



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisis Potensi Kekuatan Dan Kelenturan Dari Komposit Polimer Berbahan Serat Rami Dan Serat Serabut Kelapa Sebagai Bahan Alternatif Konstruksi Kapal *Fiberglass*

Okto Venesa Simatupang<sup>1\*)</sup>, Parlindungan Manik<sup>2)</sup>, Ari Wibawa Santosa<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*)</sup>e-mail: [simatupangokto@students.undip.ac.id](mailto:simatupangokto@students.undip.ac.id)

### Abstrak

Menurunnya pasokan kayu akibat permintaan yang tinggi, siklus hidup, serta bencana alam dan penebangan liar, mendorong perlunya inovasi bahan alternatif dikarenakan kebutuhan akan transportasi laut yang terus meningkat. Oleh karena itu diperlukan bahan alternatif yang kuat, ekonomis, dan ramah lingkungan seperti serat alam. Material komposit berbasis serat alam menjadi solusi potensial karena keunggulannya yang ringan, eco-friendly, dan murah. Penelitian ini menganalisis potensi kekuatan dan kelenturan komposit polimer berbahan serat rami dan serabut kelapa sebagai alternatif konstruksi kapal fiber dengan variasi persentase berat matriks epoxy dan filler serat rami serta serabut kelapa, yaitu 40% resin 60% serat, 50% resin 50% serat, dan 60% resin 40% serat. Spesimen dengan variasi tersebut akan dilakukan uji tarik dan bending untuk menentukan sifat mekanis terbaik. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa komposit laminasi serat rami dan serabut kelapa memiliki rata-rata kuat tarik terbesar yaitu 130,33 MPa, serta kuat bending sebesar 222,69 MPa. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengurangi penggunaan kayu serta memanfaatkan serat alam sebagai material alternatif dalam industri kapal fiber. Mengacu pada standar BKI, komposit polimer berbahan serat rami dan serabut kelapa memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh BKI sebagai salah satu material penyusun kapal fiberglass.

Kata kunci: Polimer, Serat Serabut Kelapa, Serat Rami, Kuat Tarik, Kuat Tekuk

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia yang dikenal sebagai sebuah negara maritim dengan perbandingan luas wilayah perairan yang lebih luas dari wilayah daratannya juga memiliki ribuan pulau yang menjadikan Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia [1]. Kondisi dari topografi wilayah Indonesia berdampak pada aktivitas dari sebagian masyarakat Indonesia yang berkegiatan dengan berpusat kepada aktivitas di lautan ataupun aktivitas yang berhubungan dengan laut. Dalam menunjang berbagai aktivitas tersebut, masyarakat Indonesia menggunakan perahu atau kapal kayu sebagai sarana transportasi. Mulai dari kapal untuk perpindahan orang hingga kapal sebagai alat untuk perpindahan barang terkhususnya kapal kayu.

Kapal kayu yang digunakan masyarakat di

perairan Indonesia juga menjadi sangat beragam baik dalam teknik-teknik pembuatan dan juga bahan bakunya. Hal ini dipengaruhi oleh kebiasaan atau kebudayaan dimasing-masing wilayah, jenis aktivitas yang akan dilakukan, serta jenis bahan alam yang tersedia di wilayah tersebut, seperti Meranti, Ulin, Jati, dan Cengal. Dengan keragaman tersebut, banyak hasil alam yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kapal. Namun, kekayaan alam ini tidak terlepas dari risiko bencana alam, terutama kebakaran hutan seperti halnya yang terjadi di hutan Sumatera dan Kalimantan [2]. Permintaan yang tinggi, siklus hidup, bencana alam hingga penebangan liar mengakibatkan kurangnya pasokan kayu untuk memenuhi kebutuhan industri yang melibatkan kayu sebagai bahan utamanya. Oleh karena itu, perlu adanya inovasi dalam pengembangan sebuah material yang bisa

menggantikan kayu sebagai bahan utama dimana material komposit berbahan alami seperti serat. Penggunaan material komposit ini dapat membantu mengurangi limbah dan meningkatkan kualitas kapal yang dibuat.

Dalam dunia komposit, penggunaan serat sendiri sudah sangat umum. Mulai dari serat alam seperti bambu, rami dan juga serabut kelapa hingga serat sintesis Komposit yang terbuat dari serat alam sendiri memiliki keuntungan yaitu lebih ringan, ramah lingkungan dan juga lebih murah [3]. Lain halnya dengan serat sintesis yang bisa diperoleh dengan mudah dan lebih murah, namun serat sintesis memiliki dampak yang lebih besar pada lingkungan mengingat serat sintesis diperoleh dari bahan alam minyak bumi yang termasuk sumber daya tidak terbarukan.

Studi sebelumnya dalam penelitian tentang Karakteristik Mekanik Komposit Lamina Serat Rami Epoksi Sebagai Bahan Alternatif Soket Prostesis, serat rami menjadi salah satu bahan alternatif dalam pembuatan komposit dikarenakan serat rami merupakan salah satu serat yang berlimpah di Indonesia namun belum termanfaatkan secara baik. Dari penelitian tersebut, diperoleh kemampuan mekanis komposit polimer serat rami dengan kuat tekan sebesar 90,7 Mpa dan kuat tekan sebesar 128,3 MPa. Serat rami juga merupakan serat dengan kemampuan mekanis yang tinggi, dengan kekuatan tariknya sebesar 120-220 Mpa[4]. Penggunaan serat rami juga menjadi pilihan yang baik yang dimana mengikuti tren dunia dalam menggunakan sumberdaya terbarukan dan *Biodegradable* [3].

