

## **KEKUATAN TARIK DAN *BENDING* KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT *ARENGGA PINNATA* BERMATRIKS EPOKSI BERBASIS FRAKSI *VOLUME* DAN ORIENTASI SERAT**

### **Rahmat Doni Widodo**

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Negeri Semarang  
email: rahmat.doni@mail.unnes.ac.id

### **Fiqih Adi Noor Susetyo**

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Negeri Semarang  
email: fiqihadins01@gmail.com

### **Rusiyanto**

Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
Universitas Negeri Semarang  
email: me\_rusiyanto@mail.unnes.ac.id

### **Kriswanto**

Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
Universitas Negeri Semarang  
email: kriswanto@mail.unnes.ac.id

### **Febri Budi Darsono**

Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
Universitas Negeri Semarang  
email: febibudi@mail.unnes.ac.id

## **ABSTRAK**

Tujuan penelitian ini yakni untuk melaporkan sifat tarik dan *bending* komposit dengan penguat serat *Arenga Pinnata* (ijuk) pada matriks epoksi berdasarkan variasi fraksi *volume* dan orientasi serat. Spesimen dipersiapkan dengan variasi fraksi *volume* epoksi : ijuk adalah 70% : 30% dan 60% : 40%, serta variasi orientasi serat ijuk yang digunakan 0° dan 90°. Spesimen komposit yang dibuat dengan teknik *hand lay-up*. Spesimen diuji tarik menggunakan ASTM D3039 dan diuji *bending* sesuai ASTM D790. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada spesimen dengan fraksi *volume* 60% : 40% dan orientasi serat 0° menghasilkan nilai pengujian yang paling optimum baik itu pengujian tarik maupun *bending*, dimana nilai rata-rata kekuatan tarik dan *bending* tertinggi adalah 56.99 MPa dan 85 MPa, serta nilai rata-rata modulus elastisitas tarik dan *bending* tertinggi adalah 1.914 GPa dan 3.89 GPa. Komposisi fraksi *volume* serat ijuk yang semakin bertambah sampai dengan 40% disertai orientasi serat ijuk 0° dimana gaya tarik dan *bending* yang diberikan mampu diteruskan keseluruhan bagian sehingga mampu memberikan pengaruh penguatan yang optimal.

**Kata kunci:** kekuatan tarik, kekuatan bending, faksi volume, orientasi serat ijuk, epoksi, komposit

## **ABSTRACT**

*The purpose of this study was to report the tensile and bending properties of Arenga pinnata fiber (ijuk)-reinforced composites on epoxy matrix based on variations in volume fraction and fiber*

orientation. Specimens were prepared with variations in volume fraction of epoxy: fibers were 70%: 30% and 60%: 40%, and variations in the orientation of the fibers used were 0° and 90°. Composite specimens produced the hand lay-up technique. The specimens were tested for tensile using ASTM D3039 and tested for bending according to ASTM D790. The use of natural fibers to reduce the negative impact that arises from the use of synthetic fibers in composites, especially the negative impact on the environment. This study aims to determine the effect of volume fraction and orientation of "ijuk" (*Arenga Pinnata*) fibers with epoxy matrix on the tensile and flexural strength along with its elastic modulus. Specimens were prepared with variations in volume fraction of epoxy: ijuk fibers were 70%: 30% and 60%: 40%, and variations in the orientation of the ijuk fibers used were 0° and 90°. The process of making composite specimens uses the hand lay-up method. Standard tensile and flexural testing using ASTM D3039 and ASTM D790. The results of this study indicate that the specimen with a volume fraction of 60%: 40% and fiber orientation 0° produces the most optimum test values, both tensile and flexural tests, where the highest average tensile and flexural strength are 56.99 MPa and 85 MPa, and the highest average tensile and flexural elastic modulus values are 1.914 GPa and 3.89 GPa respectively. The composition of the volume fraction of ijuk fibers is increasing up to 40% and orientation fiber of 0° where the tensile and flexural forces applied can be transmitted to all parts so as to provide an optimal strengthening effect.

**Keywords:** tensile strength, flexural strength, volume fraction, orientation of fibers, epoxy, composites.

## 1. PENDAHULUAN

Dua dekade ini, penggunaan serat yang berasal dari alam, khususnya untuk dijadikan material komposit sangatlah *peast*, dimana serat alam (*natural fibre*) ini potensial untuk menggantikan serat sintetis seperti serat nilon, karbon, kevlar dan gelas (*glass fibres (GF)*) di dalam *fibre-reinforced polymers (FRP)*[1-4]. Jika dibandingkan dengan serat gelas, serat alam berbasis *lignocellulosic fibers* memiliki kelebihan seperti densitas rendah, konsumsi energi yang rendah selama proses produksi, harga yang lebih murah, tidak bersifat racun, pada saat dilakukan proses permesinan tidak mengalami abrasi, tidak menyebabkan iritasi kulit dan gangguan kesehatan [5-7]. Di samping itu serat alam memiliki tersedian yang melimpah, dapat di daur ulang (*recyclable*), *renewable*, *biodegradable* dan merupakan *carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) neutral* [8, 9]. Sehingga material komposit yang menggunakan serat alam sebagai penguat juga dikatakan sebagai *environmentally attractive materials*. Penggunaan serat alam di dalam material komposit bermatriks polimer sangatlah luas yang diantaranya pada *packaging, furniture, industri otomotive, disposable accessories*, gedung, peralatan olah raga, *insulation materials* dan lain sebagainya [10]. Serat alam yang dapat dijadikan alternatif yang potensial sebagai penguat di dalam material komposit adalah serat ijuk (*Arenga Pinnata*).

