

Pengaruh Penambahan Lapisan Fiberglass Pada Kekuatan Bending Gading Kapal Kayu Tradisional

Andi Mursid Nugraha Arifuddin^{1*}, Muhammad Uswah Pawara¹, Taufik Hidayat¹, Suardi¹, Pernando Anju Rajagukguk¹

¹Program Studi Teknik Perkapalan, Jurusan Sains, Teknologi Pangan dan Kemaritiman, Institut Teknologi Kalimantan
Jl. Soekarno Hatta Km. 15 Karang Joang, Kota Balikpapan, Indonesia

*Corresponding author : andi.mursid@lecturer.itk.ac.id

Abstract

The frame structure on a traditional wooden ship has a special shape following the shape of the hull to be strengthened. Its curved shape causes its procurement to take longer it affects the ship-building time. In addition to paying attention to the shape, the cross-sectional size of the wood is also one of the considerations for procuring wood materials. The most common occurrence is that the cross-section size is not in accordance with the plan or is smaller. Therefore, in this article a simulation of increasing the cross-sectional size of a ship's hull using fiberglass is carried out. Additions are made to reach the required cross-sectional area. This simulation aims to see the bending strength possessed between pure wood frame and wood frame laminated with fiberglass. This simulation was carried out using experimental methods in the laboratory using the Destructive Test (DT) tool. The addition of fiberglass laminates to cover the 10% deficiency of wood cross-sectional area. The test results showed that fiberglass-laminated wood frame had better bending strength than intact wood frame. The degree of comparison of the bending strength between the two frames reaches 41.384%.

Keywords: bending strength, destructive test, fiberglass, frame, Wood.

Abstrak

Struktur gading pada kapal kayu tradisional memiliki bentuk khusus mengikuti bentuk lambung yang akan dikuatkan. Bentuknya yang melengkung menyebabkan pengadaannya membutuhkan waktu yang lebih lama sehingga berpengaruh pada waktu pembangunan kapal. Selain memperhatikan bentuk, ukuran penampang kayu juga menjadi salah satu pertimbangan pengadaan material kayu. Kejadian yang paling sering terjadi yaitu ukuran penampang tidak sesuai dengan perencanaan atau lebih kecil. Olehnya itu, pada artikel ini dilakukan simulasi penambahan ukuran penampang pada gading kapal menggunakan *fiberglass*. Penambahan dilakukan hingga mencapai luasan penampang yang dibutuhkan. Simulasi ini bertujuan untuk melihat kekuatan bending yang dimiliki antara gading kayu murni dengan gading kayu berlaminasi *fiberglass*. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen di laboratorium menggunakan alat *Destructive Test* (DT). Penambahan laminasi fiberglass untuk menutupi kekurangan 10% luas penampang kayu. Dari hasil pengujian diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa gading kayu berlaminasi *fiberglass* memiliki kekuatan bending yang lebih baik jika dibandingkan dengan kekuatan bending gading kayu utuh. Tingkat perbandingan kekuatan bending antara kedua gading tersebut mencapai 41.384%.

Kata kunci: *destructive test, fiberglass, gading Kapal, kayu, kekuatan bending*

1. Pendahuluan

Kapal kayu tradisional dibangun dengan berbagai struktur yang saling menguatkan. Untuk lambung kapal terdiri dari struktur kulit, geladak, balok penumpuh, balok pembujur, galar, lunas dan gading kapal. Semua struktur memiliki masing-masing peranan penting dalam menjaga performa kekuatan lambung kapal. Dari semua struktur tersebut, ketersediaan akan material kayu untuk gading dan lunas saat ini yang mengalami kendala karena untuk kedua struktur ini membutuhkan

bentuk dan ukuran material kayu yang khusus. Untuk struktur lunas kapal kayu saat ini telah dikembangkan penggunaan dua material. Lunas kayu dibungkus dengan pelat baja agar lebih tahan dan kuat. Sementara untuk konstruksi gading hanya menggunakan material kayu. Struktur Gading pada kapal berfungsi untuk mempertahankan bentuk lambung kapal serta memberikan kekuatan kapal secara melintang. Gading kapal kayu terbuat dari material kayu yang memiliki kelengkungan khusus seperti pada Gambar 1. Gading kapal dipasang pada bagian dalam lambung kapal.

