

Analisis Uji *Impact* dan Uji *Bending* Balok Laminasi Batang Kelapa (Cocos Nucifera) dan Bambu Duri (Bambusa Blumeana) Sebagai Material Konstruksi Lunas Kapal Kayu

Firza Ikramullah, Ferri Safriwardy*, Suryadi, Reza Putra, Faisal

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Bukit Indah, Lhokseumawe, 24352, Indonesia

*Corresponding Author: ferri@unimal.ac.id

Abstract – The use of the main ship construction material is built from wood material which results in operational costs in its manufacture being expensive and not friendly to the environment. The purpose of this study is to determine the comparison of shock load strength and bending strength of coconut stem laminated beams and bamboo thorns. The method used is experimental testing with impact testing and bending testing. This research has 3 models of layer variations, namely 3, 5, and 7 with the form of a brick layer arrangement (carvel). Laminated beam testing refers to ASTM D6110-10 for impact tests and ASTM D143 for bending tests. The laminated beams to be tested have a moisture content below 18% in accordance with BKI provisions. Laminated beams with 3-layer variation impact testing have an absorbed energy of 23.408 J and an impact price of 0.144 J / mm². The 5-layer variation laminate has an absorbed energy value of 35.511 J and an impact price of 0.219 J / mm². The 7-layer variation has an absorbed energy of 40.166 J and an impact price of 0.248 J / mm². The results of bending tests on laminated beams with a variation of 3 layers have a bending strength of 14.37 MPa. The 5-layer variation laminate has a strength value of 28.56 MPa and the 7-layer variation has a strength value of 38.32 MPa. The results of the impact and bending tests for coconut and bamboo thorn laminated beams belong to Strength Class IV-V according to the Indonesian Classification Board, causing the laminated beams not to be recommended as an alternative to solid wood for ship keels.

Abstrak – Penggunaan material utama konstruksi kapal dibangun dari material kayu yang mengakibatkan biaya operasional dalam pembuatannya menjadi mahal dan tidak ramah untuk lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan kekuatan beban kejut dan kekuatan *bending* dari balok laminasi batang kelapa dan bambu duri. Metode yang dilakukan adalah pengujian eksperimental dengan pengujian *impact* dan pengujian *bending*. Penelitian ini memiliki 3 model variasi lapisan, yaitu 3, 5, dan 7 dengan bentuk susunan lapisan batu bata (carvel). Pengujian balok laminasi mengacu pada ASTM D6110-10 untuk uji *impact* dan ASTM D143 untuk uji *bending*. Balok laminasi yang akan di uji memiliki kadar air di bawah 18% sesuai dengan ketentuan BKI. Balok laminasi dengan pengujian *impact* variasi 3 lapisan mempunyai energi yang diserap sebesar 23,408 J dan harga *impact* sebesar 0,144 J/mm². Laminasi variasi 5 lapisan memiliki nilai energi yang diserap sebesar 35,511 J dan harga *impact* sebesar 0,219 J/mm². Variasi 7 lapisan memiliki energi yang diserap sebesar 40,166 J dan harga *impact* sebesar 0,248 J/mm². Hasil pengujian *bending* pada balok laminasi dengan variasi 3 lapisan mempunyai kekuatan *bending* pada sebesar 14,37 MPa. Laminasi variasi 5 lapisan memiliki nilai kekuatan sebesar 28,56 MPa dan variasi 7 lapisan memiliki nilai kekuatan yang sebesar 38,32 MPa. Hasil pengujian *impact* dan *bending* untuk balok laminasi batang kelapa dan bambu duri tergolong dalam Kelas Kuat IV-V menurut Badan Klasifikasi Indonesia, sehingga menyebabkan balok laminasi tersebut tidak direkomendasikan sebagai alternatif pengganti kayu solid untuk lunas kapal.

Keywords: batang kelapa, bambu duri, laminasi, uji *impact* dan uji *bending*.

1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang tersusun dari beribu pulau-pulau, ini disebabkan dari luas wilayah Indonesia yang mencapai $\pm 1,905$ juta km². hal ini membuat Indonesia kaya akan potensi sumber daya laut yang berlimpah yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu mata pencaharian dan sumber penghasilan utama masyarakat Indonesia.

Saat ini penggunaan material utama konstruksi kapal dibangun dari material baja dan kayu yang mengakibatkan biaya operasional dalam pembuatannya menjadi mahal dan tidak ramah untuk lingkungan. Kebutuhan kayu sangat besar dan sangat berdampak pada ketersediaan kayu yang semakin berkurang setiap tahunnya akibat eksploitasi hutan yang dilakukan secara besar-besaran. Seiring berjalannya waktu ketersediaan kayu untuk pembuatan kapal mulai sulit untuk didapatkan, maka dibutuhkan inovasi-inovasi terbaru di dalam dunia pembuatan kapal supaya sektor perairan dalam negeri dapat lebih berkembang pesat lagi. Salah satu kebutuhan material kayu yang sulit didapatkan adalah untuk lunas kapal, yg mana lunas kapal membutuhkan kayu yang kuat dan solid untuk konstruksinya, dan semakin besar kapal yang di buat maka ukuran kayu yang dibutuhkan untuk lunas juga semakin besar.

Lunas kapal kayu merupakan tulang punggung memanjang pada bagian bawah kapal, di mana bagian gading-gading dan kulit di tumpu oleh lunas. Lunas ini memiliki kelebihan untuk memperkuat gading-gading kiri dan kanan yang pada akhirnya di tumpu oleh lunas. Ukuran lunas ditentukan oleh ukuran besar kapal dan konstruksinya (Hutauruk dkk., 2017). Lunas kapal kayu biasanya dibuat dari satu kayu utuh tanpa sambungan agar kekuatan dan kekakuan balok kayu lebih kokoh, tetapi untuk mendapatkan satu balok kayu yang utuh dan berdimensi besar semakin sulit diperoleh. Kebiasaannya lunas kapal ini dibuat dari bermacam jenis kayu seperti kayu laban, kayu bungur, kayu bedaru, dan lain-lain, tetapi sekarang ini semakin sulit untuk mendapatkan jenis kayu ini dalam ukuran balok kayu besar, akibat hal ini menghambat pengrajin kapal kayu dalam pembuatan kapal kayu.

