pada jenis material kayu Jati dengan total biaya Rp564.042.000 dengan biaya manufaktur kapal terendah berada pada jenis material kayu Johar dengan total biaya Rp280.578.000.

Tabel 11. Harga Jual Lambung

Harga Jual			
Material	Harga Produksi (Rp)	Keuntungan (15%)	Harga Jual
Jati	564.042.000	Rp84.606.300	Rp648.648.300
Bambu Apus	351.162.959	Rp52.674.444	Rp403.837.403
Johar	280.578.000	Rp42.086.700	Rp322.664.700
Meranti	363.200.578	Rp54.480.087	Rp417.680.665
Laminasi Apus Johar	301.753.488	Rp45.263.023	Rp347.016.511

Setelah mengetahui total biaya pembangunan lambung kapal kemudian harga jual disesuaikan dengan menambahkan 15% dari harga produksi sebagai bentuk laba. Tabulasi hasil penambahan 15% dapat dilihat pada tabel 11. Sebelum menghitung BEP maka diperlukan biaya operasional yang menjadi pengeluaran berkala ketika kapal beroperasi. Total pendapatan dapat dilihat pada tabel 12

Tabel 12. Pendapatan Operasional

Pendapatan			
Kapasitas	Harga	Pendapatan	Pendapatan/Tahun
50	Rp20.000	Rp1.000.000	Rp365.000.000

Setelah didapatkannya beberapa biaya tersebut kemudian kita dapat menghitung Break Even Point guna mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk balik modal.

Tabel 13. Break Even Point

Material	BEP
Jati	2,73
Bambu Apus	1,70
Johar	1,36
Meranti	1,76
Laminasi Apus Johar (15-70-15)	1,46

Hasil perhitungan BEP pada tabulasi 4.17 diatas menunjukkan material dengan bahan laminasi kayu Johar dan bambu Laminasi memiliki angka yang berbeda dimana untuk rentang waktu balik modal paling cepat berada pada material laminasi kayu Johar dan bambu Apus dengan lama waktu 1,46 tahun untuk mengembalikan modal manufaktur lambung kapal.

3.8. Perbandingan Dengan BKI

Nilai Uji Tarik dan Uji Tekuk yang didapat akan dibandingkan dengan standar regulasi yang terdapat pada Standar BKI yang akan menentukan bagian mana pada kapal yang dapat menggunakan material komposit yang sudah dibuat dan mana yang tidak. Dengan mengetahui perbandingan hasil dengan standar BKI maka dapat diketahui konstruksi kapal mana yang bisa menggunakan papan laminasi yang sudah dibuat. Menurut regulasi BKI pada Buku Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi Kapal Laut (Kapal Kayu) ditentukan bahwa minimum standar kekuatan lentur harus menggunakan aturan minimum Kelas Kuat III dan Kelas Awet III [26]. Perbandingan nilai kuat tarik dan tekuk material komposit papan laminasi dengan standar BKI dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 14. Kelas Kuat BKI

Kelas Kuat BKI			
Kelas Kuat	ρ	MOR	Kekuatan Tekan
I	$\rho \geq 0,90$	$MOR \geq 1100$	$F_c \geq 650$
II	$0,60 \leq \rho < 0,90$	$725 \leq MOR < 1100$	$425 \leq F_c < 650$
III	$0,60 > \rho \geq 0,40$	$500 \leq MOR < 725$	$300 \leq F_c < 425$
IV	$0,40 > \rho > 0,30$	$360 < MOR < 500$	$215 < F_c < 300$
V	$\rho \leq 0,30$	$MOR \leq 360$	$F_c \leq 215$

Pada peraturan umum BKI (BKI Bagian 3, Volume VI tentang Peraturan Kapal Kayu) terdapat pula peraturan Umum pada Konstruksi kapal kayu yang membahas tentang bagian konstruksi yang diatur oleh BKI. Aturan yang ada ini menentukan berat jenis minimal serta nilai lentur minimal yang digunakan sebagai acuan dalam pemilihan material yang akan digunakan sebagai konstruksi kapal dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 15. Peraturan Umum Konstruksi Kapal