Antara gading kayu dan kulit kapal diikat dengan menggunakan baut dan sebagian menggunakan pasak kayu. Secara umum struktur kapal kayu masih dibangun dengan cara tradisional berdasarkan keterampilan pengraji kapal kayu [1].



Gambar 1. Struktur Gading Kapal Kayu
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2022)

Pada bagian struktur lambung kapal kayu, terdapat beban eksternal yang bekerja secara simultan. Berdasarkan rules BKI (2022), pada bagian alas kapal bekerja *bottom load*, pada bagian sisi bekerja *side load* dan pada bagian geladak bekerja *weather deck load* [2]. Beban-beban tersebut sifatnya bekerja tegak lurus terhadap struktur kapal. Sehingga, sifat kekuatan lentur struktur gading kapal perlu dipertimbangkan.

Untuk kajian terhadap kekuatan struktur kapal, gading kapal kayu merupakan salah satu struktur yang memiliki daya tarik untuk dianalisis. Karena Gading kapal sangat berperan dalam menahan tekanan hidrostatis ketika kapal mengapung maupun beroperasi. Namun, permasalahan yang muncul dilapangan oleh pengrajin kapal kayu tradisional yaitu adanya kelangkaan ketersediaan kayu yang memiliki kelengkungan dan dimensi penampang yang sesuai dengan perencanaan. Salah satu solusi yang ditawarkan yaitu mengatasi persoalan tersebut adalah menambahkan lapisan *fiberglass* semacam *skin* (kulit) pada gading kapal kayu yang memiliki kekurangan dimensi penampang sesuai dengan perencanaan. Lapisan *fiberglass* akan dibuat menyelubungi struktur gading kapal dimana susunan laminasi terdiri dari dua jenis serat *fiberglass* yaitu *matt 300* dan *woven rofin 450*. Solusi ini sama dengan menerapkan konsep *wood core – composite sandwich panel* pada gading kapal kayu. Pada konsep

ini digunakan 2 atau lebih material pada sebuah struktur untuk menambah peforma kekuatan. *Wood core* terdiri dari kayu Alaban dan material komposit terdiri dari bahan *fiberglass*. Biasanya pemilihan komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. *Skin*, Bagian ini berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress* [3].

Penelitian terkait material sandwich panel sebagai bahan konstruksi telah banyak dilakukan seperti *Kulpa et al (2021)* melakukan penelitian tentang optimasi FRP sandwich Panel untuk keperluan jembatan baru dan jembatan renovasi dengan menggunakan sistem penginderaan distribusi serat optik (DFOS) [4]. *Mostafa et al (2020)*, mengembangkan perhitungan kekuatan *composite* kayu pinus dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM) dan pemodelan teoritis untuk melihat perilaku lentur elastis pada material *wood composite sandwich panel* [5]. *Mostafa et al (2021)*, melakukan pengujian eksperimen pada wood composite sandwich panel dengan variasi ukuran dengan bentuk *corrugated panel* pada inti kompositnya [6]. *Michael Osei et al (2013)*, melakukan studi eksperimen untuk menguji kekakuan dan kekuatan geser pada panel kayu balsa sebagai inti material *composite sandwich panel* [7]. *Dian Zhu et al (2018)*, melakukan investigasi kekuatan lentur pada material FRP sandwich panel dengan diperkuat serat kaca (GFRP) yang diberikan resin menggunakan alat vakum [8]. *Zheng Ceng (2011)*, melakukan pengujian lentur pada material composite sandwich panel dengan inti material berasal dari kulit kayu. Kulit kayu divariasikan dengan berbagai macam ketebalan untuk melihat nilai lentur setiap variasi [9]. Selain itu, penelitian terkait material sandwich panel dimana kayu sebagai intinya telah dilakukan oleh *Michael et al (2013)*, *Nadia et al (2015)* dan *Lebens et al (2017)*. Metode yang digunakan menggunakan eksperimen untuk mengetahui tegangan bending dan geser [10][11][12].