Disebutkan pada Pengaruh Variasi Arah Susunan Serat Sabut Kelapa Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Sabut Kelapa disebutkan bahwa dalam pembuatan komposit berbahan dasar serat alam, terdapat sebuah variabel penentu yang cukup mempengaruhi hasil pengujian yaitu arah susunan serat, dimana arah susunan serat sejajar yaitu sebesar 0° memberikan nilai kuat tarik tertinggi [5]. Sementara untuk kuat tekan atau kuat lentur sendiri tertinggi pada arah anyaman atau sebesar 45° [6]. Serat serabut kelapa juga memiliki potensi yang baik karena sifat mekanisnya dimana hasil uji tariknya yang cukup tinggi yaitu sebesar 58 MPa [7]. Dengan luasnya populasi tanaman kelapa, mampu menghasilkan serat yang melimpah, sejumlah 1.172.200 ton, hampir setengah dari produksi serat serabut kelapa dikawasan Asia Pasifik [8].

Selain variasi arah susunan dari serat

penyusun, terdapat juga variabel lain yaitu perlakuan terhadap serat berupa perendaman serat dengan menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Pada penelitian tentang Analisa Pengaruh Komposisi Serat Sabut Kelapa Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Serat Sabut Kelapa diperoleh kesimpulan bahwa komposit serat serabut kelapa memberikan sifat mekanis terbaik dengan perlakuan perendaman NaOH dengan konsentrasi sebesar 5% selama 2 jam dan komposisi serat serabut kelapa sebesar 20% [9]. Hal serupa juga diperoleh pada penelitian Pengaruh Konsentrasi Larutan Natrium Hidroksida Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Serat Sabut Kelapa dimana konsentrasi NaOH sebesar 5% memberikan hasil pengujian dengan modulus elastis terbaik [10].

Berdasarkan pada penelitian-penelitian sebelumnya, timbul permasalahan dengan latar belakang untuk mengetahui sifat teknis dan ekonomis dari komposit serat Rami dan serat serabut Kelapa sebagai bahan alternatif dalam konstruksi kapal kayu. Variasi daripada serat Rami dan serabut kelapa akan disusun berdasarkan persentase penggunaan bahan dan kemudian akan diuji untuk melihat sifat mekanis dari laminasi tersebut. Oleh karena itu akan dilakukan penelitian mengenai “Analisis Potensi Kekuatan Dan Kelenturan Dari Komposit Polimer Berbahan Serat Rami Dan Serat Serabut Kelapa Sebagai Bahan Alternatif Konstruksi Kapal *Fiberglass*” dengan tujuan untuk mengetahui berat jenis, kuat tarik dan tekan serta harga produksi dari komposit polimer tersebut guna mengetahui manfaat dalam konstruksi kapal fiber.

## 2. METODE

### 2.1 Alkali (NaOH)

Alkali memiliki kemampuan dalam mereduksi kandungan optimum air dari sebuah serat alam melalui perendaman sehingga serat dapat memberikan ikatan *interfacial* dengan matriks secara optimal. Serat alam yang berasal dari tumbuhan memiliki kotoran dan lignin. Oleh karena itu perendaman dengan larutan alkali dapat membersihkan kotoran sekaligus mengurangi kadar lignin. Lignin menghasilkan sifat alami pada serat yang disebut *Hydrophilic* yaitu sebuah sifat yang menjadikan serat suka terhadap air [11]. Dengan berkurangnya kadar lignin, sifat alami serat dalam menyerap air akan

berkurang dan membantu meningkatkan ikatan *interfacial* dengan matriks saat pembuatan material komposit.

## 2.2 Serat Rami

Tanaman Rami (*Boehmeria nivea*) merupakan sebuah tanaman penghasil serat yang cukup baik dengan populasi yang cukup tinggi di Indonesia. Tumbuh hingga 1-2,5 m, dengan daun berbentuk hati dan bagian bawah berwarna putih. Rami memiliki kristalinitas molekul tinggi yang menghasilkan kekuatan yang cukup tinggi. Dengan produksi rata-rata sekitar 2000 ton/tahun [12], serta kekuatan mekanis yang cukup baik yaitu dengan kekuatan tarik sebesar 140-220 Mpa [4], membuatnya menjadi salah satu serat yang digunakan dalam berbagai industri.



Gambar 1. Serat Rami

## 2.3 Serat Serabut Kelapa

Serat serabut kelapa merupakan sebuah serat alami yang berasal dari tanaman Pohon Kelapa (*Cocos Nucifera*) seperti pada gambar. Pohon Kelapa sendiri biasa tumbuh mencapai tinggi rata-rata 15-30 m. Sebagai sebuah tanaman yang memiliki habitat alami di wilayah tropis dan subtropis, kelapa tumbuh dengan subur di hampir seluruh wilayah Indonesia, khususnya daerah pesisir pantai, tanah berpasir dengan paparan sinar matahari yang cukup. Dengan kekuatan mekanis yang baik yaitu kuat tarik sebesar 90-120 Mpa [4], dan memiliki manfaat yang sangat luas, kelapa sangat bermanfaat bagi industri pangan dan juga konstruksi.



