

Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) serta Ketahanannya terhadap *Marine Borers*

Lora Septrianda Putri^{1*}, Lina Karlinasari¹, Mohammad Muslich³, Mahdi Mubarak², Jeki⁴, Rynaldo Davinsy¹, Adrin¹, Hendra Kurniawan¹, Sipora Petronela Telnoni⁵, Kristianto Wibison So¹

¹Program Studi Pengelolaan Hutan Jurusan Kehutanan Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Kupang, 85211

²Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB University, Bogor, 16680

³ Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor, 16001

⁴Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako, Palu, 94148² Fakultas Pertanian IPB University, Bogor, 16680

⁵ Jurusan Peternakan Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Kupang, 85211

*Email: loraseptriandaputri99@gmail.com

Received : 28 April 2025

Accepted : 11 Juni 2025

Available online : 13 Juni 2025

ABSTRACT

Maritime infrastructure such as facilities and ships is very important in Indonesia due to its position as a maritime nation. Wood for maritime infrastructure purposes generally comes from natural forests, so there needs to be an alternative from plantation forests to meet its wood requirements. Jackfruit wood from community forests was chosen as the object of this research because it is the type of wood used in this study. This wood was chosen because it has good durability. The purpose of this research is to identify marine borer attacks on jackfruit wood at various ocean depths and to determine the physical and mechanical properties of the wood after being submerged in the sea. The research was conducted on Rambut Island, with 24 test samples measuring 30 cm x 5 cm x 2.5 cm. All test samples were arranged with ropes and submerged in the sea for three months at a depth of 5 cm above sea level, as well as 10 cm and 42 cm below sea level. The results show that the test samples arranged at a depth of 5 cm above the sea surface are highly resistant to marine borers, and the test samples arranged at depths of 10 cm and 42 cm below the sea surface are resistant to marine borers. The MOE value for the control is 79994 kg/cm² and decreases to 48714 kg/cm² after being submerged in the sea; the MOR is 1329 kg/cm² for the control and decreases to 672 kg/cm² after being submerged in the sea. The weight of the control wood is 0.55, but it slightly decreased to 0.51 after being soaked in the sea. The mechanical values of MOE and MOR differ significantly between the control test samples and those after immersion. However, the immersion depth of the test samples did not have a significant effect on their mechanical values.

Keywords: Intensity attack of marine borers, Jackfruit wood, and Physical mechanical properties of wood.

ABSTRAK

Infrastruktur kelautan seperti fasilitas dan kapal sangat penting di Indonesia karena posisinya sebagai negara maritim. Kayu untuk tujuan infrastruktur kelautan ini umumnya bersumber dari hutan alam, sehingga perlu ada alternatif dari hutan tanaman untuk pemenuhan kebutuhan kayunya. Kayu nangka dari hutan rakyat dipilih sebagai objek penelitian ini karena adalah jenis kayu yang digunakan dalam penelitian ini. Kayu ini dipilih karena memiliki keawetan yang baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi serangan *marine borer* terhadap kayu nangka pada berbagai kedalaman laut dan menentukan sifat fisis mekanis kayu setelah direndam di laut. Penelitian dilakukan di Pulau Rambut, dengan contoh uji 24 buah berukuran 30 cm x 5 cm x 2,5 cm. Semua contoh uji disusun dengan tali tambang dan direndam di laut selama tiga bulan pada kedalaman 5 cm di atas permukaan laut, serta 10 cm dan 42 cm di bawah permukaan laut. Hasilnya menunjukkan bahwa contoh uji

yang disusun pada kedalaman 5 cm di atas permukaan laut sangat tahan terhadap *marine borer*, dan contoh uji yang disusun pada kedalaman 10 cm dan 42 cm di bawah permukaan laut tahan terhadap *marine borer*. Nilai MOE untuk kontrol adalah 79994 kg/cm² dan turun menjadi 48714 kg/cm² setelah direndam di laut; MOR adalah 1329 kg/cm² untuk kontrol dan turun menjadi 672 kg/cm² setelah direndam di laut. Berat kayu kontrol adalah 0,55, tetapi beratnya sedikit turun menjadi 0,51 setelah direndam di laut. Nilai mekanis MOE dan MOR antara contoh uji kontrol dan setelah direndam berbeda nyata. Namun, kedalaman perendaman contoh uji tidak berpengaruh nyata terhadap nilai mekanisnya.

Kata kunci: Intensitas serangan *marine borers*, Karakteristik fisis mekanis, dan Kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus*)

PENDAHULUAN

Wilayah kepulauan Indonesia adalah negara dengan jumlah pulau lebih dari 17.000 dan wilayah laut yang diakui oleh UNCLOS 1982. Wilayah laut mencakup sekitar dua pertiga dari total luas wilayah nasionalnya (Listiyono *et al.*, 2022) sehingga banyak ditemukan pembangunan sarana dan prasarana seperti kapal tradisional, dermaga, dan tiang pancang. Sarana dan prasarana ini biasanya menggunakan bahan baku kayu. Akan tetapi, penggunaan kayu di laut menghadapi tantangan besar yaitu serangan organisme penggerek laut (*marine borers*). Efek kerusakan yang ditimbulkan *marine borers* sangat signifikan yang berpotensi mengurangi kekuatan dan umur pakai kayu sehingga berdampak negatif terhadap infrastruktur maritim laut. Suhirman dan Nunik (1987) menyatakan bahwa sekitar puluh miliar rupiah per tahun kerugian ekonomis akibat dari serangan *marine borers* di Indonesia. Oleh karena itu, pentingnya perlindungan terhadap kayu yang digunakan dalam konstruksi maritim. Muslich dan Hadjib (2008) menyatakan bahwa perendaman kayu kurang dari tiga bulan di Pantai Utara Jawa sudah mengalami serangan berat dari *marine borers*.