Salah satu terobosan yang ditempuh untuk menemukan material baru dan murah yaitu dengan melakukan metode yang disebut laminasi. Metode

laminasi sangat memungkinkan untuk menggantikan material kayu, hal ini disebabkan metode laminasi memiliki kekuatan yang lebih baik dan mudah di dapat dengan harga yang relatif lebih murah dibanding material kayu.

Laminasi adalah suatu proses menyatukan dua atau lebih material yang berbeda atau identik menjadi satu struktur yang kokoh, dengan menggunakan perekat. Hasil dari proses laminasi ini yaitu suatu lapisan/susunan yang terdiri dari bahan-bahan yang telah digabungkan, dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan, daya tahan, penampilan, atau karakteristik dari material tersebut.

Proses laminasi melibatkan beberapa material yang memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda. Beberapa material yang sering digunakan dalam proses laminasi ini yaitu berupa kertas, plastik, logam, kayu, dan serat-serat. Laminasi sendiri dapat dikerjakan dalam berbagai bentuk, mulai dari lembaran tipis, sampai dengan bentuk yang lebih kompleks, seperti panel. Tetapi metode laminasi ini masih jarang digunakan pada kapal, yang menyebabkan perlunya pengujian yang lebih terhadap material tersebut. Dalam penelitian ini, ada dua material yang diteliti atau diuji, yaitu batang kelapa dan bambu duri.

Pohon kelapa (*cocos nucifera*) adalah tanaman perkebunan yang banyak tersebar di wilayah tropis. Pohon kelapa yang telah ditebang akan menjadi limbah yang merugikan bagi perkebunan tersebut karena akan menjadi sarang bagi perkembangbiakan kumbang badak (*oryctes rhinoceros*) yang termasuk hama utama perkebunan kelapa di sekitarnya. Namun karena ketersediaan kayu yang semakin terbatas, batang kelapa mulai banyak dimanfaatkan sebagai pengganti kayu sehingga pembuangan limbah dapat dikurangi (Handayani, 2016).

Bambu duri (*bambusa blumeana*) adalah tumbuhan yang biasa hidup di daerah tropis. Bambu duri memiliki diameter batang berkisar $\pm 8-15$ cm dengan karakteristik padat, tebal, ruas pendek dan berlubang kecil, serta terdapat duri-duri kecil pada bagian rantingnya. Umumnya, bambu jenis ini sering dimanfaatkan masyarakat untuk peralatan pertanian, bahan konstruksi jembatan lokal, dan lain-lain.

Dengan demikian, untuk mengetahui bagaimana kekuatan yang dimiliki dari batang kelapa dan bambu duri maka dilakukan dengan menggunakan dua metode pengujian, yaitu

metode pengujian *impact* dan metode pengujian *bending*, hal ini bertujuan dilakukan agar diketahui bagaimana kemampuan material laminasi tersebut setelah mengalami pengujian.

Berangkat dari hal tersebut, maka dibutuhkan solusi agar ada material yang dapat menggantikan material yang sulit didapat tersebut. Penelitian ini sendiri adalah untuk mengetahui perbandingan dan ukuran kekuatan yang dihasilkan dari material laminasi setelah dilakukan pengujian *impact* dan pengujian *bending*, karena untuk menjadi material lunas kapal yang kuat membutuhkan ketahanan material yang sangat baik dan kuat, sehingga dapat menggantikan kayu solid yang mulai susah untuk didapatkan.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Laminasi

Laminasi adalah proses atau teknik pemberian lapisan pada suatu material yang berfungsi untuk menambah kekuatan dari struktur material. Menurut (Haviana dkk., 2020), Kayu laminasi (*glued laminated*) adalah susunan beberapa lapis kayu yang direkatkan satu sama lain secara sempurna sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh. Kelebihan laminasi adalah kemampuan meningkatkan dimensi dari persediaan material yang lebih kecil atau tipis dapat disusun menjadi satu kesatuan laminasi dengan dimensi yang lebih besar. Papan laminasi merupakan salah satu produk papan buatan yang saat ini menjadi alternatif untuk mengatasi kebutuhan kayu yang semakin meningkat (Wulandari dkk., 2023).

Kayu laminasi Glulam (*glued laminated timber*) merupakan salah satu produk kayu rekayasa tertua, ditemukan pertama kali oleh *Otto Hetzer* di Jerman pada awal abad ke-20. Setelah beberapa tahun, ia lalu memodifikasi kreasinya dan membuat elemen melengkung dari produk ini. Selama 50 tahun pertama dari penemuan *Hetzer*, Glulam tidak terlalu populer. Tetapi karyanya ini mulai dilirik setelah perkembangan pesat yang dialami industri manufaktur yang membuat Glulam saat ini menjadi salah satu material bangunan yang paling banyak diminati dan dicari di seluruh dunia (Abdullah dkk., 2020). Proses penyatuan lapis kayu menggunakan perekat (lem) pada kedua sisi, dan kemudian diberi

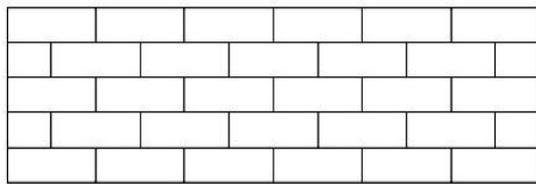
tekanan. Bahan kayu laminasi adalah kayu–kayu lapis yang telah dibentuk dan disiapkan sedemikian rupa sehingga dapat disatukan menjadi bentuk kayu yang diinginkan (Handayani, 2016).

Kapal kayu laminasi adalah suatu bentuk kapal yang bagian-bagian konstruksinya terdiri dari beberapa susunan papan atau bilah kayu yang disatukan dengan bahan perekat khusus. Tujuan dasar dari pembuatan kayu laminasi adalah untuk menciptakan struktur yang mudah dibentuk dari berbagai lapisan kayu dengan ketebalan yang lebih tipis sehingga dapat memberikan daya tahan yang lebih baik setelah disatukan.