Karena beban bending yang dominan bekerja pada gading kapal, maka selanjutnya pada struktur gading kapal akan

dilakukan pengujian bending menggunakan metode uji merusak (*destructive test*). Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memberikan gambaran perbedaan performa kekuatan bending gading kapal yang terbuat dari material kayu murni dengan material gabungan kayu+FRP.

Hasil pengujian ini selanjutnya dapat memberikan gambaran kepada para perencana maupun pengrajin kapal kayu dalam mempertimbangkan penggunaan material alternatif pada struktur gading kapal kayu.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode yang digunakan yaitu eksperimen pengujian di laboratorium dengan melakukan pengujian merusak (*Destructive Test*). Jenis *destructive test* (DT) yang dilakukan yaitu uji tekuk (*flexural test*). Sampel yang dijadikan bahan uji yaitu berupa gading

kapal kayu yang terbuat dari kayu Alaban yang selanjutnya diberi kode A10 dan gading kapal kayu yang terbuat dari kayu Alaban + Fiberglass yang selanjutnya diberi kode A9. Adapun detail spesimen dan tahap pengujian dijelaskan sebagai berikut :

2.1 Spesimen

Spesimen yang digunakan pada uji *bending* disesuaikan dengan data lapangan. Dari hasil survei diperoleh dimensi penampang gading kapal kayu memiliki ukuran tinggi (h) 10 cm dan lebar (e) 5,8 cm dengan ratio h/e yaitu 1,7. Selanjutnya dilakukan variasi penampang gading kayu dengan memberikan laminasi fiberglass pada sisi-sisi gading kapal dengan tetap memperahankan ratio h/e yaitu 1,7. Adapun detail specimen yang diujikan pada artikel ini dideskripsikan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Spesimen Gading Kapal

Unit	Dimensi Penampang Gading Kayu		Fiberglass	Fiberglass		Ratio (h/e)
	Tebal (T)	Lebar (B)		Persentase	Tebal (T)	
A10.1						
A10.2	10 cm	5,8 cm	-	-	-	1,7
A10.3						
A9.1						
A9.2	9 cm	5,2 cm	10 %	1 cm	0,6 cm	1,7
A9.3						

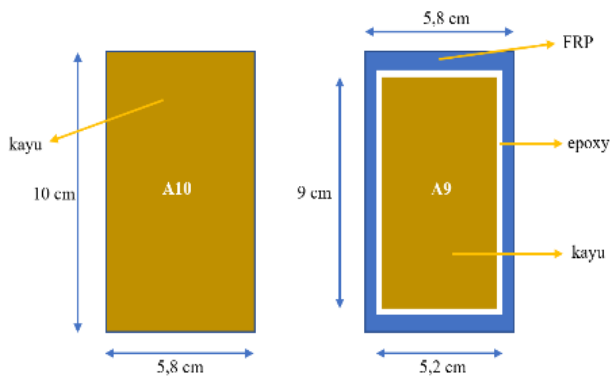
Selanjutnya spesimen di buat berdasarkan ukuran spesimen pada Tabel 1. Bahan yang dibutuhkan yaitu kayu Alaban sebagai inti gading kayu, *epoxy*, *matt 300*, *wofen rovin 450*, *resin* dan *katalis*. Untuk kayu yang diberikan laminasi *fiberglass* sebelumnya diberikan cairan *epoxy* untuk mengikat *fiberglass* agar tidak terlepas dari inti kayu. Setelah itu, lapisan FRP mulai diterapkan pada gading kayu dengan susunan laminasi sebagai berikut :

Untuk bagian penampang sisi kiri dan kanan
 Matt 300 + Matt 300 + WR 450 + Matt 300
 + Matt 300 + WR 450 + Matt 300 + Matt 300
 + WR 450 + Matt 300 + Matt 300 + WR 450
 + Matt 300 + Matt 300 + WR 450 +