Serat ijuk yang berasal dari pohon aren memiliki sifat fisik bertekstur hitam [11-14]. Panjang serat ijuk dapat mencapai 1.19 m, diameter seratnya antara 94 – 370 µm dan memiliki densitas 1.29 g.cm<sup>-3</sup> [15]. Serat ijuk memiliki kandungan *cellulose* sebesar 52.29%, *helocellulose* sebesar 65.62%, *lignin* sebesar 31.52%, *ash* sebesar 4.02%, *moisture* sebesar 7.40% dan *extraction* sebesar 4.39% [16]. Kelebihan dari serat ijuk diantaranya tahan terhadap proses pelapukan, tahan terhadap serangan rayap tanah, dan tahan terhadap air laut serta asam [7]. Secara umum penggunaan serat ijuk ini belum dioptimalkan untuk aplikasi-aplikasi keteknikan, dimana selama ini hanya dipergunakan untuk sapu, keset, tali dan atap rumah [17].

Kajian tentang sifat mekanik dari serat ijuk ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti kajian sifat mekanik pada serat ijuk tunggal. Penelitian tentang sifat mekanis pada serat ijuk tunggal menginformasikan bahwa kekuatan tariknya sebesar 190.29 MPa, modulus elastisitas sebesar 3.69 GPa, dan menghasilkan regangan 19.6% [15]. Penelitian lain yang menginvestigasi kekuatan tarik serat ijuk tunggal berdasarkan variasi diameter antara 701.09 – 813.93 µm didapatkan hasil bahwa, tegangan tariknya antara 28.43 – 37.15 MPa dan deformasi yang dihasilkan antara 3.61 – 4.5 mm [18]. Berdasarkan hasil dari kajian tersebut diketahui bahwa serat ijuk ini layak digunakan sebagai

penguat pada sistem material komposit [19]. Laporan penelitian mengenai serat ijuk yang dijadikan sebagai penguat pada material komposit bermatriks polimer pun telah banyak dilakukan seperti serat ijuk pada matriks: *polyester* [20-23], *Vinyl Ester* [24], *Polystyrene* [25], pada *Epoxy* [26, 27], *Phenolic* [28], *Glycerol* [29, 30], *Polyvinylidene Flouride* [31], dan pada *Polyurethane* [32-34].

Kekuatan atau sifat mekanis dari komposit berpenguat serat ijuk ini dipengaruhi oleh beberapa parameter, diantaranya adalah: matriks yang digunakan, panjang serat, diameter serat, perlakuan pada serat, metode proses manufaktur, komposisi, struktur (jumlah lapisan serat, orientasi serat, bentuk ayaman serat, distribusi serat), asal serat, umur serat, kelembaban, lingkungan dan temperatur serta cacat yang ada setelah dibuat material komposit [1]. Penelitian-penelitian tentang pengaruh parameter di atas terhadap sifat mekanis dari komposit berpenguat serat ijuk telah banyak dilakukan. Basuki Widodo (2008) mengkaji tentang sifat mekanik komposit serat ijuk-epoksi pada bentuk lamina dengan arah serat *random* [35]. Samlawi dan Hidayatullah (2017) melakukan studi tentang pengaruh orientasi sudut serat ijuk bermatriks poliester terhadap kekuatan mekanik komposit tersebut [21]. Sastra, et. al. (2007) melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi serat ijuk dalam matriks epoksi terhadap kekuatan tariknya [36], sedangkan Rashid, et. al. (2016) dalam matriks *phenolic* [37]. Leman, et. al. (2005), Bachtiar, et. al. (2008), Ishak, et. al. (2009), Bachtiar, et. al. (2009), Ali, et. al. (2010), Leman, et. al. (2010), Bachtiar, et. al. (2011), dan Izwan, et. al. (2020) melakukan penelitian tentang pengaruh perlakuan serat ijuk pada komposit terhadap sifat mekaniknya [38-45]. Leman, et. al. (2008) mengadakan penelitian tentang pengaruh perlakuan lingkungan pada serat ijuk bermatriks epoksi terhadap kekuatan tariknya [46].

Dari laporan penelitian tentang serat ijuk yang dijadikan penguat dalam material komposit kebanyakan hanya melaporkan pengaruh satu parameter saja terhadap sifat mekanisnya, sedangkan penelitian yang melaporkan tentang pengaruh komposisi dan orientasi serat ijuk dalam material komposit bermatriks epoksi belum ditemukan. Pada laporan penelitian kali ini bertujuan untuk melaporkan pengaruh dari dua gabungan parameter yaitu fraksi *volume* dan orientasi serat ijuk dalam material komposit bermatriks epoksi terhadap kekuatan tarik dan *bendingnya*. Data hasil penelitian ini ke depannya dapat dijadikan acuan untuk proses penelitian dan pengembangan material komposit dengan penguat serat ijuk.