Golongan	ρ	E (Mpa)	Konstruksi
A	0,70	83	Lunas, Linggih, Wrang, Gading-gading, Tutup sisi geladak
B	0,56	67	Kulit Luar, Balok Geladak, Galar balok, Lutut Balok, Penumpu Geladak, Dudukan Mesin
C	0,45	53	Geladak, Galar Bilga

Untuk kuat kelas kayu, seluruh spesimen uji tarik dan tekuk sudah memenuhi kriteria pada Standar BKI dan Peraturan Umum Konstruksi dimana pada uji tarik rentang nilai kuat tarik sebesar 152,1 – 177,7 MPa. Sementara itu untuk rentang nilai kuat tekuk sebesar 156,2 – 199,0

MPa. Rerata berat jenis yang didapat pada spesimen uji tarik dan uji tekuk sudah memenuhi standar yang sudah ada pada Standar BKI yaitu sebesar 0,7 g/cm² pada golongan A (Lunas, Linggih, Wrang, Gading-gading, Tutup sisi geladak), 0,56 g/cm² pada golongan B (Kulit Luar, Balok Geladak, Galar balok, Lutut Balok, Penumpu Geladak, Dudukan Mesin) serta 0,45 g/cm² pada golongan C (Geladak, Galar Bilga). Kadar air pada setiap variasi spesimen yang dibuat sudah memenuhi standar BKI dengan rata-rata kadar air pada uji tekuk berkisar dari 14,35 – 14,95. Sementara itu pada uji tekuk kadar air berkisar antara 13,18 – 14,95.

Hasil pengujian tarik dan tekuk menjadi hal yang esensial pada penelitian kali ini. Dimana secara tujuan, kedua pengujian ini memiliki perlakuan dan tujuan yang berbeda. Uji tarik secara khusus digunakan untuk mengetahui kemampuan material hingga pada titik kegagalan (fracture). Sementara, uji tekuk lebih khusus digunakan untuk mengetahui sifat material apakah material tersebut kenyal (ductile) atau getas (brittle) dimana secara teori gaya yang bekerja pada pengujian tekuk merupakan gaya tekan pada bagian diatas neutral axis dan gaya tarik pada bagian dibawah neutral axis yang sudah dapat dilihat pada sifat yang dihasilkan pada pengujian tarik. Adapun beberapa sifat material yang mempengaruhi pengujian diatas adalah sebagai berikut

1. Sifat material yang kenyal (ductile). Sebuah material yang terlalu kenyal akan memiliki sifat yang lebih sulit ketika dilakukan pengujian tekuk dibanding dengan material getas karena pada material kenyal pengujian tekuk sudah berakhir hanya pada titik yield strength saja, dan tidak akan mendapatkan titik Ultimate Strengthnya[27].

2. Sifat material yang isotropic. Dimana isotropic berarti sifat bahan atau material bergantung pada arah. Secara singkat papan laminasi yang dibuat sangat bergantung pada arah karena menggunakan bambu sebagai bahan utama yang sudah diketahui bahwasanya bambu memiliki pertumbuhan secara longitudinal atau memanjang. Jadi nilai kemampuan mekanis yang didapat sangat dipengaruhi oleh arah serat bambu yang ikut digunakan dalam proses pembuatan papan laminasi[28].

3. Sifat material yang non-homogeneous dimana sifat arah serat bambu, serat kayu disatukan oleh resin sehingga mendapatkan material dengan arah yang lebih kompleks. Dengan adanya resin yang berperan sebagai reinforcement menjadikan sifat bambu dan kayu menjadi satu kesatuan sehingga meminimalisir terdapatnya impurities atau kemungkinan cacat di sepanjang material. Akan tetapi perlu dipertimbangkan bahwa hal