Gambar 2. Serat Serabut Kelapa

## 2.4 Resin Epoxy

Resin *epoxy* sebagai salah satu perekat yang sering digunakan sebagai penyusun komposit, merupakan jenis perekat yang bersifat *thermosetting*. Perekat ini digunakan karena berbagai keunggulannya, di antaranya massa jenis yang relatif rendah dan kuat tarik yang cukup tinggi. *Epoxy* juga sering digunakan sebagai dempul untuk menutup suatu material yang rusak atau berlubang. Dengan ketahanan terhadap minyak, bahan kimia, asam dan alkali, serta sifat *waterproof* menjadikan *epoxy* memiliki penggunaan yang sangat luas.



Gambar 3. Resin Epoxy

## 2.5 Prosedur Pembuatan

Pembuatan spesimen menggunakan standar yang ditetapkan oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*) dengan spesimen uji tarik berstandar ASTM D-3039 dan uji *bending* berstandar ASTM D-7264. Dengan mempersiapkan bahan yaitu resin epoxy, serat rami, dan serat serabut kelapa, pada masing-masing serat akan direndam terlebih dahulu dalam larutan NaOH, kemudian dilakukan proses pengeringan untuk mendapatkan kadar air yang diinginkan. Selanjutnya cetakan dibuat dengan bahan duplex sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Pada proses pencetakan, mula-mula setiap bahan akan ditimbang beratnya sesuai dengan komposisi variasi yang telah ditentukan. Setelah ditimbang, berikutnya dilakukan proses pencetakan dengan menyusun serat kedalam cetakan, lalu menuangkan resin epoxy kedalam cetakan dan akan dilakukan penekanan agar resin memenuhi seluruh ruang yang ada untuk menghindari adanya *void* pada spesimen. Setelah itu spesimen didiamkan sampai kering. Setelah spesimen mengering, terakhir dilakukan proses *finishing* menggunakan amplas untuk menghaluskan bagian permukaan yang tidak rata.



Gambar 4. Alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen

## 2.6 Lokasi Pengujian

Pembuatan spesimen komposit polimer berbahan serat rami dan serat serabut kelapa dilakukan di PT. Ibamboo Nusantara, Bondowoso, Jawa Timur. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* (UTM) di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Departemen S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.

## 2.7 Parameter Pengujian

### 2.7.1 Parameter Tetap

#### a. Uji Tarik

Standar pengujian tarik tegak lurus yang digunakan pada penelitian ini adalah ASTM D-3039 dengan ukuran spesimen 250 mm x 25 mm x 10 mm [13]. Pengujian Tarik dilakukan untuk mengetahui besaran dari nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus young material [14]. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* (UTM).



Gambar 5. Pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine*



Gambar 6. Spesimen uji tarik setelah pengujian

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat berikut dari material.

#### 1. Tegangan Tarik Maksimum ( $\sigma$ )

Tegangan maksimum yang bisa ditanggung material sebelum terjadinya patahan (*fracture*). Dari pengujian tarik didapatkan sifat-sifat sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Dimana  $\sigma$  adalah tegangan proporsional (MPa), P adalah beban maksimum (N), dan  $A_0$  adalah luas penampang mula-mula ( $\text{mm}^2$ ).

#### 2. Regangan Maksimum ( $e$ )

Regangan maksimum menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material sesudah terjadi perpatahan terhadap panjang awalnya.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana  $\Delta L$  adalah selisih panjang sesudah patah dan panjang mula-mula (mm),  $L_0$  adalah panjang mula-mula (mm), dan  $\varepsilon$  adalah regangan (%).

#### 3. Modulus Elastisitas (E)

Ukuran kekakuan suatu material dalam grafik tegangan-regangan. Modulus elastisitas dapat dihitung berdasarkan kemiringan garis elastik yang linier.

$$E = \frac{\sigma}{c} \quad (3)$$

Dimana E adalah modulus elastisitas ( $\text{N/mm}^2$ ).

b. Uji *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan untuk menentukan nilai kekuatan dan kekenyalan akibat pembebanan suatu material. Pengujian *bending* dilakukan dengan mesin *Universal Testing Machine* (UTM). Spesimen diletakkan dibagian tumpuan yang berada pada mesin uji, kemudian diberikan pembebanan pada bagian tengah spesimen tersebut. Standar pengujian *bending* yang digunakan pada penelitian ini adalah ASTM D-7264 dengan ukuran spesimen 130 mm x 13 mm x 10 mm [15].



Gambar 7. Spesimen uji *bending* setelah pengujian

Dari pengujian *bending* didapatkan sifat berikut.

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2} \tag{4}$$

Dimana  $\sigma$  adalah kuat tekuk (MPa), F adalah beban maksimum (N), L adalah panjang tumpuan (mm), b adalah lebar spesimen (mm), dan d adalah tebal spesimen (mm).

**2.7.2 Parameter Perubah**

Parameter perubah dalam penelitian ini adalah perbandingan presentase volume antara resin epoxy (E), serat rami (R), dan serat serabut kelapa (K).