Untuk bagian penampang sisi atas dan bawah

Matt 300 + Matt 300 + WR 450 + Matt 300
 + Matt 300 + WR 450

Alasan perbedaan pemberian susunan laminasi ini yaitu untuk menyesuaikan kebutuhan dimensi penampang yang kurang sesuai dengan ratio b/e yang telah ditetapkan. Dimana pada artikel ini diasumsikan gading kayu mengalami kekurangan luas penampang sebesar 10% dari total luas penampang kebutuhan. Adapun gambaran penampang spesimen struktur gading kapal dapat dilihat pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Penampang Spesimen Gading Kapal

Pemberian lapisan *fiberglass* pada inti kayu harus dikontrol pada saat kondisi kering. Hal ini diperlukan untuk memastikan luas penampang antara spesimen A10 dan A9 tetap sama. Spesimen yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.

Setelah spesimen dipastikan memiliki ukuran penampang yang sama, selanjutnya dilakukan uji kekuatan tekuk yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM).



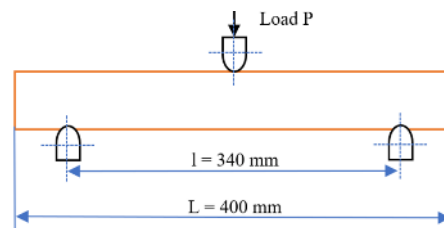
Gambar 3. Spesimen Kayu + FRP

Dalam pengujian ini kecepatan beban yang bekerja terhadap spesimen yang diberikan oleh mesin uji adalah 5 mm/s. Kecepatan ini diterapkan untuk memperoleh riwayat data performa kekuatan bending spesimen yang lebih detail, utamanya pada proses pemberian nilai beban (*load*) dan respon perpindahan (*deflection*) yang terjadi pada spesimen gading kapal. Adapun spesifikasi pada mesin uji DT yang digunakan di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Spesifikasi Mesin Uji Material

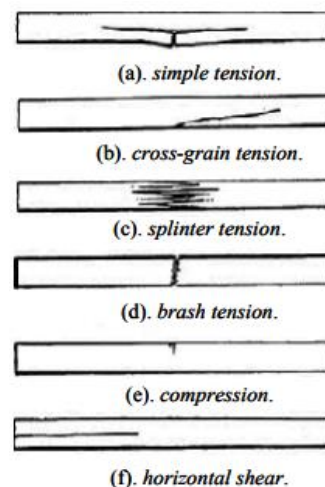
Item	Keterangan
Equipment Name	Universal Testing Machine
Certifikat Number	17637/CQI-Sert/09/21
Capacity	100 kN
Serial Number	180542
Environmental Condition	T before = 28,50 C T after = 28,60 C RH before = 64 % RH after = 65 %
Calibration Method	IK-G-01 ref. JIS B 7721 : 2009

Mesin UTM ini menerapkan jenis uji bending 3 titik (*3 point flexural test*). Di mana, spesimen diletakkan pada dua tumpuan (*span* tumpuan) yang selanjutnya diberi satu beban dengan arah yang berlawanan terhadap arah tumpuan seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Flexural Test 3 Point

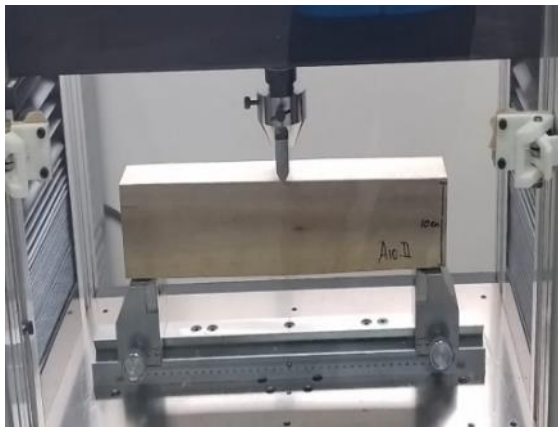
Jenis kerusakan pada balok kayu akibat pembebanan vertikal dibagi menjadi beberapa macam seperti yang terlihat pada Gambar 5. Jenis kerusakan ini akan nanti disesuaikan dengan kondisi spesimen setelah mendapatkan pembebanan hingga mengalami kerusakan.