## 2. METODE PENELITIAN

Material utama adalah serat ijuk sebagai penguat dan epoksi sebagai matriksnya. Serat ijuk yang akan digunakan terlebih dahulu dilakukan proses perendaman di dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam. Resin epoksi yang digunakan bertipe *Bisphenol A-Epichlorohydrin* dengan epoksi *hardener* tipe *Polyaminoamide*. Variasi fraksi *volume* yang digunakan antara resin epoksi : serat ijuk aren adalah 70% : 30% (varian 1) dan 60% : 40% (varian 2). Setelah penentuan komposisi untuk varian 1 dan 2 ditetapkan, maka langkah selanjutnya adalah proses pembuatan cetakan spesimen, dimana untuk cetakan spesimen uji tarik adalah (270 x 160 x 6,5) mm<sup>3</sup> dan untuk uji *bending* (160 x 160 x 6,5) mm<sup>3</sup>. Berdasarkan volume total cetakan spesimen yang dibuat, kemudian dilakukan proses perhitungan *massa* dari serat dan matriksnya menggunakan *rules of mixture*, sebagai contoh:

Diketahui:                      Volume cetakan spesimen uji tarik ( $V_c$ ) = 280,800 mm<sup>3</sup> = 280.8 cm<sup>3</sup>  
   Densitas serat ijuk ( $\rho_R$ ) = 1.29 g/cm<sup>3</sup>  
   Densitas epoksi ( $\rho_M$ ) = 1.17 g/cm<sup>3</sup>  
   Fraksi *volume* epoksi ( $v_M$ ) = 70% = 0.7  
   Fraksi *volume* serat ijuk ( $v_R$ ) = 30% = 0.3

Maka,

Volume epoksi ( $V_M$ )                      =  $v_M \times V_c = 0.7 \times 280.8 = 196.56 \text{ cm}^3$

Volume serat ijuk ( $V_R$ )                      =  $v_R \times V_c = 0.3 \times 280.8 = 84.24 \text{ cm}^3$

Sehingga:

*Massa* epoksi ( $M_M$ )                      =  $\rho_M \times V_M = 1.17 \times 196.56 = 229.975 \text{ g}$

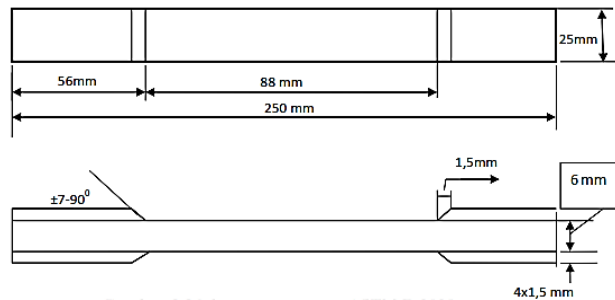
*Massa* serat ijuk ( $M_R$ )                      =  $\rho_R \times V_R = 1.29 \times 84.24 = 108.669 \text{ g}$

Kemudian dilakukan proses penimbangan berat dari epoksi dan serat ijuk, dan setelah itu proses pembuatan spesimen komposit menggunakan teknik *hand lay-up*, berdasarkan variasi orientasi serat yang telah ditentukan. Variasi orientasi serat ijuk dibuat dalam arah atau sudut  $0^{\circ}$  (Gambar 1 (a)) dan  $90^{\circ}$  (Gambar 1 (b)).

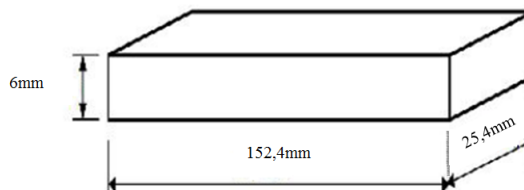


Gambar 1. Variasi orientasi serat ijuk

Spesimen yang mengering dikeluarkan dari cetakan dan dibentuk sesuai dimensi dari standar pengujian baik untuk pengujian tarik maupun *bending*. Spesimen yang digunakan menggunakan standar ASTM D3039 untuk uji tarik [47] dengan dimensi spesimen 250 mm x 125 mm x 6 mm (Gambar 2), dan untuk uji *three point bending* mengacu pada ASTM D790 dengan dimensi spesimen 150 mm x 15 mm x 6 mm [48], seperti pada Gambar 3.



Gambar 2. Spesimen uji tarik



Gambar 3. Spesimen uji *bending*

Pengujian tarik dan *bending* menggunakan alat *Servo Toron Tech Hydraulic Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 600 kN. Kecepatan tarik dan *bending* pada mesin saat pengujian sebesar 20 mm/menit.

Nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) sama dengan nilai tegangan tarik maksimum yang diperoleh dari persamaan:

$$\sigma_{Max} = \frac{F_{max}}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- $\Sigma_{\max}$  : Kekuatan tegangan tarik maksimum (MPa)
- $F_{\max}$  : Gaya tarik maksimum (N)
- A : Luasan penampang ( $\text{mm}^2$ )

Regangan tarik dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- $\epsilon$  : Regangan akibat gaya tarik
- $\Delta L$  : Perubahan panjang (mm)
- $L_o$  : Panjang awal (mm)

Modulus elastisitas tarik dihitung dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- E : Modulus elastisitas tarik (GPa)
- $\sigma$  : Tegangan pada daerah elastis (MPa)
- $\epsilon$  : Regangan pada daerah elastis

Nilai kekuatan *bending* (*flexural strength*) merupakan nilai tegangan *bending* maksimum yang dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_f = \frac{3.P.L}{2.b.d^3} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- $P = F$  : Gaya *bending* maksimum (N)
- L : Jarak *span* (dua tumpuan spesimen) (mm)
- b. : Lebar spesimen (mm)
- d. : Tinggi spesimen (mm)

Nilai modulus elastisitas *bending* (*flexural modulus*) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$E_B = \frac{L^3.m}{4.b.d^3} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

- L : Jarak *span* (dua tumpuan spesimen) (mm)
- b. : Lebar spesimen (mm)
- d. : Tinggi spesimen (mm)
- m. : *slope of tangent* (N/mm)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik terhadap spesimen yang dibuat dan diuji ditampilkan seperti pada Tabel 1 dan 2.

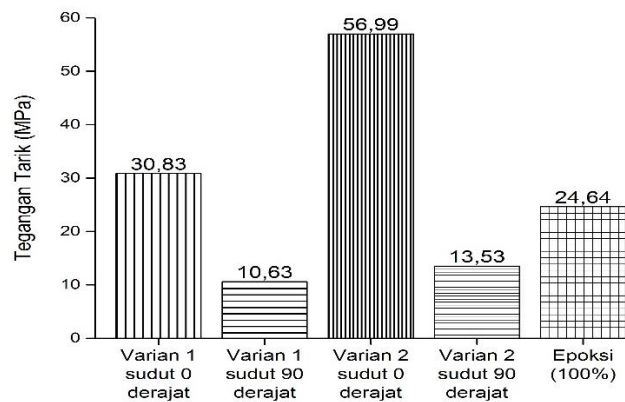
Tabel 1. Hasil pengujian tarik komposit serat ijuk-epoksi

Varian	orientasi sudut 0 <sup>0</sup>		orientasi sudut 90 <sup>0</sup>	
	$\sigma_{\max}$ rata-rata (MPa)	E rata-rata (GPa)	$\sigma_{\max}$ rata-rata (MPa)	E rata-rata (GPa)
1	30.83	0.460	10.63	0.277
2	56.99	1.914	13.53	0.419

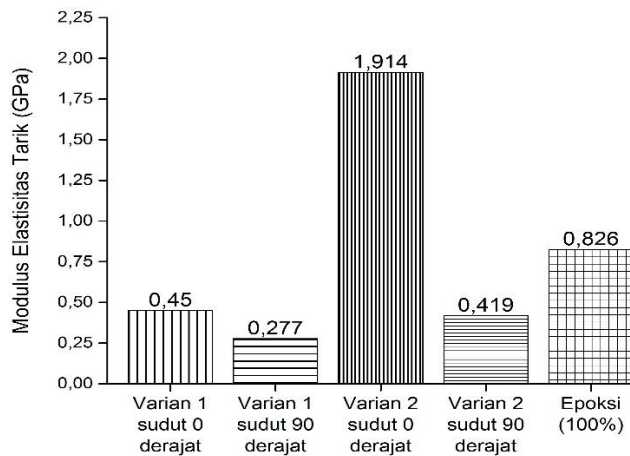
Tabel 2. Hasil pengujian tarik epoksi

Varian	$\sigma_{\max}$ rata-rata (MPa)	E rata-rata (GPa)
100% Epoksi	24.64	0.826

Untuk mempermudah di dalam menganalisis hasil pengujian tarik maka berdasarkan Tabel 1 dan 2 dibuatlah Gambar 4 berupa grafik balok yang menunjukkan perbandingan dari kekuatan atau tegangan tarik maksimum dan Gambar 5 yang menunjukkan modulus elastisitas masing-masing spesimen.



Gambar 4. Kekuatan tarik spesimen uji



Gambar 5. Modulus elastisitas tarik spesimen uji

Gambar 4 dan 5 menunjukkan *trend* yang sama pada semua spesimen uji, dimana varian 2 (60% vol. epoksi : 40% vol. serat ijuk) dengan orientasi serat 0° memiliki nilai yang tinggi, baik itu nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) maupun modulus elastisitasnya (*tensile modulus*). Jika dibandingkan dengan orientasi serat yang sama yakni 0° pada varian 1 (70% vol. epoksi : 30% vol. serat ijuk) maka memiliki peningkatan secara berturut-turut terhadap kekuatan dan modulus elastisitas tarik sebesar 1.85 kali dan 4.16 kalinya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat ijuk sampai 40% vol. memberikan pengaruh terhadap peningkatan sifat tarik (*tensile properties*) komposit. Nilai *tensile strength* yang di hasilkan pada varian 2 dengan orientasi serat ijuk 0° yakni sebesar 56.99 MPa ini lebih tinggi jika dibandingkan nilai *tensile strength* yang dihasilkan pada penelitian Bachtiar, et. al. (2008) yakni 37.65 MPa dan (yang di *treatment* NaOH 5% selama 4 jam) dan 41.88 MPa (yang di *treatment* NaOH 5% selama 8 jam)[39], meskipun pada varian 2 dengan orientasi serat ijuk 0° hanya di di *treatment* NaOH 5% selama 2 jam. Hal ini terjadi karena perbedaan fraksi *volume* dan orientasi serat yang digunakan merupakan parameter yang mempengaruhi *mechanical properties* material komposit .