Marine borers meliputi dua kelompok yaitu Moluska dan Krustasea yang lebih dikenal dengan sebutan *shipworm* (cacing kapal) dan *gribble* (kutu laut). Kelompok Moluska terdiri dari famili Pholadidae dan Teredinidae yang merusak kayu baik sebagai sumber makanan maupun tempat tinggalnya (Muslich & Hadjib, 2008). Sedangkan kelompok Krustasea terdiri dari tiga famili yaitu Limnoriidae, Cheluridae dan Sphaeromatidae. *Marine borers* dari Famili Terenidae dan Limnoriidae telah diketahui dapat menyebabkan kerusakan kayu yang terendam di laut, terutama di wilayah tropis dan subtropis (El-Awady & El-Awady, 2003; Knight *et al.*, 2019). Aktivitas *marine borers* berkembang

pesat di daerah tropis karena kondisi lingkungan yang hangat dan lembap sehingga dapat berkembang sepanjang tahun dan juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti salinitas, pH air dan suhu (Borges, 2014). Keberadaan faktor-faktor ini menjadi krusial dalam mengevaluasi ketahanan kayu terhadap serangan organisme tersebut, terutama pada kedalaman laut yang berbeda.

Biasanya jenis kayu yang digunakan di laut antara lain kruing (*Dipterocarpus* sp), nyatoh (*Palaquium javense*), bangkirai (*Shorea laevifolia*), sonokeling (*Dalbergia latifolia*), jati (*Tectona grandis*), serta kayu dari hutan alam (Martawijaya *et al.*, 1981).

Permintaan kayu dari hutan alam terus meningkat, sayangnya ketersediaannya semakin terbatas. Sangat penting untuk menggunakan kayu alternatif atau kayu pengganti yang berasal dari hutan rakyat seperti kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus*). Penggunaan kayu alternatif ini dapat membantu mengurangi penggunaan kayu alam yang saat ini menghadapi tekanan

Kayu nangka memiliki karakteristik yang baik untuk bahan konstruksi. Hal ini karena kayu tersebut memiliki berat jenis sekitar 0,61 yang masuk dalam kelas awet II-III (Seng, 1990; Martawijaya *et al.*, 1981). Kayu nangka termasuk kayu yang setengah keras yang tahan serangan bakteri, jamur dan rayap, memiliki permukaan kayu yang mengkilap setelah disemir, serta mudah dikerjakan (Verheij & Coronel, 1997).

Oleh karena itu, dalam konteks pengembangan dan keberlanjutan kayu konstruksi maritim maka dilakukan penelitian ketahanan kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus*) dari hutan rakyat Bogor terhadap serangan *marine borers* sebagai kayu alternatif yang memiliki potensi besar untuk menggantikan penggunaan kayu secara konvensional karena keberadaan kayu yang

semakin langka sehingga dapat membantu melestarikan hutan alam.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus*) yang berumur 25 tahun yang berasal dari hutan rakyat Dramaga, Bogor. Lamanya penelitian ini adalah 5 bulan yaitu perendaman kayu nangka di Suaka Margasatwa Pulau Rambut, Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta selama tiga bulan dan dilanjutkan pengujian laboratorium selama 2 bulan di Laboratorium Anatomi di Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Bogor, di Laboratorium Peningkatan Mutu Kayu dan Keteknikan Kayu Departemen Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan IPB University dan Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB University.

Pengukuran Kualitas Perairan Pulau Rambut

Metode kerja yang dilakukan untuk mengukur parameter sifat fisika dan kimia di lingkungan perairan Pulau Rambut seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode dan alat yang digunakan dalam pengukuran kualitas perairan Pulau Rambut

Parameter	Unit	Alat/metode
A. Fisika		
1 Suhu	°C	Thermometer
2 Arus	m/s	Pengukuran jarak terhadap waktu
B. Kimia		
1 pH	Ppm	pH meter
2 Salinitas	Ppm	Salinometer

Pengujian Sifat Fisis Kayu

Sifat fisis diuji pada contoh uji yang tidak direndam di laut (kontrol) dan contoh uji yang direndam di laut. Sifat fisis yang diuji terdiri dari kadar air (KA) dan berat jenis (BJ). Contoh uji berukuran panjang 5 cm, lebar 2 cm, dan tebal 2 cm. Contoh uji diukur dimensinya lalu ditimbang beratnya, kemudian dioven selama 24 jam pada suhu $103 \pm 2^\circ\text{C}$ lalu di desikator sampai suhunya stabil dan ditimbang sebagai berat kering tanur (BKT). KA dan BJ ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$KA (\%) = \frac{BB - BKT}{BKT} \times 100\%$$

$$BJ = \frac{BKT}{V}$$

Keterangan:

KA = kadar air contoh uji (%)
BJ = berat jenis contoh uji
BB = berat awal contoh uji (g)
BKT = berat kering tanur contoh uji (g)
V = volume kering udara contoh uji (m³)

Pengujian Sifat Mekanis Kayu

Sifat mekanis diuji terhadap contoh uji yang tidak direndam di laut (kontrol) dan yang direndam di laut berukuran panjang 30 cm, lebar 2 cm dan tebal 2 cm. Pengujian sifat mekanis contoh uji menggunakan Standar Inggris (BS-373-1957) untuk menentukan nilai keteguhan lentur (*modulus of elasticity*/MOE) dan keteguhan patah (*modulus of rupture*/MOR) dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* Instron. MOE dan MOR ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$MOE = \frac{\Delta P \times L^3}{4 \times \Delta Y \times b h^3}$$

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Keterangan:

MOE = *Modulus of elasticity* (kg.cm⁻²)
MOR = *Modulus of rupture* (kg.cm⁻²)
 ΔP = Perubahan beban (kg)
L = jarak sangga (cm)
 Δy = perubahan defleksi beban (cm)
b = lebar contoh uji (cm)
h = tebal contoh uji (cm)

Pengamatan Marine Borers

Contoh uji yang digunakan adalah balok-balok kayu yang dikeringkan sampai kering udara yang berukuran panjang 30 cm, lebar 5 cm, dan tebal 2.5 cm yang pada bagian tengahnya dilubangi dengan diameter 1.5 cm (SNI 01-7207-2006). Contoh uji tersebut berjumlah 24 dengan 8 kali ulangan pada tiga kedalaman yang berbeda. Contoh uji yang sudah disusun direndam selama tiga bulan di laut pada kedalaman 5 cm contoh uji berada di atas permukaan laut, kedalaman 10 cm dan 42 cm contoh uji dari permukaan laut (Gambar 1) berdasarkan modifikasi yang kami diskusikan.