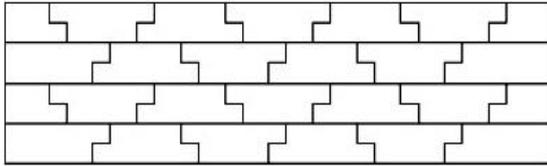
Maka, bisa dikatakan bahwa laminasi sendiri merupakan proses rekayasa dua material yang gabung dan direkatkan menjadi satu bagian yang baru sehingga menghasilkan material yang lebih baik, yang mana penggunaan jenis perekat (*adhesive*) juga dapat mempengaruhi hasil dan karakteristik dari material.

1. Arah penyusunan laminasi

Menurut Jihananda (Tjokrowijanto dkk., 2015), Ada banyak faktor yang mempengaruhi kualitas kayu laminasi, antara lain adalah bahan baku, persyaratan bahan baku yang memiliki kerapatan serat dan berat jenis yang berdekatan. Selain itu perekat yang digunakan harus sesuai dengan tujuan penggunaan kayu laminasi. Hal lain yang harus diperhatikan adalah bentuk sambungan, proses perekatan dan pengempaan. Arah penyusunan lapisan laminasi terbagi atas beberapa jenis, yaitu variasi tumpukan bata yang di mana sambungan tiap bilahnya berbentuk *butt join* atau sering disebut sambungan *carvel* yang mana setiap lapisan laminasinya di bentuk saling silang. Kemudian ada jenis arah penyusunan lapisan laminasi dengan variasi sambungan berprofil atau *klinker* yang mana setiap sambungannya saling tumpang tindih pada sambungan profil yang sudah di bentuk. Arah penyusunan lapisan dapat dilihat pada Gambar 1.



a) Arah penyusunan lapisan sambungan rata



b) Arah penyusunan lapisan sambungan berprofil

Gambar 1. Arah penyusunan lapisan

Balok laminasi terbuat dari dua atau lebih kayu gergajian yang direkat dengan arah serat sejajar satu sama lain berbentuk lurus atau lengkung tergantung peruntukannya (Annaafi dkk., 2019). Dalam metode balok laminasi terdapat bermacam-macam jenis arah penyusunan lapisan, arah laminasi ini bisa diatur sesuai dengan keinginan pembuatnya.

2.2 Kapal Kayu

Kapal kayu adalah suatu jenis transportasi air yang material utamanya terbuat dari kayu, yang dilengkapi berupa mesin atau layar sebagai penggerakannya. Kapal kayu sering digunakan oleh sebagian masyarakat yang berprofesi sebagai nelayan untuk menangkap ikan.

1. Lunas kapal kayu

Lunas kapal adalah tulang punggung bagian bawah kapal yang memanjang di mana memiliki fungsi sebagai pelindung gesekan dari bagian dasar laut dan juga sebagai penyeimbang kapal. Lunas harus memiliki kekuatan yang kuat dan kokoh dari semua pembebanan, karena selain menerima tekanan dari kulit, lunas kapal juga menerima tekanan dari beban sisi gading dan tekanan dari beban alas. Menurut (Hutauruk dkk., 2017), konstruksi lunas terbuat dari satu gelondongan kayu yang tidak bersambung. Dengan tidak adanya sambungan ini, maka pada lunas terdistribusi beban merata dan tidak mengalami tegangan kritis karena tidak

ada sambungan pada lunas. Kayu yang dipergunakan untuk bagian konstruksi adalah kayu yang baik, sehat, tidak ada celah dan tidak ada cacat-cacat yang dapat membahayakan dan harus mempunyai sifat mudah dikerjakan. Kayu yang kurang tahan terhadap perubahan kering-basah yang permanen hanya boleh digunakan untuk bagian-bagian di bawah garis air, seperti papan alas (Biro Klasifikasi Indonesia, 2023).

2.3 Kayu

Menurut (Nasirudin dan N. Yulianto, 2018), Karakteristik mekanis atau kekuatan kayu adalah kemampuan kayu untuk menahan muatan dari luar. Muatan dari luar adalah gaya-gaya di luar benda yang mempunyai kecenderungan untuk mengubah bentuk dan besarnya benda. Kekuatan kayu memegang peranan penting dalam penggunaan kayu untuk konstruksi. Karakteristik mekanis kayu dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Kekuatan tarik

Yaitu kekuatan kayu untuk menahan gaya-gaya yang berusaha menarik kayu itu. Kekuatan tarik terbesar pada kayu adalah sejajar arah serat, sedangkan kekuatan tarik tegak lurus arah serat lebih kecil dibandingkan kekuatan tarik sejajar arah serat.

2. Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan ialah kekuatan kayu untuk menahan muatan atau gaya tekan yang bekerja sejajar atau tegak lurus serat kayu ketika kayu itu digunakan dalam penggunaan tertentu. Gaya tekan sejajar serat kayu akan menimbulkan tekukan pada kayu, sedangkan gaya tekan yang bekerja tegak lurus arah serat akan menimbulkan retak pada kayu.

Menurut Mahdie (Nasirudin dan N. Yulianto, 2018), Sifat fisik kayu merupakan salah satu sifat dasar kayu yang berguna sebagai pertimbangan dalam penggunaan suatu jenis kayu, karakteristik fisik kayu dapat dilihat dibawah ini, yaitu :

1. Berat jenis

Merupakan rasio antara kerapatan kayu dengan kerapatan air. Faktor yang mempengaruhi berat jenis kayu yaitu umur

pohon, tempat tumbuh, posisi kayu dalam batang dan kecepatan tumbuh. Berat kayu dapat diukur dengan menggunakan tiga cara yaitu dengan pengukuran saat berat kering, basah dan kadar air.

2. Keawetan kayu

Menurut (Prijasambada, 2020), Keawetan alami adalah ketahanan kayu terhadap serangan dari unsur-unsur yang dapat merusak kayu dari luar, seperti: jamur, rayap, bubuk, cacing dan yang lainnya yang diukur dengan jangka waktu tahunan.

3. Kadar air

Kadar air adalah nilai yang menunjukkan banyaknya air yang ada dalam material. Kadar air dihitung sebagai persentase perbandingan berat air dalam material dengan berat kering tanur. Berat material kering tanur adalah berat material total tanpa air. Berat jenis material dihitung sebagai nilai perbandingan antara berat material kering dibagi berat air dengan volume sama dengan volume material tersebut (Khotimah dkk., 2014). Dalam aturan (Biro Klasifikasi Indonesia, 2023) tentang kapal kayu, persyaratan untuk nilai maksimal kelembapan kayu yang digunakan pada lunas kapal kayu adalah sebesar 18% dan material kayu harus langsung dikeringkan sesudah dilakukan pemotongan, serta harus tetap dijaga supaya tetap kering selama penyimpanan.