- 40% Resin epoxy, 40% serat rami, dan 20% serat serabut kelapa dengan kode spesimen E4R4K2.
- 50% Resin epoxy, 30% serat rami, dan 20% serat serabut kelapa dengan kode spesimen E5R3K2.
- 60% Resin epoxy, 20% serat rami, dan 20% serat serabut kelapa dengan kode spesimen E6R2K2.
- 40% Resin epoxy, 20% serat rami, dan 40% serat serabut kelapa dengan kode spesimen E4R2K4.

- 50% Resin epoxy, 20% serat rami, dan 30% serat serabut kelapa dengan kode spesimen E5R2K3.

Tabel 1. Spesifikasi Spesimen Pengujian

Kode Spesimen	Persentase Berat		
	Resin	Serat	
		Rami	Sabut Kelapa
E4R4K2	40%	40%	20%
E5R3K2	50%	30%	20%
E6R2K2	60%	20%	20%
E4R2K4	40%	20%	40%
E5R2K3	50%	20%	30%

**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1 Uji Tarik**

Spesimen uji tarik dinamakan sesuai dengan variasi komposisi bahan penyusun yang digunakan. Pada pengujian terdapat 5 variasi dengan 3 kali pengulangan. Hasil pengujian tegangan tarik dapat dilihat pada tabel.

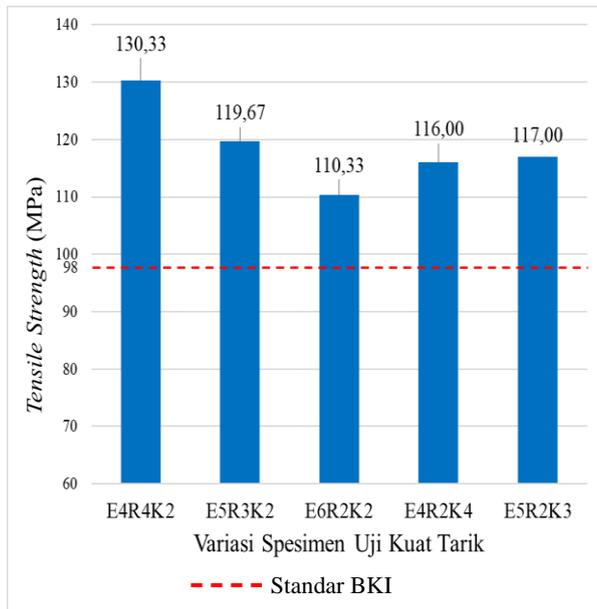
**3.1.1. Tegangan Tarik**

Tabel 2. Hasil pengujian tegangan tarik

Variasi	No	Ao (mm)	P Max (kN)	$\sigma$ Max	$\sigma$ Rata-rata (MPa)
E4R4K2	1	250	20,30	129	130,33
	2	250	22,14	130	
	3	250	21,12	132	
E5R3K2	1	250	23,58	115	119,67
	2	250	25,22	123	
	3	250	24,81	121	
E6R2K2	1	250	23,17	113	110,33
	2	250	24,19	118	
	3	250	22,43	100	
E4R2K4	1	250	23,37	114	116,00
	2	250	24,81	121	
	3	250	24,81	113	
E5R2K3	1	250	27,75	111	117,00
	2	250	30,75	123	
	3	250	29,25	117	

Hasil pengujian tarik yang terlampir pada tabel 1 menunjukkan bahwa spesimen komposit dengan variasi resin 40%, serat rami 40%, dan serat serabut kelapa 20% (E4R4K2) memiliki

kuat tarik rata-rata tertinggi dengan nilai 130,33 MPa, sementara spesimen dengan variasi resin 60%, rami 20%, dan kelapa 20% menjadi varian dengan kuat tarik rata-rata terendah yaitu 110,33 MPa. Seluruh varian uji menunjukkan hasil yang memenuhi standar minimum yang telah ditetapkan oleh BKI yaitu sebesar 98 MPa.



Gambar 8. Grafik Rata-Rata Nilai Tegangan Tarik Spesimen Komposit Polimer Serat Rami & Serabut Kelapa

Grafik pada gambar 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi resin epoxy pada spesimen, semakin rendah kekuatannya dimana pada grafik menunjukkan titik terendah berada ditengah (E6R2K2).

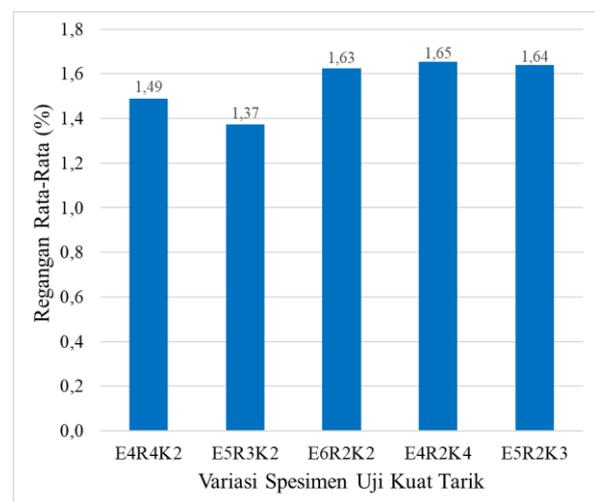
Penelitian sebelumnya, dimana hanya digunakan serat serabut kelapa sebagai bahan penyusun komposit, diketahui bahwa komposit dengan variabel terbaik memperoleh kuat tarik tertinggi sebesar 55,5 MPa dengan galat perhitungan  $\pm 2,68$  MPa [16]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peran serat rami dalam pembuatan komposit meningkatkan kekuatan tarik yang cukup besar dengan meningkatkan kekuatan tarik sekitar 92,98%-128,66% dari material komposit yang hanya menggunakan serat serabut kelapa sebagai bahan penyusunnya.