Tingkat intensitas serangan *marine borers* pada contoh uji ditentukan berdasarkan Tabel 2 dengan persamaan berikut:

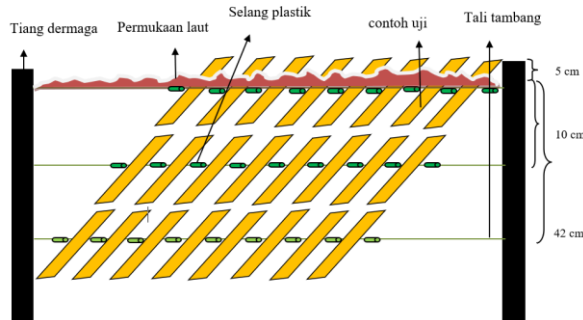
$$IS (\%) = \frac{LA}{LB} \times 100\%$$

Keterangan:

IS (%) = intensitas serangan *marine borers* pada contoh uji

LA = luas permukaan yang terserang

LB = luas total permukaan contoh uji



Gambar 1. Penyusunan contoh uji

Tabel 2. Tingkat intensitas serangan *marine borers*

Kelas	Intensitas serangan (persen)	Selang intensitas serangan
I	< 7	Sangat tahan
II	7 – 27	Tahan
III	27 – 55	Sedang
IV	55 – 80	Buruk
V	> 80	Sangat Buruk

Sumber: SNI 01-7207-2006

Identifikasi jenis *marine borers* yang menyerang contoh uji mengacu pada Turner (1966 dan 1971) yaitu pengamatan organismenya dari bentuk palet, struktur cangkuk, dan bekas lubang gerak pada contoh uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pengukuran parameter fisika (suhu dan arus) dan kimia (salinitas dan pH) di perairan Pulau Rambut seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengamatan parameter fisika dan kimia di perairan Pulau Rambut

No	Parameter	Nilai
1.	Suhu (°C)	29
2.	Arus (m/s)	0.36
3.	pH	7.64
4.	Salinitas (ppm)	31

Hasil penelitian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa temperatur perairan mencapai suhu 29°C, arus sebesar 0,36 m/s, pH 7,635, dan salinitas sebesar 31 ppm. Kondisi perairan ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian oleh Muslich dan Sumarni (2008). Pada kondisi ini terjadi pengaturan sirkulasi yang baik yang dapat membantu menetralkan pencemaran di laut, sehingga mendukung perkembangan *marine borers* (Subagiyo *et al.*, 2015). Faktor suhu dan salinitas mempengaruhi pertumbuhan dan juga perkembangbiakan dari *marine borers* di laut (Appelqvist *et al.*, 2015). Suhu sangat penting selama musim reproduksi dan migrasi (Eltringham, 1971). Selain itu juga temperatur dan salinitas merupakan faktor penting yang membatasi reproduksi organisme *marine borers* (Turner, 1966) karena temperatur berperan penting untuk musim kawin, bertelur dan perkembangan larvanya.

Aktivitas *marine borers* akan meningkat signifikan selama musim panas, seiring dengan kenaikan suhu perairan yang cocok untuk kehidupannya. Selain itu, suhu yang lebih hangat meningkatkan populasi, mempercepat pertumbuhan, dan meningkatkan aktivitas dari *marine borers* (Williams *et al.*, 2018; Paalvast & vander Velde, 2014). Toleransi kelangsungan hidup *marine borers* juga tergantung pada salinitas tertentu dimana mereka akan mati pada salinitas di bawah 5 ppm. Selain itu, pengaruh arus dan gelombang dapat menyebabkan perubahan di dasar laut yang menciptakan gerusan dan erosi sedimen yang dapat mengganggu kestabilan suatu lokasi sehingga membuat area terpapar serangan fisik dan serangan biologis (Gregory *et al.*, 2012; Manders, 2017). Nilai pH yang diperoleh menunjukkan kondisi yang cukup baik bagi perkembangan organisme laut, yang dapat meningkatkan ekosistem perairan sehingga pada kondisi ini mendukung pertumbuhan *marine borers*.

Sifat Fisis Kayu Nangka (Tidak Direndam di Laut yang sebagai Kontrol)

Shmulsky dan Jones (2019) menyatakan bahwa salah satu parameter sifat fisis kayu yang penting adalah kadar air (KA) dan berat jenis (BJ). Sifat fisis kayu yang diukur dalam penelitian ini meliputi KA dan BJ kayu seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat fisis kayu Nangka (tidak direndam di laut yg sebagai kontrol)

Kedalaman	Kondisi basah		Kondisi kering udara	
	KA (%)	BJ	KA (%)	BJ
5 cm	102.90	0.52	16.04	0.52
10 cm	106.38	0.48	15.15	0.51
42 cm	115.42	0.48	16.76	0.50

Keterangan: n adalah jumlah ulangan contoh uji

Tabel 4 menunjukkan bahwa kadar air (KA) rata-rata kayu nangka adalah 12,58%. KA ini merupakan kadar air kesetimbangan (KAK) yang berarti kayu telah mencapai kondisi seimbang dengan suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Dalam kondisi ini, kayu tidak akan menyerap maupun melepaskan uap air dari lingkungannya, kecuali terjadi perubahan kelembaban atau suhu udara. Stabilitas kadar air ini sangat penting, mengingat di Indonesia nilai KAK berada dalam kisaran 10% hingga 17% (Coto, 2005), dengan rata-rata KAK di Bogor sekitar 15% (Harijadi, 2009).