Peningkatan sifat tarik yang signifikan terjadi juga pada spesimen dengan orientasi yang berbeda yakni 0° dan 90° pada varian yang sama yakni varian 2 (60% vol. epoksi : 40% vol. serat ijuk) dimana terjadi peningkatan secara berturut-turut terhadap kekuatan dan modulus elastisitas tarik sebesar 4.12 kali dan 4.56 kalinya. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi serat ijuk memberikan pengaruh penting terhadap peningkatan sifat tariknya (*tensile properties*), pada orientasi 0° dimana arah serat ijuk segaris atau satu sumbu dengan gaya tarik yang diberikan memberikan efek penguatan yang maksimal dengan mendistribusikan gaya tarik tersebut yang diterimanya dari matriks ke seluruh bagian material komposit. Sedangkan pada orientasi 90° dimana arah seratnya tegak lurus terhadap gaya tarik yang diberikan, sehingga yang menahan gaya tarik tersebut adalah matriksnya. Pada varian 2 dengan orientasi serat ijuk 0° juga memiliki nilai *tensile properties* yang lebih tinggi jika dibandingkan spesimen 100% epoksi dengan selisih nilai sebesar 2.31 kali nya, sedangkan varian yang lain memiliki nilai *tensile properties* di bawah spesimen 100% epoksi. Hal ini menunjukkan bahwa pada varian 2 dengan orientasi serat ijuk 0°, seratnya melaksanakan fungsinya sebagai penguat pada material komposit secara optimal dengan nilai *tensile properties* yang tertinggi diantara varian yang lain. Sedangkan nilai *tensile strength and modulus* pada material epoksi yang pernah dilaporkan pada penelitian sebelumnya secara berturut-turut adalah 29 MPa dan 1.27 GPa [49], hal ini disebabkan karena jenis epoksi dan komposisi *hardener* yang berbeda dengan penelitian ini.

### 3.2 Pengujian *Bending*

Hasil pengujian *bending* terhadap spesimen yang dibuat dan diuji ditampilkan seperti pada Tabel 3 dan 4.

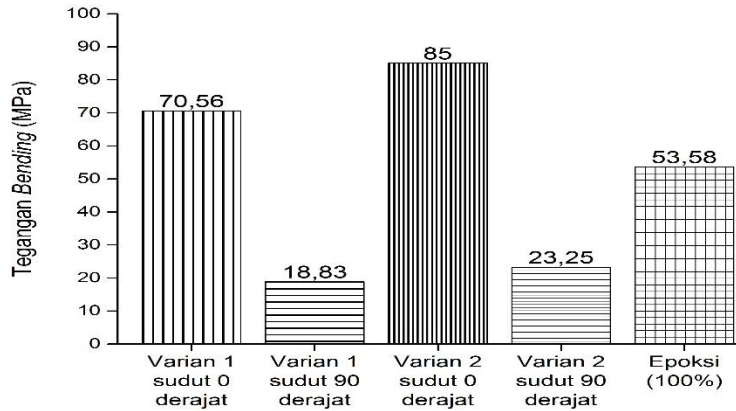
Tabel 3. Hasil pengujian *bending* komposit serat ijuk-epoksi

Varian	orientasi sudut 0°		orientasi sudut 90°	
	$\sigma_{\max}$ rata-rata (MPa)	E rata-rata (GPa)	$\sigma_{\max}$ rata-rata (MPa)	E rata-rata (GPa)
1	70.56	2.95	18.83	2.25
2	85.00	3.89	23.25	2.49

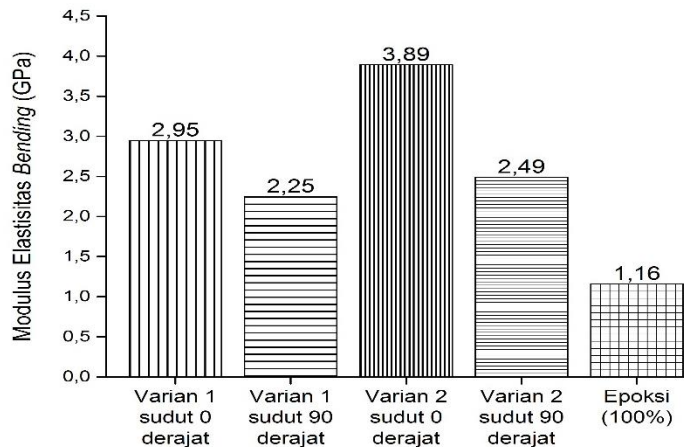
Tabel 4. Hasil pengujian *bending* epoksi

Varian	$\sigma_{\max}$ rata-rata (MPa)	E rata-rata (GPa)
100% Epoksi	53.58	1.16

Berdasarkan Tabel 3 dan 4 dibuatlah Gambar 6 berupa grafik balok yang menunjukkan perbandingan dari kekuatan atau tegangan *bending* maksimum (*flexural strength*) dan Gambar 7 yang menunjukkan modulus elastisitas *bending* (*flexural modulus*) masing-masing spesimen.