tersebut hanya terjadi ketika resin dan material penyusun menyatu dengan baik, apabila tidak, resin hanya akan menambah cacat atau impurities pada sepanjang material yang akan menjadi inisiasi terjadinya neck hingga patahan.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian tarik dan tekuk papan laminasi kayu Johar dan bambu Apus memiliki nilai uji tarik dan tekuk yang lebih tinggi dibandingkan kayu Johar, dimana material RAW Johar memiliki rata-rata kuat tarik sebesar 104,6 MPa dan kuat tekuk sebesar 111,5 MPa, sementara papan laminasi memiliki kuat tarik sebesar 152,1 – 177,7 MPa dan kuat tekuk sebesar 156,2 – 199,0 MPa. Persentase peningkatan kuat tarik dan tekuk papan laminasi sebesar 57,92% dan 59,97 % dibandingkan material RAW Johar. Rasio perubahan biaya terhadap perubahan kuat tarik dan tekuk paling optimal berada pada variasi fraksi volume 30% bambu dan 70% kayu dengan biaya produksi kapal sebesar Rp301.753.488 meningkat sebesar 7,54% dari material RAW kayu Johar dengan biaya produksi kapal sebesar Rp280.578.000. Hasil pengujian tarik dan tekuk papan laminasi menunjukkan bahwa semakin besar fraksi volume bambu maka nilai kuat tarik dan tekuk papan laminasi semakin tinggi. Sebaliknya, semakin besar fraksi volume kayu maka nilai kuat tarik dan tekuk papan laminasi semakin rendah. Material komposit papan laminasi kayu Johar dengan bambu Apus dapat digunakan pada sebagian besar material konstruksi kapal sesuai dengan regulasi BKI tentang peraturan kapal kayu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan Syukur atas berkat rahmat Allah Yang Maha Kuasa atas karunianya, penelitian ini dapat selesai. Penulis sangat berterima kasih kepada seluruh pihak yang turut serta membantu keberhasilan penelitian ini. Kepada seluruh staff dan pengajar di S1 Teknik Perkapalan, seluruh teman-teman seperjuangan di S1 Teknik Perkapalan 2020, seluruh keluarga, teman dan kerabat yang masih memberikan dukungan dan dorongan untuk menyelesaikan penelitian ini. Terlepas dari itu, penulis masih menyadari banyak kekurangan ataupun kesalahan pada penelitian ini, akan tetapi kiranya penelitian ini sedikit banyak memberikan manfaat bagi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi terkhusus bagi penulis sebagai Tugas Akhir untuk syarat kelulusan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Firmansyah, P. Studi, T. Perkapalan, U. Hang, and T. Surabaya, "Laminasi Kayu Mahoni Dan Kayu Jati Sebagai Bahan Alternatif," vol. 4, no. 2, pp. 96–101, 2023.
- [2] E. SUSANTO, N. LESTARI, M. HAPSARI, and K. KRISDIYATMIKO, "Driving factors of Deforestation in Indonesia: A case of Central Kalimantan," *J. Stud. Pemerintah.*, vol. 9, no. 4, 2018, doi: 10.18196/jgp.9490.
- [3] F. AP, R. A. Barkey, and Daniel, "Faktor-Faktor Penyebab Kerusakan Hutan Dan Strategi Pengendaliannya (Studi Kasus Pada Cagar Alam P Egunungan Cycloop) Kabupaten Jayapura Provinsi Papua," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [4] R. A. Siregar, H. W. Wiranegara, and H. Hermantoro, "Pengembangan Kawasan Pariwisata Danau Toba, Kabupaten Toba Samosir (Toba Lake Tourism Area Development in Toba Samosir Regency)," *Tata Loka*, vol. 20, no. 2, pp. 100–112, 2018.
- [5] P. Branding, L. Toba, C. Of, and D. Kurniawati, "Komunika," 2023.
- [6] T. Judiantono, "Estimasi Pasar Penumpang Kapal Pesiar Di Danau Toba," *Pros. Forum Stud. Transp. antar Perguru.*, pp. 23–24, 2020.
- [7] C. N, "Analisis Pemilihan Moda Transportasi Antara Kapal Feri Dengan Kapal Tradisional Lintasan Ajibata–Tomok," 2021.
- [8] P. S. Utara, "Wahana Forestra : Jurnal Kehutanan (The Selection Wood Criteria in Manufacturing of Tour Ship Based on Public Knowledge Wahana Forestra : Jurnal Kehutanan," vol. 15, no. 1, pp. 25–35, 2020.
- [9] X. Zhang *et al.*, "Bending and shear performance of a cross-laminated composite consisting of flattened bamboo board and Chinese fir lumber," *Constr. Build. Mater.*, vol. 392, no. May, p. 131913, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131913.
- [10] S. Chen, Y. Wei, G. Wang, K. Zhao, and M. Ding, "Mechanical behavior of laminated bamboo–timber composite columns under axial compression," *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 23, no. 2, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1007/s43452-023-00612-y.
- [11] J. Wen and Y. Xiao, "The flexural behavior of cross laminated bamboo and timber