Berat jenis (*specific gravity*) kayu dijelaskan sebagai rasio massa suatu volume kayu terhadap massa air dengan volume yang sama (Smulsky dan Jones, 2019). Berat jenis rata-rata kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus*) yang diperoleh adalah 0,55 sehingga masuk dalam kelas kuat (KK) III dengan nilai berat jenis berkisar antara 0,4-0,6 (Seng, 1990). Pentingnya pengukuran berat jenis kayu berkaitan langsung dengan penggunaannya dalam berbagai industri (Smulsky dan Jones, 2019; Pandit dan Ramdan 2002). Prawirohatmodjo (2012) menyatakan bahwa berat jenis adalah faktor penentu sifat fisika dan mekanika kayu. Oleh karena itu, berat jenis dapat digunakan dalam menentukan kesesuaian jenis kayu dengan penggunaannya. Kayu dengan berat jenis yang sesuai memiliki sifat mekanis yang baik dan ketahanan terhadap kerusakan. Pengujian BJ sangat penting untuk pemilihan kayu yang tepat berdasarkan karakteristik fisik yang memenuhi standar kualitas yang diperlukan di bidang konstruksi kayu.

Sifat Fisis Kayu Setelah Direndam di Laut

Hasil rata-rata perhitungan sifat fisis kayu berupa kadar air (KA) dan berat jenis (BJ) kayu setelah direndam di laut seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai rata-rata sifat fisis kayu Nangka setelah direndam di laut

Nilai (n=6)	Kadar air (%)	BJ
Rataan	12.58	0.55
Min	10.75	0.54
Max	13.98	0.61

Kadar air kondisi basah setelah direndam di laut meningkat yaitu 102,90% (5 cm di atas permukaan laut), 106,38% (10 cm di bawah permukaan laut) dan 115,42% (42 cm di bawah permukaan laut) sedangkan untuk kondisi kering udara, KA contoh uji yaitu 16,04% (5 cm di atas permukaan laut), 15,15% (10 cm di bawah permukaan laut) dan 16,76% (42 cm di bawah permukaan laut). Kadar air kondisi kering udara tersebut masuk dalam KA kesetimbangan (KAK) yang berarti kayu berada dalam keseimbangan dengan suhu dan kelembaban sekitarnya.

Nilai berat jenis kayu dalam kondisi basah yaitu 0.52 (5 cm di atas permukaan laut) dan 0.48 (10 cm dan 42 cm di bawah permukaan laut) sedangkan BJ kayu dalam kondisi kering udara sebesar 0.52 (5 cm di atas permukaan laut), 0.51 (10 cm di bawah permukaan laut) dan 0.50 (42 cm di bawah permukaan laut). Berat jenis kayu kondisi basah dan kering tidak berbeda jauh yang masuk dalam kelas kuat (KK) III berdasarkan Seng (1990).

Berat jenis kayu yang tidak direndam maupun yang telah direndam di laut dalam kondisi kering udara menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan, meskipun kayu tersebut telah terserang oleh organisme penggerek kayu di laut (*marine borers*). Hal ini mungkin dikarenakan oleh masuknya material asing dan juga *marine borers* yang sebagian besar berada di dalam kayu. Walaupun *marine borers* keluar dari kayu namun akan meninggalkan palet-palet dan serpihan kayu, serta produk metabolismenya yaitu seperti zat kapur yang melapisi lubang yang digerek. Selain itu, masuknya garam dan pasir ke dalam ruang-ruang yang dibentuk oleh *marine borers* ketika berada dalam fase larva juga yang dapat memengaruhi berat kering tanur (Bkt) dan berat kering udara (Bku) dari kayu yang direndam di laut. Oleh karena itu, massa kayu yang hilang akibat serangan *marine borers* sebanding dengan benda asing yang masuk ke dalam kayu sehingga mengakibatkan berat jenis (Bj) kayu yang direndam di laut tetap dalam keadaan stabil.

Sifat Mekanis Kayu Nangka (Tidak Direndam sebagai Kontrol dan Direndam di Laut)

Sifat mekanis berkaitan dengan kemampuan suatu bahan untuk memikul beban atau gaya yang mengenainya (Smulsky dan Jones, 2019). Sifat mekanika kayu mencakup keteguhan lengkung statis (MOE dan MOR), keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan tekan tegak lurus serat (Smulsky dan Jones, 2019). Kedua sifat mekanis tersebut (MOE dan MOR). Hasil perhitungan MOE dan MOR kayu nangka terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Sifat mekanis kayu Nangka yang tidak direndam (kontrol) dan direndam di laut

Sifat mekanis	Perlakuan	Rataan	Min	Max
MOE (kg/cm ²)	Kontrol	78021 ^b	76047	79994
	5 cm	47000 ^a	41729	52270
	10 cm	44836 ^a	37665	52006
	42 cm	40737 ^a	39606	41867
MOR (kg/cm ²)	Kontrol	1315 ^c	1300	1329
	5 cm	771 ^b	759	782
	10 cm	583 ^a	539	627
	42 cm	607 ^a	607	607

Ket.: Perbedaan huruf menandakan perbedaan nilai yang signifikan pada tingkat kepercayaan 95%

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai MOE kayu menurun setelah direndam di laut. Nilai rata-rata MOE kayu yang tidak direndam sebesar 78021 kg/cm² sedangkan setelah direndam di laut menurun sebesar 47000 kg/cm² pada kayu yang berada 5 cm di atas permukaan laut, 44836 kg/cm² pada kedalaman kayu 10 cm di bawah permukaan laut dan 40737 kg/cm² pada kedalaman kayu 42 cm di bawah permukaan laut. Hasil analisis statistik nilai MOE di atas menunjukkan bahwa kayu yang tidak direndam dan setelah direndam di laut berpengaruh nyata terhadap kekakuan lentur (MOE) kayu pada taraf kepercayaan 95% dan uji lanjutan Duncan menunjukkan bahwa kedalaman kayu yang direndam di laut tidak berpengaruh nyata terhadap MOE kayu tetapi berpengaruh nyata terhadap kayu yang tidak direndam di laut (kontrol).