Gambar 6. Kekuatan *bending* spesimen uji



Gambar 7. Modulus elastisitas *bending* spesimen uji

Pada Gambar 6 dan 7 menunjukkan *trend* yang sama pada material komposit, dimana sekali lagi varian 2 (60% vol. epoksi : 40% vol. serat ijuk) dengan orientasi serat 0° memiliki nilai yang tinggi, baik itu nilai kekuatan *bending* (*flexural strength*) maupun modulus elastisitasnya (*flexural modulus*). Perbandingan nilai *flexural strength and modulus* antara varian 2 (60% vol. epoksi : 40% vol. serat ijuk) dengan varian 1 (70% vol. epoksi : 30% vol. serat ijuk) pada orientasi serat 0° yang sama nampaklah terjadi peningkatan secara berturut 1.2 dan 1.3 kalinya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat ijuk sampai 40% vol. juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan sifat *bending* (*flexural properties*) komposit. Nilai *flexural strength* yang dihasilkan pada varian 2 dengan orientasi serat ijuk 0° yakni sebesar 85 MPa ini lebih tinggi jika dibandingkan nilai *tensile strength* yang dihasilkan pada penelitian Bachtiar, et. al. (2010) yakni 58.17 MPa dan (yang di *treatment* NaOH 5% selama 4 jam)[26]. Peningkatan nilai *flexural strength* yang signifikan terjadi juga pada spesimen dengan orientasi yang berbeda yakni 0° dan 90° pada varian yang sama yakni varian 1 (70% vol. epoksi : 30% vol. serat ijuk) dimana terjadi peningkatan sebesar 3.7 kalinya. Begitu juga dengan orientasi yang berbeda yakni 0° dan 90° pada varian yang sama yakni varian 2 (60% vol. epoksi : 40% vol. serat ijuk) terjadi peningkatan nilai *flexural strength* sebesar 3.6 kalinya. Hal ini



menunjukkan bahwa orientasi serat ijuk memberikan pengaruh penting terhadap peningkatan nilai *flexural strength*. Pada orientasi  $0^\circ$  dimana arah serat ijuk membujur dan tegak lurus terhadap gaya *bending*, gaya yang diterima oleh matriks diteruskan dan didistribusikan ke serat ijuk yang membujur secara merata dari pangkal hingga ujung spesimen (keseluruh bagian) sehingga memberikan efek penguatan yang maksimal pada material komposit tersebut. Pada orientasi serat ijuk  $0^\circ$  baik itu pada varian 1 maupun varian 2, sama-sama memiliki nilai *flexural strength* yang lebih tinggi jika dibandingkan spesimen 100% epoksi dengan selisih nilai berturut-turut yakni 1.3 dan 1.6 kalinya, sedangkan pada orientasi  $90^\circ$  baik itu varian 1 maupun varian 2 memiliki nilai *flexural strength* di bawah spesimen 100% epoksi. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen dengan orientasi serat ijuk  $0^\circ$ , seratnya secara meyakinkan berfungsi sebagai penguat pada material komposit tersebut.

Untuk nilai *flexural modulus* pada orientasi serat ijuk  $90^\circ$  baik itu pada varian 1 maupun varian 2 kenaikannya tidak signifikan hanya sebesar 1.1 kalinya, hal ini menunjukkan bahwa pada orientasi ini penambahan fraksi *volume* serat ijuk sampai 40% tidak memberikan efek ketahanan di dalam deformasi yang signifikan. Sedangkan pada orientasi serat ijuk yang sama yakni  $0^\circ$  baik pada varian 1 maupun varian 2, peningkatan nilai *flexural modulus* di atas nilai yang dihasilkan pada orientasi  $90^\circ$ , yakni sebesar 1.3 kalinya. Hal ini tidak hanya orientasi serat yang berpengaruh meningkatkan nilai *flexural modulus* material komposit tetapi juga penambahan fraksi *volume* serat ijuk sampai 40% juga memberikan pengaruh terhadap hal tersebut. Fenomena ini juga dapat dilihat jika membandingkan dengan nilai *flexural modulus* pada spesimen 100% epoksi. Nilai *flexural modulus* yang dihasilkan pada penelitian ini mendekati nilai *flexural modulus* yang diperoleh dari penelitian terdahulu yakni 1.18 GPa [49].