### 3.1.2. Regangan Tarik

Tabel 3. Hasil pengujian regangan tarik

Variasi	No	$\Delta L$ (mm)	Rata-rata $\Delta L$	Regangan $\epsilon$ (%)	$\epsilon$ Rata-rata (%)
E4R4K2	1	4,03	3,72	1,61	1,49
	2	4,03		1,61	
	3	3,1		1,24	
E5R3K2	1	3,06	3,44	1,22	1,37
	2	4,1		1,64	
	3	3,15		1,26	
E6R2K2	1	4	4,06	1,60	1,63
	2	4,1		1,64	
	3	4,09		1,64	
E4R2K4	1	4,05	4,13	1,62	1,65
	2	4,15		1,66	
	3	4,2		1,68	
E5R2K3	1	4,1	4,10	1,64	1,64
	2	4,2		1,68	
	3	4		1,60	

Hasil pengujian regangan tarik yang terlampir pada tabel 2 menunjukkan bahwa spesimen komposit dengan variasi E6R2K2 memiliki regangan tarik rata-rata terbesar dengan nilai 1,60% bersamaan dengan 2 varian lainnya yaitu E4R2K4 dan E5R2K3. Sementara spesimen dengan variasi E5R3K2 menjadi varian dengan regangan tarik rata-rata terendah yaitu 1,37%.



Gambar 9. Grafik Rata-Rata Nilai Regangan Tarik Spesimen Komposit Polimer Serat Rami & Serabut Kelapa

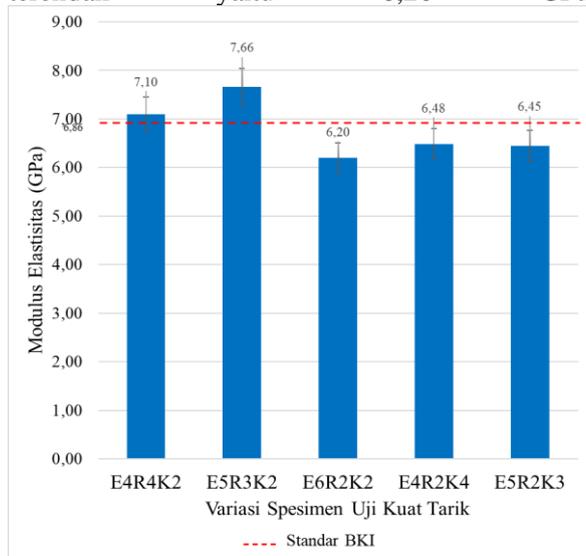
Grafik pada gambar 9 menunjukkan bahwa dari nilai regangan rata-rata yang berkisar antara 1,37% hingga 1,65%, menunjukkan adanya variasi regangan antar spesimen, namun perbedaannya tidak terlalu besar. Dengan varian E5R3K2 yang memiliki nilai regangan tarik terendah, yaitu 1,33%, yang berarti spesimen ini memiliki elastisitas paling rendah dan cenderung lebih cepat mengalami deformasi saat menerima beban tarik.

### 3.1.3. Modulus Elastisitas

Tabel 4. Modulus Elastisitas

Variasi	No	$\sigma$ Yield	Regangan $\epsilon$ (%)	E (GPa)	E Rata-rata (GPa)
E4R4K2	1	106,62	1,612	6,61	7,10
	2	102,26	1,612	6,34	
	3	103,49	1,24	8,35	
E5R3K2	1	107,18	1,224	8,76	7,66
	2	102,59	1,64	6,26	
	3	100,24	1,26	7,96	
E6R2K2	1	103,03	1,6	6,44	6,20
	2	99,14	1,64	6,05	
	3	99,90	1,636	6,11	
E4R2K4	1	104,27	1,62	6,44	6,48
	2	109,65	1,66	6,61	
	3	107,63	1,68	6,41	
E5R2K3	1	107,18	1,64	6,54	6,45
	2	105,84	1,68	6,30	
	3	104,16	1,6	6,51	

Melalui hasil perhitungan modulus elastisitas yang terlampir pada tabel 3, dapat diketahui bahwa spesimen komposit dengan variasi E5R3K2 memiliki modulus elastisitas tertinggi dengan nilai 7,66 GPa. Sementara spesimen dengan variasi E6R2K2 menjadi varian terendah yaitu 6,20 GPa.