2.4 Kelapa (*cocos nucifera*)

Kelapa merupakan tanaman tahunan, serbaguna yang memiliki nilai ekonomi tinggi, seluruh bagian tanaman kelapa bisa dimanfaatkan untuk kepentingan manusia (Samah dan Ardiansyah, 2022). Kelapa dikenal dengan beragam kegunaannya, mulai dari makanan hingga kosmetik. Bagian dalam daging yang matang merupakan bagian dari sumber makanan umum bagi banyak orang yang tinggal di daerah tropis dan subtropis.

Menurut (Indrosaptono dkk., 2014), Kelapa memiliki berat jenis rata-rata sekitar 0,56 - 0,74 dan termasuk ke dalam kelas kuat II - III (berat jenis 0.6 – 0.9) dan masuk ke dalam kelas awet III.

Menurut (Mboroh dkk., 2021), Kelapa juga memiliki kekuatan lentur dengan nilai 24,93 MPa dan keteguhan patah kayu kelapa berkisar antara 46,58 – 74,47 MPa. Kadar air pada kelapa berbanding terbalik dengan berat jenisnya, semakin besar berat jenis kelapa maka semakin berkurang kadar airnya. Pada penelitian ini kelapa yang digunakan adalah yang berumur sekitar 60 tahun, dan bagian yang dipakai adalah pangkal dari kelapa.

2.5 Bambu

Di Indonesia potensi bambu sangat menjanjikan untuk dimanfaatkan dengan baik, bambu merupakan tumbuhan yang mudah dikembangkan dan mempunyai daur hidup yang relatif cepat, dengan waktu panen hanya 3 – 4 tahun. Bambu sendiri juga memiliki kuat tarik dan kuat lentur yang tinggi, sehingga bisa menjadi alternatif pengganti kayu.

1. Bambu duri

Bambu duri (*bambusa blumeana*) adalah salah satu jenis bambu yang memiliki duri pada buku cabang dan rantingnya. Bambu jenis ini sangat mudah ditemukan di wilayah-wilayah Indonesia. Umumnya, bambu duri ditemukan tumbuh di daerah tropis yaitu di sepanjang tepi sungai. Buluhnya berwarna hijau dan sering digunakan sebagai bahan konstruksi, perkakas dapur, dan kerajinan. Bambu duri memiliki duri pada buluh dan rantingnya.

2.6 Perekat

Menurut prayino (Haviana dkk., 2020), perekatan didefinisikan sebagai suatu keadaan atau kondisi ikatan di mana dua permukaan menjadi satu oleh karena adanya gaya-gaya pengikat antar permukaan. Perekat (adhesive) adalah material pengikat yang berfungsi untuk menyatukan satu lapisan dengan lapisan lain atau lapisan (kulit) dengan material pengisi (inti).

Perekat *crossbond X4* adalah jenis lem/perekat kayu *water based resin aliphatic inner cross linker* untuk penggunaan kebutuhan perekatan seperti pada laminasi kayu, bambu, *medium density fiberboard* (MDF), *high pressure laminated* (HPL), dan lain-lainnya. Lem kayu jenis ini adalah lem dengan satu komponen bahan perekat (single component wood working adhesive) sehingga penggunaannya lebih hemat dan praktis.

2.7 Pengempaan

Tipe pengempaan di dalam proses perekatan ada dua, yaitu:

a. Pengempaan dingin

Pengempaan dingin adalah proses pengempaan dengan suhu kamar dan memiliki fungsi sebagai proses akhir pematangan perekatan.

b. Pengempaan panas (hot pressing)

Pengempaan panas adalah proses pengempaan yang dilakukan dengan suhu dan tekanan tertentu. Hal ini dilakukan untuk menghemat waktu pengempaan, proses pengempaan panas membutuhkan waktu sekitar 4-20 jam untuk mendapatkan hasil yang baik.

2.8 Uji impact

Pengujian *impact* merupakan pengujian untuk mengetahui nilai beban kejut atau *impact* dari suatu material, suhu temperatur transisi dan jenis retakan atau patahan. Beban *impact* (beban kejut) adalah beban yang diberikan secara cepat dan tiba-tiba. Uji *impact* juga merupakan upaya untuk mensimulasikan kondisi suatu material yang biasa terdapat pada transportasi atau konstruksi, di mana pembebanan tidak selalu terjadi secara perlahan tetapi datang secara tiba-tiba.

Menurut Fajar Ismail (Harijono & Purwanto, 2017), usaha yang dilakukan pendulum sewaktu memukul untuk mematahkan benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu :

$$\text{Energi yang diserap} = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dari persamaan yang sudah didapatkan di atas maka besarnya harga *impact* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$HI = \frac{\text{Energi yang diserap (E}_{\text{serap}})}{A}$$

Untuk mendapatkan nilai dari luas penampang permukaan spesimen uji, maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$A = a \times b$$

2.9 Uji bending

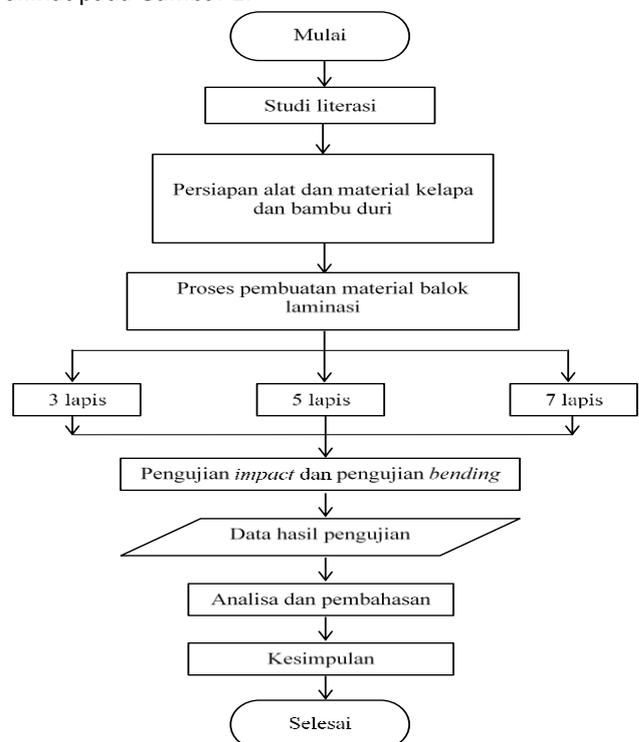
Uji *bending* adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui atau mengukur kekuatan dari suatu material dalam menahan beban lentur akibat pembebanan dan kekenyalan sebelum terjadi deformasi (perubahan bentuk) permanen atau retak. Besar kekuatan *bending* tergantung pada jenis material dan pembebanan akibat pengujian *bending*, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Kekuatan *bending* pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan *bending* pada sisi bagian bawah (Beliu dkk., 2016).