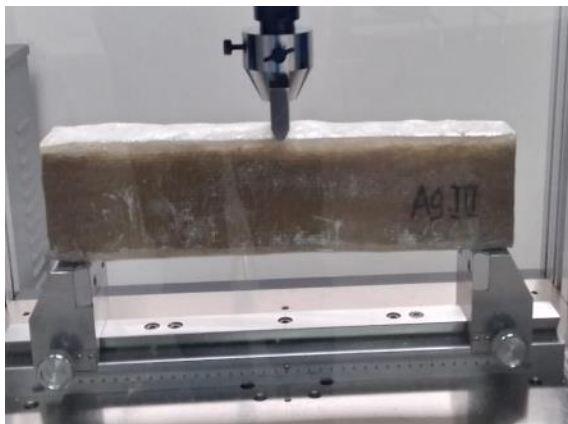
Gambar 5. Klasifikasi Kerusakan Tekuk Balok [13] (Sumber : ASTM, 2008)

2.2 Pengujian Spesimen

Pengujian dilakukan setelah dipastikan ukuran spesimen telah sesuai dengan hasil pengukuran ulang. Selanjutnya, spesimen uji diletakkan di atas tumpuan (*span*) pada alat UTM seperti pada Gambar 6. Setelah posisi spesimen dipastikan sudah sesuai selanjutnya pemberian beban dilakukan dengan kecepatan 5 mm/s seperti pada Gambar 6.



(a) Kayu



(b) Kayu + FRP

Gambar 6. Simulasi Pembebanan

Dari hasil pengujian akan diperoleh nilai hubungan beban terhadap defleksi yang terjadi hingga struktur mengalami kerusakan. Selanjutnya, data yang diperoleh akan diolah untuk memperoleh nilai performa tegangan struktur. Untuk memperoleh nilai tegangan digunakan persamaan berikut [14]:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2eh^2} \quad (1)$$

Di mana,

σ_f = Tegangan Bending (kgf/mm²)

P = Beban (kgf)

L = Jarak antar *span* (mm)

e = lebar penampang spesimen (mm)

h = Tinggi penampang spesimen (mm)

Untuk nilai modulus elastisitas (MoE) spesimen dapat diperoleh dari hasil pengujian yang diolah oleh komputer alat uji. Namun, persamaan yang berlaku untuk mendapatkan nilai MoE menggunakan persamaan berikut [15]:

$$\text{MoE} = \frac{\delta \cdot p \cdot L^3}{48 \cdot \delta \cdot I} \quad (2)$$

Di mana,

δ = defleksi (mm)

P = beban (N)

L = jarak antar span (m)

I = inersia penampang (mm⁴)

Untuk *Modulus of rupture* (MOR) pada setiap spesimen selanjutnya dihitung menggunakan persamaan untuk tipe uji bending statis 3 titik seperti yang dijelaskan di bawah [15]:

$$\text{MOR} = \frac{3 F_3 L}{2eh^2} \quad (3)$$

Di mana,

F_3 = beban (N)

L = jarak antar span (m)

e = lebar penampang spesimen (m)

h = tinggi penampang spesimen (m)

