

Pengaruh orientasi serat penguat *fiberglass* dan eceng gondok terhadap kekuatan *impact* dan *bending* material komposit bermatrik *polyester*

Rahmat Doni Widodo^{a,1}, Muchamad Tri Pujiyanto^a, Rusiyanto^a, Heri Yudiono^a, Febri Budi Darsono^a,
Deni Fajar Fitriyana^a, Kriswanto^a, Widi Widayat^a, dan Muhammad Irfan N^a.

^aDepartemen Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, Semarang

rahmat.doni@mail.unnes.ac.id

ABSTRACT

This article describes the effect of the orientation of the fiberglass reinforcement material with water hyacinth and polyester matrix on impact and bending strength. This research was conducted because of the excessive water hyacinth population and the need to find synthetic fiber replacement material in the manufacture of the hull. Fiberglass is a type of woven roving (WR) that is removed and then rearranged based on the predetermined fiber orientation. The water hyacinth fiber is given an alkalization treatment using a NaOH solution with a concentration of 5% for 1 hour. The material variants examined are as follows: full polyester (M100), mixed variants (0°/90°/0°/90°, 0°/45°/0°/45°, 45°/90°/45°/90°, and 45°/-45°/45°/-45°), and hull material. Making specimens based on volume fraction composite consisting of 30% fiber and 70% matrix, where the fiber composition consists of 15% fiberglass and 15% water hyacinth fiber. The percentage of fiber used is 30% of the total fiber with a ratio of 1: 1 to the composite fabrication process using the hand layup method. The impact strength analysis process uses the ASTM D256 standard while the bending strength uses the ASTM D790 standard. The results of the test show that the 0°/90°/0°/90° variant has the greatest impact strength at 0.19718 J/mm². While the highest bending strength is in the 0°/45°/0°/45° variant with a value of 326.46 MPa. It can be concluded that the orientation of the reinforcing fibers influences the impact and bending strength of composite materials.

Keywords: bending, fiberglass, impact, polyester, water hyacinth

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Material komposit merupakan jenis material yang baru hasil dari inovasi dan kemajuan di bidang teknik khususnya di bidang *materials engineering* [1]. Bahan pengisi (*filler*) yang sering digunakan dalam proses fabrikasi material komposit adalah jenis serat sintetis seperti *fiberglass* dan *carbon fiber* [2]. Pada sisi lain material serat sintetis memiliki kelemahan berupa sifat tidak ramah lingkungan dan tergolong memiliki harga yang cukup tinggi [3]. Asumsi tersebut didukung oleh laporan penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan serat sintetis sebagai bahan penguat komposit memiliki dampak negatif pada lingkungan karena limbahnya tidak dapat terurai secara alami [4]. Selain tidak ramah lingkungan, serat sintetis juga memiliki harga yang cukup tinggi sehingga berimplikasi pada tingginya harga barang jadi yang terbuat dari bahan komposit serat sintetis. Meskipun serat sintetis memiliki banyak kelemahan, namun serat jenis ini memiliki kekuatan mekanis yang cukup tinggi.

Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah

menggunakan serat alam (*natural fibre*) sebagai pengganti material serat sintetis. Serat alam merupakan serat yang berasal dari alam (bukan buatan ataupun rekayasa manusia), biasanya didapat dari serat tumbuhan atau pepohonan dan memiliki kelebihan berupa bahan mudah didapat, harga relatif murah, serta ramah lingkungan [5]. Jika dibandingkan dengan serat sintetis, serat alam juga memiliki keunggulan berupa biaya produksi yang rendah, konsumsi energi yang lebih sedikit, ketersediaan luas, kepadatan rendah, serta memiliki sifat biodegradabilitas [6].

Eceng gondok merupakan tumbuhan air yang memiliki populasi cukup tinggi di Indonesia. Pada tahun 2013, 45% dari luas permukaan Rawa Pening yang terletak di Kab. Semarang Jawa Tengah tertutup oleh tanaman eceng gondok [7]. Berdasarkan hal tersebut maka tanaman ini termasuk ke dalam jenis tanaman pengganggu (*gulma*). Tingginya populasi tanaman eceng gondok tidak dibarengi dengan pemanfaatannya yang hanya terbatas sebagai bahan baku kerajinan tangan dan *furniture*. Penggunaan tanaman eceng gondok sebagai serat penguat material komposit dapat menjadi

opsi lain untuk menekan populasi tanaman gulma ini.

Penelitian karakteristik lambung kapal dari material komposit eceng gondok bermatriks *polyester* telah dilaporkan [8]. Parameter yang digunakan adalah perendaman serat eceng gondok pada larutan NaOH dengan konsentrasi 5%-20%. Hasilnya berupa kekuatan *bending* material komposit sebesar 55,1 MPa yang masih jauh di bawah standard Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yaitu sebesar 150 MPa. Penelitian tentang adanya pengaruh perendaman serat eceng gondok pada larutan NaOH dilaporkan bahwa terdapat adanya hubungan yang signifikan antara perendaman serat eceng gondok pada larutan NaOH untuk meningkatkan kekuatan *bending* [9]. Hal ini diperkuat dengan penelitian lain yang menyimpulkan bahwa perlakuan alkalisasi memiliki peranan penting dalam meningkatkan kekuatan mekanis material komposit berpenguat serat alam [10].