Kekakuan lentur (MOE) kayu nangka menurun setelah direndam dilaut yang disebabkan oleh serangan *marine borers* sehingga mengakibatkan kerusakan pada kayu. Serangan *marine borers* pada kayu dapat mengakibatkan kerusakan yang parah (Borges, 2014) dalam jangka waktu yang relatif singkat

dan luas (Williams *et al.*, 2018; Cohen dan Carlton, 1995; Turner, 1966). Organisme ini secara berkelanjutan memperluas terowongan di dalam kayu, dengan ukuran saluran yang menyesuaikan pertumbuhan tubuhnya (Borges, 2014; Muslich & Sumarni, 1988). Selain itu, Wurzinger *et al.* (2014) menyatakan bahwa Teredinidae menghasilkan kerusakan pada struktur kayu yang terendam dengan kerugian lebih dari satu miliar dolar setiap tahunnya. *Marine borers* mengkonsumsi kayu dalam jumlah yang besar (Sabbadin *et al.*, 2018).

Nilai MOR kayu yang tidak direndam tercatat sebesar 1315 kg/cm², sementara setelah direndam mengalami penurunan, yakni menjadi 771 kg/cm² pada posisi 5 cm di atas permukaan laut, 583 kg/cm² pada kedalaman 10 cm di bawah permukaan laut, dan 607 kg/cm² pada kedalaman 42 cm di bawah permukaan laut. Analisis statistik menunjukkan bahwa perendaman di laut berpengaruh signifikan terhadap keteguhan patah (MOR) kayu pada tingkat kepercayaan 95%. Uji lanjutan Duncan mengindikasikan bahwa kedalaman 10 cm dan 42 cm tidak menunjukkan perbedaan signifikan satu sama lain, namun keduanya berbeda nyata jika dibandingkan dengan kayu pada posisi 5 cm di atas permukaan laut serta kayu kontrol yang tidak direndam. Nilai MOR setelah perendaman di laut dikategorikan ke dalam kelas kuat III atau kelas kekuatan sedang menurut SNI 03-3527-1994. Penurunan signifikan pada nilai MOR ini diduga disebabkan oleh kerusakan akibat serangan organisme penggerek laut (*marine borers*). Keteguhan patah pada kedalaman 10 cm lebih rendah dibandingkan sampel pada kedalaman 42 cm, kemungkinan karena intensitas serangan penggerek lebih terfokus di bagian tengah kayu (Gambar 2). Sebaliknya, kayu yang berada 5 cm di atas permukaan laut memiliki nilai MOR lebih tinggi, diduga karena tingkat serangan *marine borers* yang lebih ringan.

Intensitas Serangan Marine Borers pada Kayu Nangka di Laut

Tingkat serangan *marine borers* bervariasi pada setiap kedalaman kayu yang direndam, seperti yang terlihat pada Tabel 7. Jumlah lubang pada kayu akibat serangan *marine borers* adalah 132 lubang, 346 lubang dan 367 lubang masing-masing pada kayu yang berada 5 cm di atas permukaan laut, pada kedalaman kayu 10 cm dan 42 cm di bawah permukaan laut dengan

diameter rata-rata antara 0.01-0.5 cm (Gambar 2). Bentuk serangan Teredinidae berupa lubang memanjang sedangkan Pholadidae membentuk lubang melingkar seperti pada Gambar 3. Rataan intensitas serangan adalah 2.88%, 7.25%, dan 7.75% masing-masing pada kayu yang berada 5 cm di atas permukaan laut, pada kedalaman kayu 10 cm dan 42 cm di bawah permukaan laut

(Tabel 7). Kayu yang direndam di laut selama 3 bulan tergolong sangat tahan hingga tahan terhadap serangan *marine borers* berdasarkan kriteria SNI 01-7207-2006. Meskipun standar pengujian lapangan menurut SNI tersebut dilakukan selama enam bulan, namun dalam penelitian ini perendaman hanya dilakukan selama tiga bulan.

Tabel 7. Intensitas serangan *marine borers* kayu Nangka (*Artocarpus heterophyllus*)

Kedalaman	Ulangan	Σ lubang	Intensitas serangan		IS (%)
			Teredinidae	Pholadidae	
5 cm	1	25	+++	+++	4
	2	15	+	+	3
	3	21	++	+++	4
	4	10	++	++	2
	5	14	+	+	2
	6	18	+	+	3
	7	17	+	+	3
	8	12	++	+	2
Jumlah		132		Rataan	2.75
10 cm	1	50	+	+++	8
	2	45	+	+++	8
	3	44	++	++	7
	4	42	-	+	7
	5	39	+	+	7
	6	40	+++	+++	7
	7	44	+++	+++	7
	8	42	++	++	7
Jumlah		346		Rataan	7.25
42 cm	1	46	++	+++	8
	2	43	+	++	7
	3	52	++	+++	9
	4	51	+++	+++	9
	5	44	+	++	7
	6	50	-	+	8
	7	41	-	+	7
	8	40	++	+++	7
Jumlah		367		Rataan	7.63

Keterangan: (-) tidak ada serangan, (+) serangan sedikit, (++) serangan sedang, dan (+++) serangan banyak

Nugroho (2007) melakukan perendaman selama tiga bulan di perairan Pulau Rambut pada bagian pangkal, tengah, dan ujung kayu untuk empat jenis kayu yaitu rasamala (*Altingia excelsa* Noronha), nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lamk), karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg), dan batang kelapa (*Cocos nucifera* Linnaeus). Dibandingkan keempat jenis tersebut, tingkat serangan pada kayu nangka diklasifikasikan sebagai sangat tahan.