Gambar 10. Grafik Rata-Rata Nilai Modulus Elastisitas Spesimen Komposit Polimer Serat Rami & Serabut Kelapa

Grafik tersebut menunjukkan bahwa rata-rata modulus elastisitas berkisar antara 6,20 GPa hingga 7,66 GPa dengan selisih yang relatif kecil antara variasi spesimen, menunjukkan bahwa secara umum komposit ini memiliki sifat elastisitas yang cukup seragam. Grafik juga menunjukkan setiap spesimen memiliki rentang kesalahan yang kecil, menunjukkan konsistensi pengujian dan bahwa variasi nilai modulus elastisitas antar pengujian untuk setiap jenis spesimen relatif rendah.

### 3.2 Uji Bending

Spesimen uji *bending* dalam penelitian ini dinamai berdasarkan variasi komposisi bahan penyusunnya dan jenis pengujian yang dilakukan. Pengujian dilakukan menggunakan metode uji *bending* tiga titik (*Three Point Bending*), dimana beban diberikan pada titik tengah spesimen yang ditopang di kedua ujungnya. Metode ini bertujuan untuk mengukur kekuatan dan ketahanan lentur dari setiap spesimen. Terdapat 5 variasi komposisi bahan yang diuji, masing-masing dengan kombinasi serat rami dan serabut kelapa dalam matriks polimer. Setiap variasi diuji sebanyak 3 kali pengulangan untuk mendapatkan data yang konsisten, sehingga hasilnya lebih akurat dalam menunjukkan perbedaan sifat lentur antar variasi komposisi.

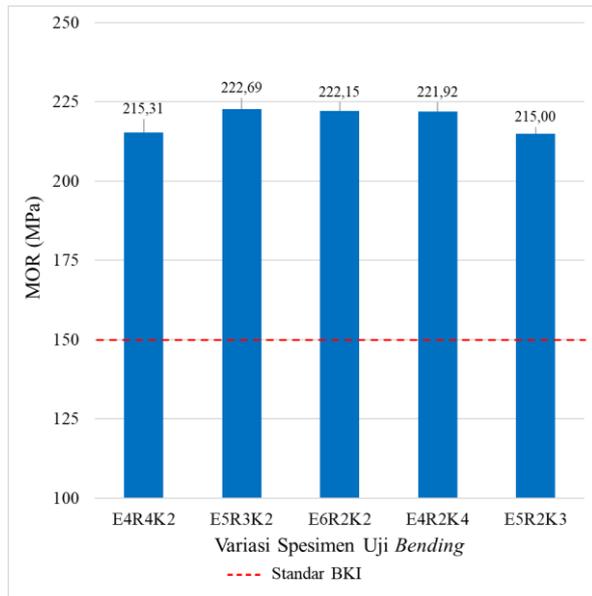
Hasil pengujian *bending* yang terlampir

Tabel 5. Hasil pengujian *bending*

Variasi	No	P Max (kN)	P Max (N)	MOR (MPa)	Rata-rata (MPa)
E4R4K2	1	8,98	8980	207,23	215,31
	2	9,66	9660	222,92	
	3	9,35	9350	215,77	
E5R3K2	1	9,63	9630	222,23	222,69
	2	9,68	9680	223,38	
	3	9,64	9640	222,46	
E6R2K2	1	9,6	9600	221,54	222,15
	2	9,65	9650	222,69	
	3	9,63	9630	222,23	
E4R2K4	1	9,6	9600	221,54	221,92
	2	9,68	9680	223,38	
	3	9,57	9570	220,85	
E5R2K3	1	9,01	9010	207,92	215,00
	2	9,64	9640	222,46	
	3	9,3	9300	214,62	

pada tabel 4, dapat diketahui spesimen komposit dengan variasi E5R3K2 memiliki kuat *bending* rata-rata tertinggi dengan nilai 222,69 MPa. Sementara spesimen dengan variasi E5R2K3 menjadi varian dengan kuat *bending* dengan rata-rata terendah yaitu 215 MPa.

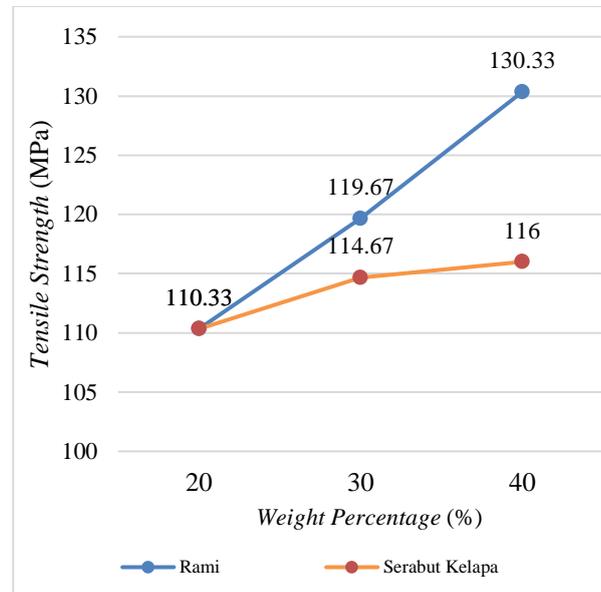
Penelitian sebelumnya yang menggunakan hanya serabut kelapa sebagai bahan penyusun menunjukkan hasil kuat *bending* tertinggi sebesar 97 MPa [6]. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan serat rami dalam komposisi yang digunakan memberikan kontribusi yang sangat baik dalam meningkatkan kekuatan *bending* dari keseluruhan komposit yaitu sebesar 121,65%-129,55% dari komposit yang hanya menggunakan serat serabut kelapa.