- (CLBT) and cross laminated timber (CLT) beams,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 408, no. September, p. 133739, 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133739.
- [12] S. Chen, Y. Wei, M. Ding, K. Zhao, and K. Zheng, “Combinatorial design and flexural behavior of laminated bamboo–timber composite beams,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 181, no. July, p. 109993, 2022, doi: 10.1016/j.tws.2022.109993.
- [13] M. S. Permana, P. Manik, and B. Arswendo, “Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Laminasi Dari Kombinasi Bambu Apus Dan Kayu Meranti Sebagai Material Alternatif Pembuatan Komponen Kapal Kayu,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, pp. 21–28, 2017.
- [14] T. Tuswan *et al.*, “Correlation between lamina directions and the mechanical characteristics of laminated bamboo composite for ship structure,” *Curved Layer. Struct.*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1515/cls-2022-0186.
- [15] A. Prabowo and H. Supomo, “Analisis Teknis dan Ekonomis Ketebalan Bilah Laminasi Bambu Sebagai Material Lambung Kapal,” *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 1, pp. 2–5, 2013.
- [16] A. H. D. Abdullah, N. Karlina, W. Rahmatiya, S. Mudaim, Patimah, and A. R. Fajrin, “Physical and mechanical properties of five Indonesian bamboos,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 60, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/60/1/012014.
- [17] P. H. Tjahjanti, “Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer,” *Buku Ajar Teor. Dan Apl. Mater. Komposit Dan Polim.*, 2018, doi: 10.21070/2019/978-602-5914-27-0.
- [18] S. R. Sutardi *et al.*, *Seri Paket Iptek Informasi Sifat Dasar dan Kemungkinan Penggunaan 10 Jenis Bambu*. 2015.
- [19] R. L. Hendrati and N. Hidayati, *Budidaya Johar (Cassia seamea)*. 2014.
- [20] E. Dan and R. Vinylester, “Tugas akhir optimalisasi perbandingan resin dan hardener terhadap sifat mekanik dan waktu pengerasan pada proses,” 2022.
- [21] R. Amin and F. T. Wulandari, “Kombinasi Kayu Rajumas dan Bambu Petung Sebagai Produk Papan Laminasi Combination of Rajumas Wood and Petung Bamboo as a Laminated Board Product,” vol. 4, no. 1, pp. 110–119, 2023.
- [22] S. N. I. (SNI), “Metode Pengujian Kuat Tarik Kayu di Laboratorium,” *Badan Standar Nas. Indones. 03-3399-1994*, 1994.
- [23] S. N. I. (SNI), “Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu di Laboratorium,” *Badan Standar Nas. Indones. 03-3959-1995*, 1995.
- [24] C. Li, X. Wang, and Y. Zhang, “Structural design and mechanical properties analysis of bamboo-wood cross-laminated timber,” *BioResources*, vol. 15, no. 3, pp. 5417–5432, 2020, doi: 10.15376/biores.15.3.5417-5432.
- [25] F. T. Wulandari, J. Kehutanan, F. Pertanian, U. Mataram, N. T. Barat, and D. I. Yogyakarta, “Sifat Fisika Papan Laminasi Kombinasi Kayu Sengon dan Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) Physical Properties of Combination Laminated Boards of Sengon Wood and Petung Bamboo (*Dendrocalamus asper*),” vol. 4, no. 1, pp. 61–68, 2023.
- [26] Biro Klasifikasi Indonesia, “Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi : Kapal Kayu,” vol. VI, 2023, [Online]. Available: www.bki.co.id
- [27] D. Leguillon, É. Martin, and M. C. Lafarie-Frenot, “Flexural vs. tensile strength in brittle materials,” *Comptes Rendus - Mec.*, vol. 343, no. 4, pp. 275–281, 2015, doi: 10.1016/j.crme.2015.02.003.
- [28] E. Randjbaran, D. L. A. Haji Abdul Majid, M. T. Bin Hameed Sultan, N. Mazlan, and R. Zahari, “Literature review on the relation between tensile strength and flexural strength in isotropic material,” *Japan J. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2020, doi: 10.33425/2690-8077.1001.