Hasil analisis statistik mengungkapkan bahwa kedalaman memiliki pengaruh signifikan terhadap intensitas serangan *marine borers*. Uji lanjutan Duncan menunjukkan bahwa kayu pada kedalaman 10 cm dan 42 cm di bawah permukaan laut memiliki nilai intensitas

serangan (IS) yang tidak berbeda secara signifikan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kondisi kedalaman tersebut yang sesuai dengan habitat *marine borers*, sehingga organisme tersebut dapat berkembang dengan baik, ditambah tersedianya sumber makanan seperti alga yang meningkatkan jumlah serangan. Sebaliknya, kayu yang berada 5 cm di atas permukaan laut menunjukkan nilai IS yang lebih rendah secara signifikan, kemungkinan karena paparan langsung sinar matahari, serta pengaruh ombak, arus, dan gelombang di permukaan laut yang menghambat *marine borers* menempel dan masuk ke dalam kayu

Hasil identifikasi menunjukkan mayoritas *marine bores* berasal dari famili Pholadidae,

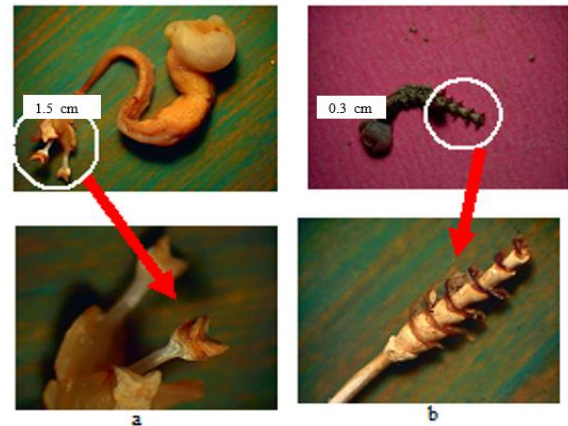
sedangkan sisanya berasal dari famili Teredinidae, yang ditandai dengan adanya palet dan lubang gerakan pada sampel. Temuan ini konsisten dengan laporan sebelumnya bahwa serangan *marine bores* pada kayu berasal dari kelompok moluska (*Teredo* spp.) dan krustacea (*Limnoria* spp.) (El-Awady & El-Awady, 2003; Tuaputty, 2016; Borges, 2014).

Hasil pengamatan menunjukkan perkembangan Teredinidae lebih lambat, ini dapat menjadi indikasi bahwa kayu nangka memiliki zat ekstraktif yang kurang disukai sehingga mampu menghambat proses penyerangan terhadap kayu. Hasil penelitian Habibi *et al.* (2005) menyatakan bahwa kayu keawetan alami kayu nangka terhadap rayap lebih tinggi daripada kayu Jati. Keawetan kayu dipengaruhi oleh zat ekstraktif yang ada di dalam kayu yang bersifat toksik sehingga organisme perusak kayu tidak dapat merusak kayu (Dumanaw, 1990). Hal yang sama juga disebutkan Borges *et al.* (2008) bahwa zat ekstraktif dalam kayu bersifat toksik tidak disukai oleh organisme penggerek laut. Oleh karena itu kandungan zat ekstraktif dalam kayu dapat membantu mengurangi serangan organisme perusak dan berperan dalam meningkatkan ketahanan kayu terhadap serangan organisme perusak kayu.

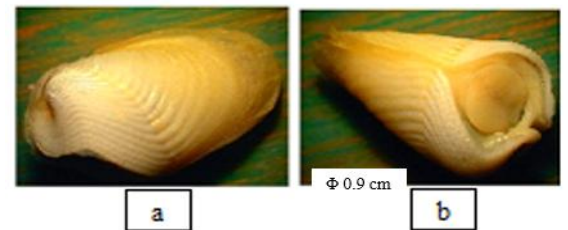
Teredinidae merusak kayu dengan cara mengonsumsinya sebagai sumber makanan, sementara Pholadidae hanya memanfaatkan kayu sebagai tempat tinggal tanpa memakannya. Dengan demikian, kayu yang tahan terhadap serangan Teredinidae belum tentu menunjukkan ketahanan yang sama terhadap serangan Pholadidae.

Organisme Penyerang Kayu (Marine Borers)

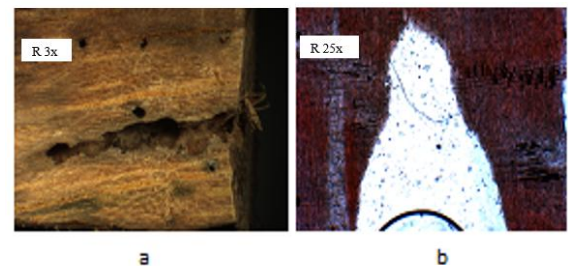
Hasil identifikasi *marine borers* yang menyerang kayu di laut menunjukkan bahwa organisme tersebut termasuk golongan Mollusca, yakni spesies *Bankia cieba* clench/turner dan *Teredo bartchi* clapp dari famili Teredinidae, serta *Martesia striata* Linnaeus dari famili Pholadidae. Pada Gambar 4 adalah *marine borers* dari famili Teredinidae dan bentuk paletnya, sementara itu Gambar 5 adalah *marine borers* dari famili Pholadidae. Temuan sebelumnya juga menyebutkan bahwa salah satu jenis *marine borers* yang menyerang kayu di laut antara lain Teredinidae (Knight *et al.*, 2019; Shalaeva, 2012; Camidge, 2009).



Gambar 4. *Marine borers* dari famili Teredinidae: a) *Teredo bartchi* Clapp dan Palet *Teredo bartchi*; b) *Bankia cieba* Clench/Turner dan palet *Bankia cieba* Clench/Turner.