Kekuatan *bending* dapat dihitung secara teoritis dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

3 Metode Penelitian

Adapun alur penelitian dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Material dasar spesimen uji

Material dasar untuk pembuatan spesimen laminasi adalah batang kelapa dan bambu duri yang direkat dengan menggunakan lem *crossbond X4*. Perbedaan spesimen uji terdapat pada variasi yang dipakai yaitu variasi 3 lapisan, 5 lapisan, dan 7 lapisan. Untuk spesimen uji keseluruhan berjumlah 42 spesimen yang terbagi atas 2 pengujian yaitu pengujian *impact* berjumlah 21 spesimen, dan pengujian *bending* berjumlah 21 spesimen. Pembuatan balok laminasi dimulai dari pemotongan batang kelapa dan bambu duri berbentuk bilah-bilah kecil yang kemudian disambungkan dengan menggunakan perekat *crossbond X4* dan dilanjutkan dengan proses pengempaan sampai kering.

Proses awal pembuatan spesimen dimulai dengan melakukan pengeringan batang kelapa dan bambu duri secara alami dengan menggunakan sinar matahari dan kemudian setelah kering dihitung kadar air di dalamnya dengan menggunakan alat *moisture meter*. Kadar air yang terkandung dalam batang kelapa yang telah dikeringkan sebesar 9,2%, dan kadar air dalam bambu duri yang telah dikeringkan sebesar 12,8%. Hasil dari alat *moisture meter* untuk kadar air batang kelapa dan bambu duri dapat dilihat pada Gambar 3.



Kadar air batang

Kadar air bambu

Gambar 3. Kadar air batang kelapa dan bambu duri

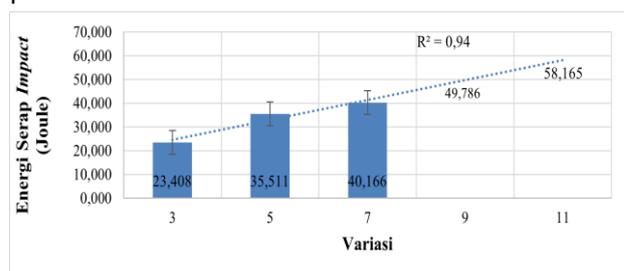
Kadar air ini sendiri digunakan sebagai acuan dari lamanya pengeringan, dan juga kadar air sangat berpengaruh akan waktu perekatan lapisan balok laminasi, hal ini terjadi karena kadar air yang tinggi akan menghambat ikatan dari proses perekatan antar lapisan. Ikatan perekat yang baik

terjadi pada tingkat kadar air yang rendah dan perbedaan kadar air antara lapisan tidak boleh melebihi dari standar yang telah ditentukan, hal ini dikarenakan untuk menghindari terjadinya penyusutan yang menyebabkan kerusakan pada sambungan balok laminasi.

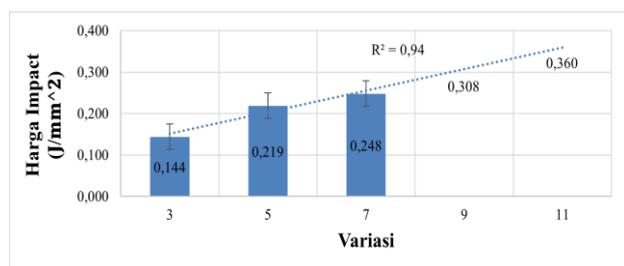
Proses pengeleman dan penyusunan serat dilakukan dengan mengikuti arah panjang kayu. Bentuk susunan lapisan pada balok laminasi penelitian ini adalah sambungan bentuk *carvel* yang mana tujuannya adalah untuk melihat efek patahan seperti apa yang akan terjadi ketika pengujian dan apakah patahan yang terjadi karena efek perekatan atau patah disebabkan pada material. Arah laminasi akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan karakteristik yang dihasilkan dari suatu benda.

4.2 Pengujian *impact*

Pada pengujian *impact* ini spesimen variasi 3 lapisan memiliki ketebalan 4,2 mm per setiap lapisan, untuk spesimen variasi 5 lapisan masing-masing ketebalannya 2,5 mm per setiap lapisan, dan spesimen dengan variasi 7 lapisan ketebalan 1,8 mm per setiap lapisan. Pengaruh perbedaan nilai pengujian *impact* dapat disebabkan oleh jumlah lapisan setiap spesimen balok laminasi. Berdasarkan hasil pengujian *impact*, diperoleh grafik data pengujian *impact* yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Grafik energi serap *impact*



Gambar 5. Grafik harga *impact*

Data yang didapatkan dari hasil perhitungan diatas pada pengujian *impact* dengan metode *charpy* dengan ukuran spesimen 12,70 mm × 12,70 mm × 124,5 mm dan proses pembuatan takik pada spesimen yang berfungsi untuk memudahkan proses patahan yang terjadi, bentuk takik yang dibuat adalah dengan kedalaman 2 mm. sudut awal hantaman (α) yang digunakan adalah 160°, dan sudut akhir hantaman (β) pada spesimen didapatkan nilai yang berbeda-beda.