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yakni:

1. Kekuatan tarik dari material komposit berpenguat serat ijuk dan bermatriks epoksi sangat dipengaruhi oleh penambahan komposisi serat ijuk berdasarkan fraksi *volume* dan orientasi serat ijuk, dimana didapatkan hasil bahwa nilai tertinggi tegangan tariknya sebesar 56.99 MPa dan modulus elastisitas tariknya sebesar 1.914 GPa pada spesimen varian 2 dengan orientasi serat ijuk  $0^\circ$ .
2. Nilai Kekuatan *bending* juga dipengaruhi oleh penambahan komposisi serat ijuk berdasarkan fraksi *volume* dan orientasi serat ijuk dalam sistem material komposit bermatriks epoksi, dimana pada spesimen varian 2 dengan orientasi serat ijuk  $0^\circ$  menghasilkan nilai tegangan dan modulus *bending* tertinggi yakni secara berturut-turut sebesar 85 MPa dan 3.89 GPa.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fanguerro, R., and Rana, S. (2018). *Advances in Natural Fibre Composites: Raw Materials, Processing and Analysis*. Springer International Publishing.
- [2] Campilho, R.D.S.G. (2016). *Natural Fiber Composites*. CRC Press.
- [3] Alma, H., and Shanks, R. (2014). *Natural Fibre Composites: Materials, Processing and Properties*. Woodhead Publishing Limited.
- [4] Sapuan, S.M. (2014). *Tropical Natural Fiber Composites: Properties, Manufacture and Application*. Springer Science+Business Media Singapore.

- [5] Chandrasekar, M., et. al. 2017. "A review on the characterisation of natural fibres and their composites after alkali treatment and water absorption". *Plastics, Rubber and Composites* Vol. 46, No. 3, pp.119–136.
- [6] Nurazzi, N.M., et. al. 2017. "A Review: Fibres, Polymer Matrices and Composites." *Pertanika Journal Science & Technology*. 25 (4), pp. 1085 – 1102.
- [7] Sweetly Shahinur and Mahbub Hasan. (2019). *Natural Fiber and Synthetic Fiber Composites: Comparison of Properties, Performance, Cost and Environmental Benefits*. Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. Elsevier Inc.
- [8] Mallick P.K., (1993). *Fiber-reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, Marcel Dekker, New York.
- [9] Wambua, P., et. al. 2003. "Natural fibers: Can they replace glass in fiber reinforced plastics?." *Composites Science and Technology*. **23**. pp.1259-1264.
- [10] Sonar, T., et. al. 2015. "Natural Fiber Reinforced Polymer Composite Material-A Review." *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. Pp. 142-147.
- [11] Ahmad, Y.A.M., and Naser, A. H. 2019. "Critical Review of the Parameters Affecting the Effectiveness of Moisture Absorption Treatments Used for Natural Composites." *Journal of Composite Science*.3. 27. Pp. 1 - 38.
- [12] Victor, I., and Orsat, V. (2017). *Characterization of Arenga pinnata (Palm) Sugar*. Sugar Tech. Springer International Publishing.
- [13] Ilyas, R.A., et. al. 2019. "Sugar palm (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr) cellulosic fibre hierarchy: a comprehensive approach from macro to nano scale." *Journal of Materials Research and Technology*. 8 (3). pp. 2753–2766.
- [14] Ishak, M.R., et. al. 2013. "Sugar palm (*Arenga pinnata*): Its fibres, polymers and composites." *Carbohydrate Polymers*. 91. pp. 699–710.
- [15] Bachtiar, D., et. al. 2010. "The tensile properties of single sugar palm (*Arenga pinnata*) fibre." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11*. pp.12-18.
- [16] Sanyang, M. L., et.al. 2016. "Recent developments in sugar palm (*Arenga pinnata*) based biocomposites and their potential industrial applications: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016) 533–549
- [17] Moge, J., et. al. 1991. "Multipurpose palms: The sugar palm." *Agroforestry System*. 13. pp.111-129.
- [18] Hrabe, P., et. al. 2018. "Mechanical behaviour of Sugar palm (*Arenga pinnata*) fibres." *Agronomy Research*. 16 (S1) pp. 1046-1051.
- [19] Begum, K., and Islam, M.A., 2013." Natural Fiber as a substitute to Synthetic Fiber in Polymer Composites: A Review." *Research Journal of Engineering Sciences*. Vol. 2(3). pp. 46-53.
- [20] Sahari, J., et.al. 2011. "Comparative Study of Physical Properties Based on Different Parts of Sugar Palm Fibre Reinforced Unsaturated Polyester Composites." *Key Engineering Materials* Vols. 471-472. pp 455-460.
- [21] Samlawi, A. K., and Hidayatullah, F. 2017. "Effect of Angle Orientation on Mechanical Strength of Arenga Pinnata Composite." *Prosiding SNTTM XVI*, Oktober, hal. 19-22.