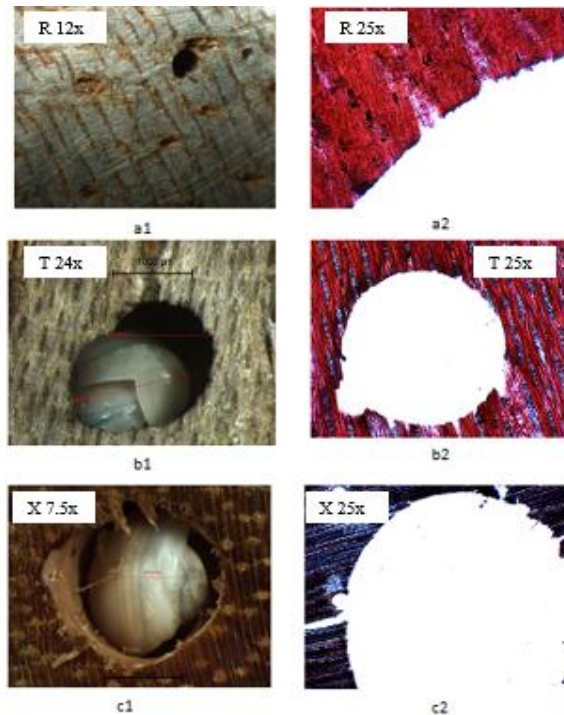
Gambar 5. *Marine borers* dari famili Pholadidae spesies *Martesia striata*: a) tampak dari atas dan b) tampak dari bawah.



Gambar 6. Bentuk serangan makro dan mikro famili Teredinidae pada penampang radial: a) makro (perbesaran 3x) dan b) mikro (perbesaran 25 x).

Serangan *marine bores* pada kayu dapat dibedakan dengan jelas. Teredinidae menyerang kayu dengan ciri munculnya noda-noda kecil di permukaan kayu, sementara di bagian dalam terdapat lubang memanjang yang awalnya tegak lurus serat kayu kemudian berbelok searah dengan serat, sesuai ukuran tubuhnya (Gambar 6). Sebaliknya, pola serangan Pholadidae ditandai dengan lubang berbentuk lingkaran yang dangkal di permukaan kayu, kemudian lubang tersebut semakin dalam hingga ke bagian dalam kayu dengan arah tegak lurus serat, dan

ukuran lubang disesuaikan dengan ukuran cangkuknya (Gambar 7).



Gambar 7. Bentuk serangan makro dan mikro famili Pholadidae: a1) Bentuk serangan makro pada penampang radial (perbesaran 12x); a2) Bentuk serangan mikro pada penampang radial (perbesaran 25x); b1) Bentuk serangan makro pada penampang tangensial (perbesaran 24x); b2) Bentuk serangan mikro pada penampang tangensial (perbesaran 25x); c1) Bentuk serangan makro pada penampang lintang (perbesaran 7.5x); dan c2) Bentuk serangan mikro pada penampang lintang (perbesaran 25x).

Pembahasan

Penelitian ini mengungkapkan bahwa kayu Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) memiliki daya tahan yang cukup baik terhadap serangan *marine borers* pada tiga macam kedalaman perendaman kayu yang dilakukan dengan tingkat intensitas serangan antara 2,75% hingga 7,63%. Penelitian ini mendukung dan memperkuat hasil penelitian Nugroho (2007) yang juga menyatakan bahwa kayu Nangka tergolong dalam kategori sangat tahan terhadap serangan organisme laut. Ketahanan ini berkaitan dengan kandungan zat ekstraktif pada kayu yang bersifat toksik yang tidak disukai oleh organisme penggerek laut seperti yang dikemukakan oleh Borges *et al.* (2008) dan Ohmura *et al.* (2000). Sifat fisis kayu Nangka

berupa berat jenis termasuk stabil meskipun mengalami perendaman laut selama tiga bulan. Hal ini menunjukkan adanya kemampuan adaptif kayu terhadap lingkungan laut. Berat jenis kayu Nangka dalam kondisi kering udara berada di rentang 0,50 hingga 0,52, yang masuk ke dalam kelas kekuatan III (Seng, 1990).

Penurunan signifikan pada nilai modulus elastisitas (MOE) dan modulus patah (MOR) setelah perendaman mengindikasikan bahwa serangan *marine borers* dapat menurunkan sifat mekanis kayu. Hal ini sejalan dengan temuan Cohen dan Carlton (1995) dan Distel *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa *marine borers* dapat merusak kayu dalam waktu yang relatif singkat. Namun, hal yang menarik adalah walaupun terjadi penurunan sifat mekanis namun kayu nangka tetap memenuhi kategori kayu tahan dan sangat tahan sesuai dengan klasifikasi SNI 01-7207-2006 untuk uji selama tiga bulan yang masuk dalam kekuatan sedang yaitu kelas kuat III. Hasil ini menunjukkan berpotensi kayu nangka sebagai kayu alternatif terutama menggantikan kayu hutan alam yang ketersediaannya semakin terbatas.