Gambar 11. Grafik Rata-Rata Nilai *Modulus of Rupture* (MOR) Spesimen Komposit Polimer Serat Rami & Serabut Kelapa

Grafik pada gambar 11 menunjukkan bahwa spesimen E5R3K2 menjadi spesimen dengan nilai MOR tertinggi yang menjadikan spesimen tersebut memiliki ketahanan paling tinggi terhadap beban lentur sebelum patah. Nilai MOR yang berkisar antara 215,00 MPa hingga 222,69 MPa menunjukkan variasi yang cukup kecil antar spesimen, yang menunjukkan sifat kekuatan lentur yang cukup seragam.

### 3.3 Pengaruh Fraksi Berat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit



Gambar 12. Hubungan Persentase Berat Serat Rami dan Serabut Kelapa Terhadap Nilai Kekuatan Tarik

Grafik pada gambar 12 menunjukkan hubungan antara persentase komposisi bahan penyusun (rami dan serabut kelapa) dan kekuatan tarik yang dihasilkan. Kekuatan tarik (*Tensile Strength*) dari komposit serat rami meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan persentase berat serat dalam komposit. Pada persentase berat 20%, kekuatan tarik berada di 110,33 MPa dan terus meningkat hingga mencapai 130,33 MPa pada persentase berat 40%. Di sisi lain, komposit dengan serabut kelapa juga menunjukkan kenaikan kekuatan tarik, namun tidak sekuat peningkatan pada komposit serat rami. Pada persentase berat 20%, kekuatan tariknya mencapai 110,33 MPa, namun pada persentase berat 40%, hanya meningkat hingga 116 MPa.

Berdasarkan hasil ini, serat rami terbukti lebih efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik komposit dibandingkan dengan serabut kelapa, terutama pada persentase berat yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, komposit dengan serat rami menunjukkan performa yang lebih baik dalam hal kekuatan tarik dibandingkan dengan komposit serabut kelapa, terutama pada kadar persentase berat yang lebih besar.

### 3.4 Perbandingan Hasil dengan Standar BKI

Hasil pengujian spesimen dibandingkan dengan standar peraturan BKI, dengan tujuan untuk mengetahui material tersebut memenuhi kriteria minimum sebagai bahan pembuat kapal. Menurut peraturan BKI Vol. 5 “*Rules for Fiberglass Reinforced Plastic Ship*” Section 1.C.4.1.1 diketahui bahwa kapal yang diisi oleh serat penguat harus memiliki standar kekuatan tarik minimal  $98 \text{ N/mm}^2$  dan kekuatan *bending*/tekuk minimal  $150 \text{ N/mm}^2$  [17].

Berdasarkan pada data yang diperoleh dari pengujian tarik, dengan mengacu pada standar yang ditetapkan oleh BKI *Rules for Fiberglass Reinforced Plastic Ship* diperoleh bahwa pada pengujian kuat tarik, seluruh variasi spesimen memenuhi standar yang ditetapkan oleh BKI dengan nilai terendah yaitu  $110,33 \text{ MPa}$ , dan  $130,33$  untuk varian dengan nilai kuat tarik terbesar dimana nilai tersebut lebih tinggi dari syarat minimum yang ditetapkan oleh BKI yaitu sebesar  $32,33 \text{ MPa}$ .

Modulus elastisitas kuat tarik memiliki standar minimal yang ditetapkan oleh BKI yang bertujuan untuk memastikan kekuatan dan daya tahan material, yaitu sebesar  $6,86 \text{ GPa}$ . Dalam penelitian ini, terdapat dua varian spesimen yang berhasil memenuhi persyaratan tersebut. Varian pertama, E4R4K2, mencapai nilai modulus elastisitas sebesar  $7,10 \text{ GPa}$ , sementara varian kedua, E5R3K2, menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu  $7,66 \text{ GPa}$ . Hasil ini menunjukkan bahwa kedua varian spesimen tersebut layak digunakan sesuai ketentuan BKI.

Berdasarkan data pengujian *bending*, diperoleh bahwa semua variasi spesimen berhasil memenuhi standar kuat *bending* yang ditetapkan oleh BKI. Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada ketentuan BKI untuk memastikan kekuatan material dalam aplikasi struktur kapal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata kuat *bending* tertinggi dicapai oleh varian E5R3K2, dengan nilai  $222,69 \text{ MPa}$ . Pencapaian nilai ini menegaskan bahwa varian E5R3K2 memiliki potensi unggul dalam hal kekuatan lentur, yang menjadikannya kandidat yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan struktur kapal yang kokoh dan tahan lama.

## 4. KESIMPULAN

Pengujian tarik dan *bending* yang telah dilakukan pada spesimen komposit polimer serat rami dan serabut kelapa memberikan hasil sebagaimana dapat disimpulkan sebagai berikut.

Komposit tersebut memberikan hasil pada pengujian tarik yaitu  $110,33 \text{ MPa}$  sampai dengan tertinggi  $130,33 \text{ MPa}$  yang diperoleh spesimen E4R4K2 dengan perbandingan komposisi resin epoxy 40%, serat rami 40%, dan serat serabut kelapa 20%.