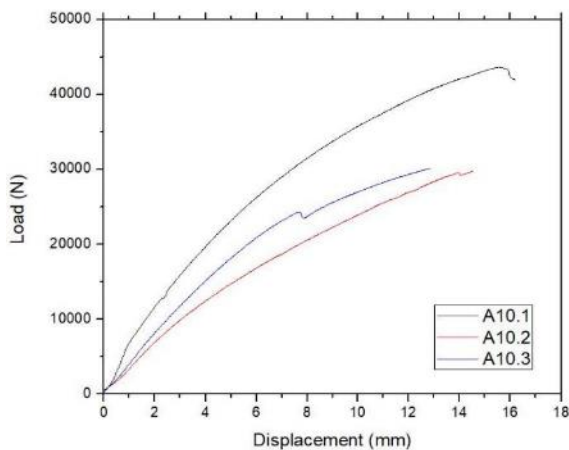
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Spesimen A10

Spesimen A10 adalah spesimen tanpa laminasi Fiberglass. Hasil pengujian spesimen ini akan digunakan sebagai dasar perbandingan nilai kekuatan bending dengan spesimen A9. Total spesimen yang diuji adalah 3 benda uji.

Pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan performa pada masing-masing spesimen. Lokasi kerusakan yang

terlihat pada spesimen setelah mendapatkan beban terjadi pada bagian kayu yang memiliki ujung serat di bagian tengah spesimen. Selain itu, semua spesimen A10 menunjukkan kerusakan tarik yang sangat masif. Untuk kemampuan tiap spesimen untuk dalam menerima beban dan memberikan respon perpindahan (*deflection*) dijabarkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Distribusi Performa Beban dan Perpindahan tiap Spesimen A10

Perbedaan hasil eksperimen disebabkan adanya arah serat kayu yang berbeda pada tiap spesimen. Arah serat kayu akan berpengaruh terhadap aliran konsentrasi tegangan yang menyebabkan kerusakan (*crack*).

Sementara untuk nilai Modulus Elastisitas (E) dan MOR yang diperoleh dengan mengolah data hasil setiap pengujian dimana hasilnya disajikan pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Nilai E dan MOR pada setiap Spesimen A10

Spesimen	E (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
A10.1	771.212	45.145
A10.2	610.330	30.831
A10.3	647.076	31.193

Untuk jenis kerusakan yang dialami oleh spesimen A10 setelah disesuaikan dengan klasifikasi kerusakan tekuk balok oleh ASTM 2008 yaitu jenis *splinter tension* Seperti yang terlihat pada Gambar 8. Kerusakan jenis ini cenderung mengikuti arah serat kayu yang lemah.



Gambar 8. Kerusakan Pada Spesimen A10

3.2 Spesimen A9

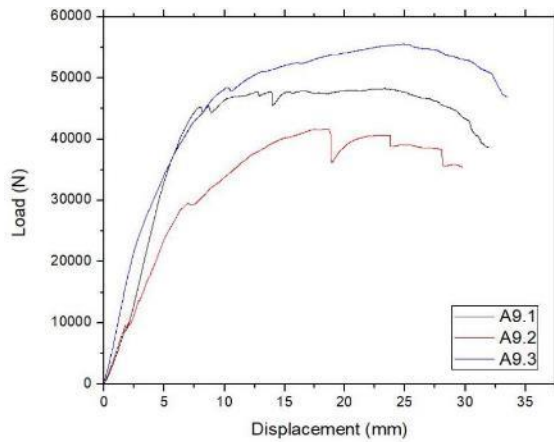
Spesimen A9 adalah spesimen yang diberikan perlakuan laminasi *Fiberglass* pada permukaannya. Total spesimen yang diuji pada jenis gading ini adalah 3 benda uji.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan performa pada masing-masing spesimen. Berbeda dengan spesimen A10, kerusakan yang terjadi setelah diberikan pembebanan yaitu pada struktur lapisan *fiberglass* pada bagian yang tersentuh beban vertikal. Dari pengujian ini, struktur material yang mendapatkan pengaruh beban terjadi pada material *fiberglass*. Hal ini disebabkan karena struktur lapisan *fiberglass* berada pada sisi penampang gading yang mendapatkan aliran tegangan yang tinggi. Secara umum, lapisan *fiberglass* ini memberikan peranan penting dalam menjaga kondisi kayu untuk tetap bertahan dari pembebanan yang diaplikasikan.