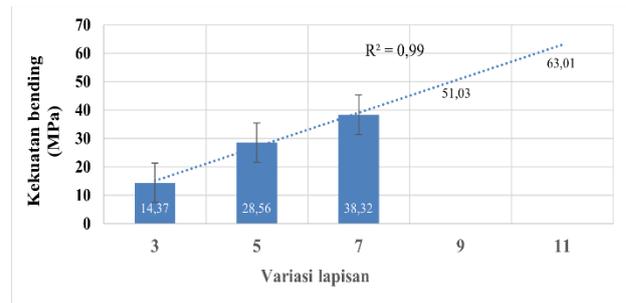
Model pengujian memiliki 3 variasi spesimen yang berbeda-beda, variasi spesimen menyebabkan perbedaan nilai pengujian *impact* antar masing-masing variasi spesimen. Dalam pengujian *impact*, hasil yang dipaparkan hanya berupa nilai rata-rata keseluruhan dari masing-masing variasi spesimen. Maka, nilai energi yang diserap variasi spesimen 3 lapisan adalah 23,408 J, dan nilai harga *impact* sebesar 0,144 J/mm². Spesimen variasi 5 lapisan memiliki nilai energi yang diserap sebesar 35,511 J, dan nilai harga *impact* sebesar 0,219 J/mm². Model variasi spesimen 7 lapisan didapatkan nilai energi yang diserap sebesar 40,166 J, dan nilai harga *impact* sebesar 0,248 J/mm².

Menurut grafik energi serap *impact* dan harga *impact*, dilihat dari *trendline* grafik bahwa kedua nilai dari pengujian *impact* ini dapat lebih meningkat lagi jika dilakukan penambahan variasi lapisan pada spesimen. Hal ini disebabkan karena semakin banyak variasi lapisan dari spesimen maka akan semakin tinggi nilai kekuatan yang dimiliki spesimen.

4.3 Pengujian *bending*

Spesimen variasi 3 lapisan memiliki ketebalan 8,3 mm per setiap lapisan, untuk spesimen variasi 5 lapisan ketebalannya 5 mm per setiap lapisan, dan spesimen dengan variasi 7 lapisan ketebalan 3,5 mm per setiap lapisan. Berdasarkan pengujian yang dilakukan pengaruh terbesar nilai pengujian *bending* dapat disebabkan oleh jumlah lapisan setiap spesimen balok laminasi yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil pengujian *bending*, maka

diperoleh grafik pengujian *bending* yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pengujian *bending*

Berdasarkan hasil penghitungan data pengujian *bending* didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.7. Spesimen *bending* mengikuti ukuran standar ASTM D143 dengan metode *second*, yang berukuran 25mm × 25mm × 410 mm, dipilihnya metode *second* ini adalah untuk mempermudah saat pembuatan spesimen dan mempermudah saat pengujian spesimen. Menurut grafik diatas, dapat dijelaskan menurut peraturan BKI bahwa variasi 3, 5, dan 7 lapisan termasuk dalam golongan kelas kuat IV – V dan ini tidak memenuhi standar untuk bisa menjadi alternatif pengganti lunas kapal, standar minimal untuk kapal kayu adalah kelas kuat III. Dilihat dari garis *trendline* grafik untuk bisa memenuhi standar minimal kelas kuat III, dibutuhkan setidaknya 9 atau 11 variasi lapisan hingga mencapai standar minimal III dengan prediksi nilai kekuatan bending variasi 9 dan 10 lapisan sebesar 51,03 MPa dan 63,01 MPa.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan pada balok laminasi batang kelapa dan bambu duri dengan variasi lapisan 3,5, dan 7, maka dapat dibandingkan hasil pengujian ini dengan berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (2023). Menurut peraturan BKI (Setiawan dkk., 2017), material hanya ditentukan berdasarkan hasil pengujian *bending*, sehingga hasil pengujian *impact* hanya memberikan info tentang kekuatan material terhadap energi *impact*.

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2023), Secara umum kayu yang sering dipakai untuk komponen lunas kapal kayu yaitu seperti kayu bedaru, kayu laban dan kayu ulin yang mana

tergolong dalam kelas kuat I – II, sedangkan hasil pengujian dari balok laminasi kelapa dan bambu duri pada ketiga variasi lapisan yang telah dilakukan oleh penulis memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan standar Kelas Kuat Kayu pada Biro Klasifikasi Indonesia. Perbedaan hasil ini terjadi karena nilai kuat lentur mutlak yang tidak mencapai minimal dari ketentuan yang diperbolehkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa balok laminasi batang kelapa dan bambu duri tergolong dalam kelas kuat yang berbeda. Balok laminasi variasi 3 lapisan tergolong dalam kelas kuat V dengan hasil pengujian kekuatan bending sebesar 14,37 MPa dan hasil energi yang diserap sebesar 23,408 J dan harga *impact* sebesar 0,144 J/mm². Balok laminasi dengan variasi 5 lapisan tergolong dalam kelas kuat V dengan hasil pengujian kekuatan bending sebesar 28,56 MPa dan hasil energi yang diserap sebesar 35,511 J dan harga *impact* sebesar 0,219 J/mm². Balok laminasi variasi 7 lapisan tergolong dalam Kelas Kuat IV dengan hasil pengujian kekuatan bending sebesar 38,32 MPa dan hasil energi yang diserap sebesar 40,166 J dan harga *impact* sebesar 0,248 J/mm².

Kadar air yang didapatkan dari batang kelapa adalah sekitar 9,2% dan bambu duri sebesar 12,8%, yang mana kadar air maksimal sesuai standar sebesar 14% - 18% untuk komponen lunas kapal kayu. Kadar air ini sendiri berfungsi sebagai acuan lamanya pengeringan material, yang mana sesuai dengan standar yang merujuk kepada BKI itu sendiri. Tinggi rendah kadar air dalam kayu akan mempengaruhi tingkat perekatan dan waktu perekatan, dalam prosesnya terlalu banyak kadar air yang terdapat dalam kayu akan menghambat ikatan antara perekat dengan lapisan material. Kadar air yang tinggi akan membuat efek perekatan menurun dan menyebabkan ikatan menjadi melemah.