Selanjutnya pada regangan tarik, spesimen menunjukkan nilai regangan tarik terbesar yaitu 1,60% pada tiga varian yaitu E6R2K2, E4R2K4, dan E5R2K3. Pada Modulus Elastisitas sendiri, nilai tertinggi diperoleh varian E5R3K2 sebesar  $7,66 \text{ GPa}$ .

Pada pengujian *bending*, spesimen E5R3K2 menunjukkan nilai kuat *bending* sebesar  $222,69 \text{ MPa}$  sebagai hasil uji *bending* tertinggi dengan komposisi resin epoxy 50%, serat rami 30%, dan serat serabut kelapa 20%.

Komposit polimer serat rami dan serabut kelapa dapat digunakan sebagai material kulit kapal *fiberglass* karena telah memenuhi persyaratan minimum yang ditetapkan oleh BKI.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Cribb and M. Ford, “Indonesia as an Archipelago: Managing Islands, Managing the Seas,” in *Indonesia beyond the Water’s Edge: Managing an Archipelagic State*, R. Cribb and M. Ford, Eds., in Books and Monographs. , ISEAS–Yusof Ishak Institute, 2009, pp. 1–27.
- [2] A. Usup, “Buku Panduan Sistem Pencegahan dan Pengendalian Kebakaran Berbasis Masyarakat Untuk Kawasan Hutan dan Lahan Gambut Tropis di Provinsi Kalimantan,” p. 46, 2015.
- [3] A. Noer, *Biokomposit dari Limbah Organik*, vol. 5, no. 3. 2020.
- [4] U. K. Sanivada, G. Mármol, F. P. Brito, and R. Fanguero, “PLA Composites Reinforced with Flax and Jute,” *Polymers (Basel)*, vol. 12, pp. 1–29, 2020.
- [5] M. Arsyad, M. A. Suyuti, M. F. Hidayat, and S. Pajarrai, “Pengaruh Variasi Arah Susunan Serat Sabut Kelapa Terhadap Sifat Mekanik,” *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 12, no. 2, pp. 101–113, 2014.
- [6] Aguswandi, B. Muftil, and Yohanes, “Analisis Sifat Mekanik Komposit Serat Sabut Kelapa Sebagai Material Alternatif Pengganti Kayu Untuk Pembuatan Kapal Tradisional,” *Rekayasa Bahan Komposit*, vol. 3, no. 2, pp. 1–7, 2016.

- [7] I. Astika, I. Lokantara, and I. Gatot Karohika, "Sifat Mekanis Komposit Polyester dengan Penguat Serat Sabut Kelapa," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 6, no. 2, 2013.
- [8] Pusat Ilmu Pengetahuan, "Laporan Analisis Intelijen Bisnis Coco Coir, Coco Fiber, Coco Peat HS: 530500," *IIPC Osaka 2022*, 2022, [Online]. Available: [http://p2k.unkris.ac.id/id3/1-3065-2962/Intelijen-Bisnis\\_101092\\_p2k-unkris.html#Sejarah](http://p2k.unkris.ac.id/id3/1-3065-2962/Intelijen-Bisnis_101092_p2k-unkris.html#Sejarah)
- [9] M. Arsyad, Y. Kondo, M. Rezky, and J. Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, "Analisa Pengaruh Komposisi Serat Sabut Kelapa Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Serat Sabut Kelapa," *Teknol. Pertahanan*, p. 56, 2022.
- [10] M. Arsyad and Y. Kondo, "Efek Perlakuan Natrium Hidroksida Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Sabut Kelapa," *Pros. 4th Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy.*, pp. 16–21, 2020.
- [11] Y. Liao and B. F. Sels, *Lignin Chemistry : Characterization, Isolation, and Valorization*, vol. 16, no. 1. 2022.
- [12] M. Sulaiman and M. H. Rahmat, "Kajian Potensi Pengembangan Material Komposit Polimer Dengan Serat Alam Untuk Produk Otomotif," *Sistem*, vol. 4, no. 1, pp. 9–15, 2018.
- [13] ASTM, "Astm D3039/D3039M," *Annu. B. ASTM Stand.*, pp. 1–13, 2014, doi: 10.1520/D3039.
- [14] K. Jayanarayanan, R. K. Mishra, K. Joseph, and S. Thomas, *Preparation, morphology, static and dynamic mechanical properties, and application of polyolefins and poly(ethylene terephthalate) based microfibrillar and nanofibrillar composites*. Elsevier Ltd., 2017.
- [15] ASTM International, "ASTM D 7264/D 7264M-07 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials," *Annu. B. ASTM Stand.* , vol. 15, no. 3, pp. 1–10, 2018, [Online]. Available: <http://www.ansi.org>.
- [16] W. Mita Umami, *Kekuatan Tarik Dan Bending Bahan Mikrokomposit Berpenguat Serat Sabut Kelapa Dan Polylactic Acid (Pla) Resin*. 2019.
- [17] Biro Klasifikasi Indonesia, "Rules For Fibreglass Reinforced Plastic Ships Consolidated Edition 2021," vol. V, 2021, [Online]. Available: [www.bki.co.id](http://www.bki.co.id)