Sedangkan, kemampuan tiap spesimen untuk menerima beban dan respon perpindahan yang terjadi dijabarkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 9. Sementara untuk nilai E dan MOR yang diperoleh dengan mengolah data hasil setiap pengujian disajikan pada Tabel 3.

Untuk jenis kerusakan yang dialami oleh spesimen A9 setelah disesuaikan dengan klasifikasi kerusakan tekuk balok oleh ASTM 2008 yaitu jenis *compression*

Seperti yang terlihat pada Gambar 10. Inisiasi kerusakan terjadi pada bagian spesimen yang bersentuhan dengan beban yang diberikan. Selanjutnya kerusakan merambat kebagian spesimen.



Gambar 9. Distribusi Performa Beban dan Perpindahan tiap Spesimen A9

Tabel 3. Nilai E dan MOR pada setiap Spesimen A9

Spesimen	E (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
A9.1	351.17	42.452
A9.2	321.60	36.659
A9.3	346.14	48.805



Gambar 10. Kerusakan pada Sepesimen A9

3.3 Komparasi Nilai Kekuatan Bending

Dari data hasil pengujian bending, selanjutnya data diolah untuk memperoleh nilai yang diinginkan yaitu tegangan bending spesimen. Dengan menggunakan persamaan flexural test 3 point diperoleh nilai tegangan bending seperti pada Tabel 5.

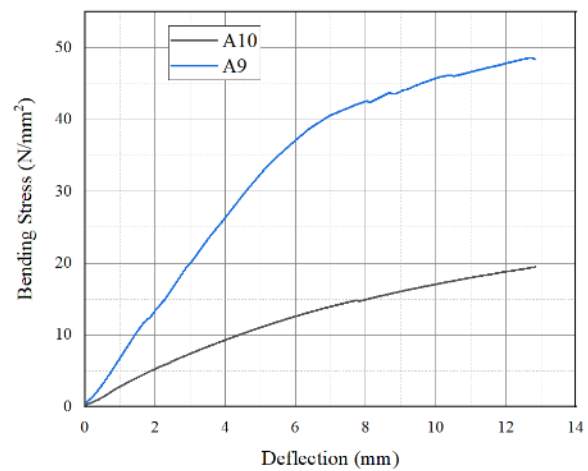
Dari grafik pada Gambar 11 terlihat adanya perbedaan yang signifikan antara kedua variasi spesimen. Gading kapal kayu

yang diberikan *treatment*/laminasi fiberglass memiliki nilai kekuatan bending yang lebih baik jika dibandingkan gading kayu biasa.

Tabel 5. Nilai Tagangan Bending Setiap Spesimen

Spesimen	Tegangan Bending (N/mm ²)	
	A10	A9
1	37.244	41.203
2	25.435	35.581
3	25.734	47.370
Rata-Rata	29.471	41.385

Gambaran perbandingan performa kekuatan rata-rata spesimen dijabarkan dalam sebuah grafik seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Komparasi Tegangan vs Defleksi pada Spesimen Gading Kapal

4. Kesimpulan

Pengujian *bending* pada gading kapal kayu dengan komposisi 100% kayu dan 90% kayu + 10% FRP telah berhasil dilakukan. Dari pengujian bending jenis 3 *point flexural test* diperoleh kesimpulan yaitu gading kayu tanpa pemberian perlakuan/laminasi FRP memiliki kekuatan bending rata-rata sebesar 29.471 N/mm². Dengan penambahan luas penampang sekitar 10% FRP pada gading kayu dihasilkan kekuatan lentur rata-rata hasil pengujian sebesar 41.384 N/mm².

Spesimen dengan kode A9 terdiri dari 90% kayu dan 10% FRP memperlihatkan nilai kekuatan *bending* yang lebih baik jika dibandingkan A10. Tingkat perbandingan kekuatan bending

mencapai 40.43%. Berdasarkan hasil tersebut, dari sisi kekuatan *bending* gading kapal jenis formasi material seperti A9 dapat disarankan untuk digunakan pada kapal kayu tradisional.