Berdasarkan hasil pengujian *impact* dan *bending* untuk balok laminasi batang kelapa dan bambu duri tidak direkomendasikan untuk dipakai dalam komponen kapal kayu, dan tidak direkomendasikan untuk menggantikan komponen lunas kapal kayu. Hal ini disebabkan karena nilai

yang didapatkan dari kedua pengujian tersebut tidak memenuhi standar yang merujuk kepada peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Vol. VI tahun 2023 yang menyebutkan bahwa untuk bagian konstruksi yang penting harus dipergunakan kayu dengan mutu minimum Kelas Kuat III.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data yang di ambil dari spesimen balok laminasi batang kelapa dan bambu duri pada pengujian *impact* dan pengujian *bending* diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian *impact* dan pengujian *bending* pada balok laminasi batang kelapa dan bambu duri dengan model variasi 3, 5, dan 7 lapisan, dapat disimpulkan bahwa variasi lapisan pada balok laminasi mempengaruhi akan nilai kekuatan dari kedua pengujian tersebut, ini dikarenakan karena semakin tebal atau banyak lapisan laminasi akan semakin tinggi kekuatan dari balok laminasi tersebut dan semakin sedikit variasi lapisan yang terdapat pada balok laminasi akan semakin rendah kekuatan yang didapatkan. Nilai rata-rata pengujian *impact* yang didapatkan dari energi serap pada variasi 3 lapisan sebesar 23,408 J dan harga *impact* sebesar 0,144 J/mm², pada variasi 5 lapisan didapatkan nilai energi serap sebesar 35,511 J dan harga *impact* sebesar 0,219 J/mm², dan variasi 7 lapisan didapatkan nilai energi serap dengan nilai 40,166 J serta harga *impact* sebesar 0,248 J/mm². Hasil pengujian *bending* rata-rata nilai kekuatan yang didapatkan pada variasi 3 lapisan adalah 14,37 MPa, pada variasi 5 lapisan didapatkan nilai kekuatan *bending* sebesar 28,56 MPa, dan pada variasi 7 lapisan nilai kekuatan *bending* sebesar 38,32 MPa.
2. Hasil pengujian balok laminasi batang kelapa dan bambu duri menunjukkan nilai kekuatan yang tidak sebanding dengan kekuatan kayu solid seperti bedaru, laban, dan ulin yang mana biasa dipakai pada lunas kapal. Hal ini

disebabkan karena berdasarkan peraturan BKI, standar kayu yang dipakai pada komponen kapal adalah kayu dengan Kelas Kuat I dan minimal Kelas Kuat III, sedangkan hasil yang didapatkan pada pengujian balok laminasi batang kelapa dan bambu duri adalah berada dibawah standar yang ditetapkan BKI, yaitu pada Kelas Kuat IV dan V.

3. Berdasarkan hasil pengujian dan penghitungan dari penelitian ini, maka balok laminasi batang kelapa dan bambu duri ini tidak direkomendasikan untuk menggantikan penggunaan kayu solid pada komponen lunas kapal kayu.

Daftar Pustaka

- [1] Abdullah, S., Mendila, H., Febriansyah, M. C., & Ibrahim, A. (2020). Penerapan Kayu Laminasi "Glulam" sebagai Material Utama pada Struktur Bangunan *children Centre*. *TIMPALAJA:Architecture student Journals*, 2(1), 58–67. <https://doi.org/10.24252/timpalaja.v2i1a7>
- [2] Adinugroho, M. H., Imron, M., & Fis, P. (2018). Kesesuaian Ukuran Konstruksi Utama Kapal *Purse Seine* Di PPN Pekalongan dengan Aturan Biro Klasifikasi Indonesia. *Jurnal Perikanan Tangkap*, 2(1), 12–29.
- [3] Andriani, C., & Anugerah Putra, H. (2018). Sifat Fisik Dan Mekanik Bambu Sebagai Bahan Konstruksi. *TEKNOSIAR - Jurnal Teknik Universitas Flores*, 7(2), 22–31.
- [4] Annaafi, A. A., Yasin, I., & Shulhan, M. A. (2019). Analisis Kuat Lentur Balok Laminasi Lengkung dengan Perekat *Epoxy*. *Agregat*, 4(1), 318–323. <https://doi.org/10.30651/ag.v4i1.819>
- [5] Arsad, E. (2015). Teknologi Pengolahan Dan Manfaat Bambu. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 7(1), 45. <https://doi.org/10.24111/jrihh.v7i1.856>
- [6] Azhar, A. (2019). Data Base Industri Kapal Rakyat Skala Usaha Kecil dan Menengah. *Jurnal Teknik Perkapalan Um Surabaya - Jurnal Midship*, 2(1), 1–6.
- [7] Beliu, H. N., Pelle, Y. M., & Jarson, J. U. (2016). Analisa kekuatan tarik dan bending pada komposit widuri - *polyester*. *Jurnal Teknik Mesin UNDANA - Lontar*, 03(02), 11–20.
- [8] Biro Klasifikasi Indonesia. (2023). Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi : Kapal Kayu: Vol. VI (BKI, Ed.; 2023 ed.). Biro Klasifikasi Indonesia. www.bki.co.id
- [9] Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Materials Science and Engineering:An Introduction. Dalam *Materials Science and Engineering - An Introduction* (10 ed.).
- [10] Fathiya, N., Qariza, M. H., Nazhifah, S. A., & Diah, H. (2022). Karakteristik Morfologi dan Pemanfaatan Bambu Duri (Bambusa blumea) di Wilayah Pesisir Desa Jambo Timu, Kecamatan Blang Mangat, Kota Lhokseumawe. *Jurnal Jeumpa*, 9(2), 767–776. <https://doi.org/10.33059/jj.v9i2.6314>
- [11] Firmansyah. (2021). *Material Test:Impact Test*. DETECH Material Test Laboratory. <https://www.detch.co.id/impact-test/>
- [12] Gibson, R. F. (1994). Principles of Composite Material Mechanics. Dalam *Department of Mechanical Engineering Wayne State University*. <https://doi.org/10.1201/9781420014242>
- [13] Hadjib, N., & Basri, E. (2015). *Karakteristik Fisis Dan Mekanis Glulam Jati, Mangium, Dan Trembesi*. 33(2), 105–114. <https://doi.org/10.20886/jphh.2015.33.2.105-114>
- [14] Handayani, S. (2016). Analisis Pengujian Struktur Balok Laminasi Kayu Sengon Dan Kayu Kelapa. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 18(1), 39–46. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v18i1.6693>
- [15] Hanif, L., & Rozalina. (2020). Perekat Polyvinyl Acetate (PVAc). *Jurnal Akar*, 2(1), 46–55. <https://doi.org/10.36985/jar.v9i1.193>
- [16] Harijono, & Purwanto, H. (2017). Analisis Keakuratan Hasil Uji Impact dengan Metode Izod dan Charpy. *Seminar Nasional Hasil Penelitian*, 130–135.
- [17] Haviana, H., Pathurahman, & Sugiarta, I. W. (2020). Analisis Kuat Lentur Balok Laminasi Kayu Kelapa Dan Kayu Rajumas. *Universitas Mataram Repository*, 1–15.
- [18] Hutaauruk, R. M., Suprayogi, I., & Fakhri. (2017). Performa Kapal Tradisional Bagansiapi-api. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 22(1), 61–68.
- [19] Huwae, J. C., & Santoso, H. (2016). Laminasi Fiberglass Sebagai Alternatif Untuk Melindungi Konstruksi Lambung Kapal Kayu. *Buletin Matric - Politeknik Kelautan dan Perikanan Bitung*, 13(2), 29–33.
- [20] Indrosaptono, D., Sukawi, & Indraswara, M. S. (2014). Kayu Kelapa (Glugu) sebagai Alternatif Bahan Konstruksi Bangunan. *Modul*, 14(1), 53–58. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/modul/article/view/6550>
- [21] Julie Erikania. (2015). *Mengintip Industri Kapal Karangsong*. National Geographic Indonesia. <https://nationalgeographic.grid.id/read/13302812/mengintip-industri-kapal-karangsong?pag=e=all>
- [22] Khotimah, K., Manik, P., & Jokosisworo, S. (2014). Analisa Teknis Bambu Laminasi Sebagai Material Konstruksi Pada Lunas Kapal Perikanan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 2(1), 1–23. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/na/article/view/5079>
- [23] Mboroh, F. F., Hunggurami, E., & Utomo, S. (2021). Identifikasi Kuat Acuan Kayu Lontar dan Kayu Kelapa. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 49–62.
- [24] Mirza Ghulam Rifqi, M. Shofi'ul Amin, Riza Rahimi Bachtiar, Dadang Dwi Pranowo, & Hakim Sobirin. (2022). Karakteristik Bambu Ori Banyuwangi Laminasi Susunan Lurus Berdasarkan Kuat Tekan, Kuat Tarik Dan Kuat Lentur. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 11(1), 6–14. <https://doi.org/10.22225/pd.11.1.4081.6-14>
- [25] Nasirudin, A., & N. Yulianto, A. (2018). Perancangan Kapal Kecil : Kapal Kayu. Dalam *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* (Vol. 7, Nomor 2).
- [26] Noviana, N., Arnandha, Y., & Firmansyah, D. (2022). Analisis Sifat Mekanik Lentur Papan Laminasi Kombinasi Bambu Petung dan Bambu Ater. *INERSIA*, 18(1), 54–61.
- [27] Prijasambada. (2020). *Konstruksi Kayu* (2020 ed.).
- [28] Samah, E., & Ardiansyah, A. (2022). Budidaya Kelapa Hibrida. *All Fields of Science Journal Liaison Academia and Society*, 2(4), 50–56. <https://doi.org/10.58939/afosj-las.v2i4.474>
- [29] Setiawan, H. B., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisis Teknis Komposit Serat Daun Gebang (Corypha Utan L.) Sebagai Alternatif Bahan Komponen Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk Dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2), 456. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>