Dalam konteks keberlanjutan, hasil ini mendukung penggunaan sumber daya lokal, seperti kayu dari hutan rakyat sebagai alternatif ramah lingkungan dalam industri maritim. Hal ini penting untuk mengurangi tekanan eksploitasi terhadap hutan alam dan mendukung upaya konservasi serta pengembangan bahan bangunan berbasis hayati yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Kayu nangka (*A. heterophyllus*) dengan 1/6 bagian di atas permukaan laut (5 cm) dikategorikan sangat tahan terhadap *marine borers* dan contoh uji yang terendam seluruhnya pada kedalaman 10 cm dan 42 cm dari permukaan laut dikategorikan tahan terhadap *marine borers* selama tiga bulan kayu direndam di laut. Berat jenis rata-rata kayu nangka sebesar 0,55 yang masuk dalam KK III (sedang). Nilai sifat mekanis kayu MOE dan MOR berbeda nyata antara kayu kontrol dan kayu setelah direndam di laut, namun kedalaman perendaman kayu tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap nilai mekanis lenturnya. Perlu studi jangka panjang (6 bulan) untuk hasil lebih detail ketahanan kayu nangka di laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB University yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas sangat berharga dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih juga kepada seluruh pihak yang membantu pelaksanaan pengambilan data dan analisis data dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Appelqvist, C., Al-Hamdani, Z.K., Jonsson, P.R., & Havenhand, J.N. (2015). Climate envelope modeling and dispersal simulations show little risk of range extension of the shipworm, *Teredo navalis* (L.), in the Baltic Sea. *PLoS One*, 10 (3).
- [BS] British Standard Institution. (1957). *Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber BS 373:1957*. London (GB): British Standard House.
- Borges, L. (2014). Biodegradation of wood exposed in the marine environment: evaluation of the hazard posed by marine wood-borers in fifteen European sites. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 96, 97-104.
- Borges, L. M. S., Cragg, S. M., & Pitman, A. J. (2008). Laboratory screening of tropical hardwoods for natural resistance to the marine borer *Limnoria quadripunctata*: The role of leachable and non-leachable factors. *Holzforschung*. 62(1), 99-111.
- Camidge, K. (2009). HMS Colossus, an experimental site stabilization. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 11 (2), 161-188.
- Cohen, A. N., & Carlton, J. T. (1995). *Biological Study: Non-Indigenous Aquatic Species in a United States Estuary: A Case Study of the Biological Invasions of the San Francisco Bay and Delta*. University of California, National Technical Information Service, Springfield, VA, USA, Final Report.
- Coto, Z. (2005). Penurunan Kadar Air Keseimbangan dan Peningkatan Stabilitas Dimensi Kayu dengan Pemanasan dan Pengekangan. *J Ilmu & Teknologi Kayu Tropis*. 3(1)
- Dumanaw, J.F. (1990). *Mengenal Kayu*. Yogyakarta : Kanisius
- El-Awady, M. M., & N. I. El-Awady. (2003). Non-toxic preservatives for wooden objects in sea water. I. Styrene monomer polymerised using gamma irradiation. *Plastics Rubber and Composites Macromolecular Engineering*, 32(8-9), 334-339
- Gregory, D., Jensen, P., & Straekvern, K. (2012). Conservation and in situ preservation of wooden shipwrecks from marine environments. *J. Cult. Herit.* 13 (3), 114-139.
- Harijadi, A. R. (2009). Kadar air titik jenuh serat beberapa jenis kayu perdagangan Indonesia. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor].
- Knight, K. Y., Thomas, A. C, & David, P. (2019). A comparison of biodegradation caused by *Teredinidae* (Mollusca:Bivalvia), *Limnoriidae* (Crustacea:Isopoda), and *C. terebans* (Crustacea:Amphipoda) across 4 shipwreck sites in the English Channel. *Journal of Archaeological Science Reports*, 854-867.
- Listiyono, Y., Prakoso, L.Y., & Sianturi, D. (2022). Strategi pertahanan laut dalam pengamanan alur laut kepulauan Indonesia untuk mewujudkan keamanan maritim dan mempertahankan kedaulatan Indonesia. *Jurnal Education and development*, 10(2)
- Manders, M. (2017). Threats to underwater cultural heritage. In *Preserving a layered history of the Western Wadden Sea, managing an underwater cultural heritage resource* (pp. 68, 72, 83). Cultural Heritage Agency of the Netherlands.
- Martawijaya, Kartasujana, Kadir, Prawira, S. A. (1981). *Atlas Kayu Indonesia*. Departemen Kehutanan Badan Penelitian dan Pengembangan Hutan.
- Muslich, M., & Sumarni, G. (2008). Kelas awet 25 jenis kayu andalan setempat Jawa Barat dan Jawa Timur terhadap penggerek kayu di laut. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan Bogor*, 26(1): 70-80.
- Muslich, M., & Hadjib. (2008). The Possibility of Using Timber from Plantation Forest Treated with Plastic and CCB for Marine Construction. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 5 (1): 65-73.
- Paalvast, P., & Van der Velde, G. (2011). Distribution settlement and growth of first year individuals of the shipworm *Teredo navalis* L. (Bivalvia: Teredinidae) in the

- port of Rotterdam, the Netherlands. *International Biodeterior. Biodegrad.* 65, 379–388.
- Pandit, I. K. N., & Ramdan, H. (2002). Anatomi kayu: pengantar sifat kayu sebagai bahan bangunan. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.
- Sabbadin, F., Pesante, G., Elias, L., Besser, K., Li, Y., Steele-King, C., Stark, M., Rathbone, D. A., Dowle, A. A., Bates, R., Shipway, J. R., Cragg, S. M., Bruce, N. C., & McQueen-Mason, S. J. (2018). Uncovering the molecular mechanisms of lignocellulose digestion in shipworms. *Biotechnology for Biofuels*, 11, 59.
- Seng, O. D. (1990). *Berat Jenis Dari Jenis-Jenis Kayu Indonesia dan Pengertian Beratnya Kayu untuk Keperluan Praktek*. Departemen Kehutanan.
- Shalaeva, E. (2012). *Limnoria lignorum*. CABI Invasive Species Compendium.
- Shmulsky, R., & Jones, P. D. (2019). *Forest products and wood science: An introduction* (7th ed.). Wiley-Blackwell.
- Subagiyo, S., Margino, S., Triyanto, T., & Setyati, W. (2015). Effects of pH, temperature and salinity in growth and organic acid production of lactic acid bacteria isolated from penaeid shrimp intestine. *Ilmu Kelautan Indonesian Journal of Marine Sciences*. 20(4), 187.
- Standar Nasional Indonesia. (2006). *Pengujian ketahanan terhadap penggerek kayu di laut: SNI 01-7207.2-2006*. Badan Standarisasi Nasional.
- Tuaputty. (2016). Cementation Analysis of Algae and Marine Borer Invertebrates on Boat Wood in Ambon Coastal Water of Ambon-Indonesia. *International Journal of Science and Research (IJSR)*.
- Turner, R. D. (1966). *A survey and illustrated catalogue of the Tereidinidae*. Harvard University.
- Turner, R. D. (1971). *Identification of marine wood-boring mollusks, marine borers, fungi and fouling organisms of wood*. Organisation for Economic Cooperation and Development.
- Verheij, E. W. M., & Coronel, R. E. (1997). *Plant resources of South-East Asia (PROSEA)*. Backhuys Publishers.
- Wurzinger, M. A., Shipway, R., Kristof, A., Scwaha, T., Cragg, S., & Wanninger, A. (2014). Developmental dynamics of myogenesis in the shipworm *Lyrodus pedicellatus* (Mollusca: Bivalvia). *Frontiers in Zoology*, 11, 90.