Ucapan terimakasih

Ucapan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan atas pendanaan yang diberikan pada penelitian ini. Artikel ini merupakan luaran tambahan penelitian Hibah Perguruan Tinggi ITK dengan No. Kontrak : 4275/IT10.II/PPM.04/2023.

Referensi

- [1] Mursid, A., Arifuddin, N., Pawara, M. U., & Jamal, R. (2022). Hull Strength Investigation of Traditional Boat “ Sandeq ” Using Numerical Experiment. *SPECTA Journal of Technology*, 6(2), 190–199. <https://doi.org/10.35718/specta.v6i2.492>
- [2] Biro Klasifikasi Indonesia. 2022. Volume 2 : Rules for Hull. Jakarta - Indonesia
- [3] Schwartz M.M., 1984, *Composite Materials Handbook*, McGraw-Hill, New York, USA.
- [4] Kulpa, Maciej. H Thomas, A Wiater, T Siwoski, R Sienko. 2021. Strain and displacement measurement based on distributed fibre optic sensing (DFOS) system integrated with FRP composite sandwich panel. *Elsevier : Measurement Journal*. Volume 175, April 2021, 109099. doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109099
- [5] Mohammadabadi, Mostafa. J Jarvis, V Yadama, W Cofer. 2020. Predictive Models for Elastic Bending Behavior of a Wood Composite Sandwich Panel. *MDPI Journal : Forest*. 2020, Volume 11, 624; [doi:10.3390/f11060624](https://doi.org/10.3390/f11060624)
- [6] Mohammadabadi, Mostafa. V Yadama, J D Dolan. 2021. Evaluation of Wood Composite Sandwich Panels as a Promising Renewable Building Material. *MDPI Journal : Forest*. 2020, Volume 14 (8), 2083; doi.org/10.3390/ma14082083
- [7] Osei Antwi, Michael. J D Castro, A P Vasiloupoulos, T Keller. 2013. Shear mechanical characterization of balsa wood as core material of composite sandwich panels. *Elsevier : Construction and Building Material*. Volume 41, April 2013, Pages 231-238. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.009
- [8] Zhu, Dian. H Shi, H Fang, W Liu, Y Qi, Y Bai. 2018. Fiber reinforced composites sandwich panels with web reinforced wood core for building floor applications. *Elsevier : Composites Part B: Engineering*. Volume 150, 1 October 2018, Pages 196-211. doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.05.048
- [9] Cheng, Zheng. N Yan, J Deng, G Smith. 2011. Flexural creep behavior of sandwich panels containing Kraft paper honeycomb core and wood composite skins. *Elsevier : Materials Science and Engineering: A*. Volume 528, Issues 16–17, 25 June 2011, Pages 5621-5626. doi.org/10.1016/j.msea.2011.03.092
- [10] Osei- Antwi, Michael. J D Castro, A P Vasiloupoulos, T Keller. 2013. Shear mechanical characterization of balsa wood as core material of composite sandwich panels.

- Construction and Building Materials. Volume 41, April 2013, Pages 231-238. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.009
- [11] Lakreb, Nadia. B Bezzazzi, H Perreira. 2015. Mechanical behavior of multilayered sandwich panels of wood veneer and a core of cork agglomerates. Materials & Design (1980-2015). Volume 65, January 2015, Pages 627-636. doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.059
- [12] Ergard, Labans. Z Kaspras, K Kaspras. 2017. Structural Performance of Wood Based Sandwich Panels in Four Point Bending. Procedia Engineering. Volume 172, 2017, Pages 628-633. doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.073
- [13] Assouli B, Ballivy G, Rivard P. Influence of environmental parameters on application of standard ASTM C876-91: half cell potential measurements. Corrosion Engineering, Science and Technology. 2008 Mar 1;43(1):93-6
- [14] Conshohocken, West. 1996. Effect of Surface Coatings and Treatments on Wear
- [15] Gere, J.M. (2004) Mechanics of Materials. Thomson Learning, 6th Edition