- [30] Sinyo, Y., Sirajudin, N., & Hasan, S. (2017). Pemanfaatan Tumbuhan Bambu : Kajian Empiris Etnoekologi Pada Masyarakat Kota Tidore Kepulauan. *jurnal pendidikan MIPA, Vol 1 (2)*(2598–3822), 57–69. <http://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/Saintifik/article/view/537>
- [31] Sofyan, B. T. (2021). *Pengantar Material Teknik* (R. Saputra, Ed.; 2 ed.). UNHAN RI PRESS.
- [32] Tjokrowijanto, B. B., Purwono, E. H., & Ramdlani, S. (2015). Penerapan material kayu laminasi pada konstruksi Pusat Kerajinan Rakyat di Kota Batu. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur, 3*(1).
- [33] Tornando, B. P. R., Taufiqurrahman, M., & Lubis, G. S. (2023). Rancang Bangun Alat Uji Bending Pada Laboratorium Dasar Teknik Mesin. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN), 4*(2), 90–97.
- [34] Wahidi, S. I., Supomo, H., & Zuba. (2013). Analisis Teknis dan Ekonomis Produksi Kapal Ikan dengan Lunas, Gading, dan Balok Geladak Berbahan Bambu Laminasi Sebagai Material Alternatif Pengganti Kayu. *Jurnal Teknik ITS, 2*(1), 2–5.
- [35] Wulandari, F. T., Putu, N., Lismaya, E., & Suryawan, I. G. A. (2023). Analisis Sifat Fisika dan Mekanika Papan Laminasi Bambu Petung (*Dendrocalamus asper Roxb*) dan Papan Laminasi Kayu Bayur (*Pterospermum javanicum*). *Journal of Forest Science Avicenni a, 06*(01), 39–50. <https://doi.org/10.22219/a v icennia.v6i1.23738>
- [36] Safriwardy, F., Rizki, M. N., Masrullita, M., & Simbolon, M. I. (2023). Analysis of tensile strength of composite fiber reinforced with areca Nut Skin Fiber using BQTN 157 EX Resin. *International Journal of Trends in Mathematics Education Research, 6*(4), 338-344.
- [37] Rizki, M. N., Fikri, A., Faisal, F., & Nanda, R. A. (2023). Analisis Von-Mises Stress, Strain, Dan Total Deformasi Pada Pelat Implan Metatarsophalangeal (Mtp) Dengan Material Ti-6al-4v Menggunakan Finite Element Method. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal, 12*(2), 178-189.
- [38] Gultom, A., Safriwardy, F., Rizki, M. N., & Masrullita, M. (2024). Effect of Volume Fraction Variation of Hybrid Composite Reinforced Bamboo Fiber and Fiber-Glass Using Polyyster Resin on Tensile Strength and Impack. *Electronic Journal of Education, Social Economics and Technology, 5*(1), 1-9.