- [22] Ishak, M.R., et. al. 2011. "Effects of Impregnation Time on Physical and Tensile Properties of Impregnated Sugar Palm (*Arenga pinnata*) Fibres." *Key Engineering Materials*. Vols. 471-472. pp 1147-1152.
- [23] Widodo, R.D., et. al. 2020. "The Effect of Orientation Fibres on Flexural and Tensile Properties of Arenga Pinnata Fibres Reinforced Polyester Composites." *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 807. 012031.
- [24] Huzaifah, M.R.M., et. al. 2019. "Comparative study of physical, mechanical, and thermal properties on sugar palm fiber (*Arenga pinnata* (Wurmb) Merr.) reinforced vinyl ester composites obtained." *Bioresources*. 14 (1). pp. 619-637.
- [25] Bachtiar, D., et. al. 2012. "Flexural and Impact Properties of Chemically Treated Sugar Palm Fiber Reinforced High Impact Polystyrene Composites." *Fibers and Polymers*. Vol.13, No.7, pp. 894-898.
- [26] Bachtiar, D., et. al. 2010. "Flexural Properties Of Alkaline Treated Sugar Palm Fibre Reinforced Epoxy Composites." *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)*. Volume 1, pp.79-90.
- [27] Leman, Z., et. al. 2008. "Moisture absorption behavior of sugar palm fiber reinforced epoxy composites." *Materials and Design*. 29. pp. 1666–1670.
- [28] Agrebi, F., et.al. 2018. "Influence of treatments on the dielectric properties of sugar palm fiber reinforced phenolic composites." *Journal of Molecular Liquids*. Accepted Manuscript.
- [29] Ilyas, R.A., et. al. 2018. "Development and characterization of sugar palm nanocrystalline cellulose reinforced sugar palm starch bionanocomposites." *Carbohydrate Polymers*. Accepted Manuscript.
- [30] Sahari, J., et. al. 2013. "Thermo-mechanical behaviors of thermoplastic starch derived from sugar palm tree (*Arenga pinnata*)." *Carbohydrate Polymers*. 92. pp. 1711-1716.
- [31] Alaaeddin, H.M., et. al. 2019. "Physical and Mechanical Properties of Polyvinylidene Fluoride - Short Sugar Palm Fiber Nanocomposites." *Journal of Cleaner Production*. Accepted Manuscript.
- [32] Mohammed, A.A., et. al. 2016. "Effect of sodium hydroxide on the tensile properties of sugar palm fibre reinforced thermoplastic polyurethane composites." *Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)*. Volume 10, Issue 1, pp. 1765-1777.
- [33] Radzi, A.M., et. al. 2019. "Effect of Alkaline Treatment on Mechanical, Physical and Thermal Properties of Roselle/Sugar Palm Fiber Reinforced Thermoplastic Polyurethane Hybrid Composites." *Fibers and Polymers*. Vol.20, No.4, 847-855.
- [34] Atiqah, A., et. al. 2018. "Thermal properties of sugar palm/glass fiber reinforced thermoplastic polyurethane hybrid composites." *Composite Structures*. Accepted Manuscript.
- [35] Widodo, B. 2008. "Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoksi Dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (*Random*)." *Jurnal Teknologi Technoscientia*. Vol. 1 No. 1.
- [36] Sastra, H.Y., et. al. 2007. "Tensile Properties of Arenga pinnata Fiber-Reinforced Epoxy Composites." *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 45: pp. 149–155.

- [37] Rashid, B., et. al. 2016. "The Mechanical Performance of Sugar Palm Fibres (Ijuk) Reinforced Phenolic Composites." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* Vol. 17, No. 8, pp. 1001-1008.
- [38] Leman, Z., et. al. 2005."Study on Impact Properties of Arenga Pinnata Fibre Reinforced Epoxy Composites." *Jurnal Teknologi Terpakai (Journal of Applied Technology)*. Vol.3, No.1. pp.14-19.
- [39] Bachtiar, D., et. al. 2008. "The effect of alkaline treatment on tensile properties of sugar palm fibre reinforced epoxy composites." *Materials and Design*. 29, pp. 1285–1290.
- [40] Ishak, M.R., et. al. 2009. "The Effect of Sea Water Treatment on The Impact and Flexural Strength of Sugar Palm Fibre Reinforced Epoxy Composites." *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*. Vol. 4. No. 3, pp. 316-320.
- [41] Bachtiar, D., et. al. 2009. "The Influence of Alkaline Surface Fibre Treatment on the Impact Properties of Sugar Palm Fibre-Reinforced Epoxy Composites." *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 48, pp. 379–383,
- [42] Ali, A., et.al. 2010. "The effect of aging on Arenga pinnata fiber-reinforced epoxy composite." *Materials and Design*. 31, pp. 3550–3554
- [43] Leman, Z., et. al. 2010."Pre-treatment by Water Retting to Improve the Interfacial Bonding Strength of Sugar Palm Fibre Reinforced Epoxy Composite." *Polymers from Renewable Resources*, Vol. 1, No. 1.
- [44] Bachtiar, D., et. al. 2011. "Effects of Alkaline Treatment and a Compatibilizing agent on Tensile Properties of Sugar Palm Fibre-Reinforced High Impact Polystyrene Composites." *BioResources*. 6 (4). pp. 4815-4823.
- [45] Izwan S.M., et. al 2020. "Effects of Benzoyl Treatment on NaOH Treated Sugar Palm Fiber: Tensile, Thermal, and Morphological Properties." *Journal of Materials Research and Technology*. 9 (3). pp. 5805-5814.
- [46] Leman, Z., et. al. 2008." The Effect of Environmental Treatments on Fiber Surface Properties and Tensile Strength of Sugar Palm Fiber-Reinforced Epoxy Composites." *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47, pp. 606–612/
- [47] ASTM D3039. 2002. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composites Material*. West Conshohocken, United States: ASTM Internasional.
- [48] ASTM D790. 2003. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. West Conshohocken, United States: ASTM Internasional.
- [49] Ibtihal, A.N., et. al. 2011. Study the Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced With silica (quartz) and Alumina Particles." *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*, Vol.11, No.3, pp. 486-506.