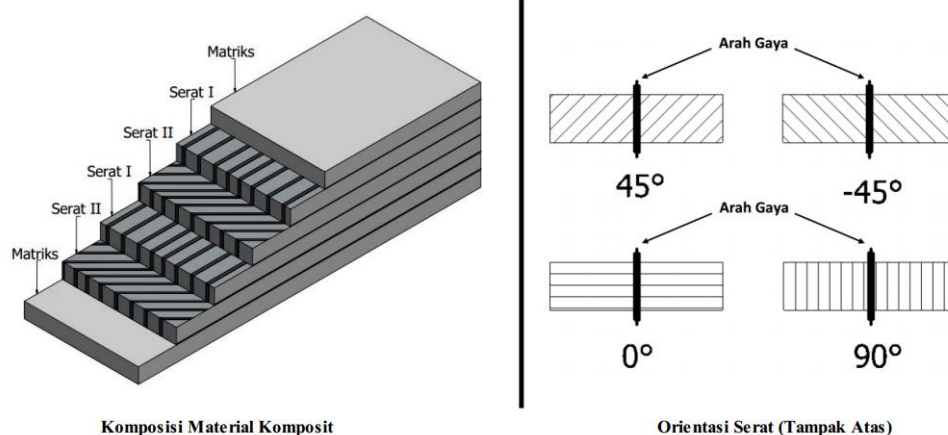
Pengaruh orientasi penyusunan serat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kekuatan mekanis material komposit serat. Dibuktikan dengan data dari penelitian terdahulu, dimana orientasi penyusunan serat 0°, 45°, dan 90° pada material komposit campuran serat eceng gondok dan serat pisang menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi berada pada material dengan sudut 90° dan kekuatan *bending* tertinggi pada material dengan sudut 45° [11].

Berdasarkan permasalahan di atas, maka diperlukan penelitian tentang Pengaruh orientasi

serat penguat *fiberglass*-eceng gondok terhadap kekuatan *impact* dan *bending* material komposit bermatriks *polyester*. Tujuannya adalah untuk menganalisis pengaruh orientasi penyusunan serat terhadap kekuatan *impact* dan *bending* material komposit. Data hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi tambahan data pada bidang *materials engineering* serta mampu menjadi alternatif lain bagi perusahaan *manufacturing* bodi kapal dalam pemilihan bahan baku.

METODE PENELITIAN

Material komposit yang diteliti terbuat dari campuran *fiberglass* dan serat eceng gondok dengan matriks resin *polyester*. Kedua jenis serat disusun berdasarkan orientasi arah serat dengan besar sudut yang telah ditentukan. Serat eceng gondok diberikan perlakuan berupa perendaman dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 5% selama 1 jam. Resin *polyester* yang digunakan adalah merk Yukalac BTQN-EX 157 yang akan dicampur campuran dengan katalis/ *hardener*. Parameter yang digunakan dalam proses pembuatan material komposit adalah fraksi volume dengan perbandingan serat dan matriks sebesar 30%:70%. Nilai sebesar 30% adalah total fraksi volume serat/ nilai akumulatif dari *fiberglass* dan serat eceng gondok. Berdasarkan pembagian lapisan dan orientasi serat, maka didapatkan varian material komposit sebagai berikut: *full polyester*, lambung kapal, 0°/90°/0°/90°, 0°/45°/0°/45°, 45°/90°/45°/90°, dan 45°/-45°/45°/-45°, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan material komposit

Proses pengujian yang dilakukan adalah pengujian mekanis dengan jenis pengujian *impact* dan pengujian *bending*. Keduanya menggunakan standard ASTM (*American*

Standard Testing and Materials). Pengujian *impact* menggunakan mesin uji *impact* khusus komposit merk GOTECH berkapasitas 25 J. Standard spesimen ASTM D256 dengan dimensi

63mm x 13mm x 10mm. Data yang dihasilkan berupa total energi serap selanjutnya akan dimasukkan ke dalam persamaan untuk mendapatkan nilai kekuatan *impact*. Persamaan untuk menghitung nilai kekuatan *impact*:

$$HI = \frac{\Delta E}{A} \quad (1)$$

Dimana:

- HI = Kekuatan *impact* (J/mm²)
- ΔE = Total energi serap (J)
- A = Luas penampang di bawah takik (mm²)

Pengujian *bending* menggunakan alat *universal testing machine* merk TORONTECH berkapasitas 600 KN. Standard spesimen ASTM D790 dengan dimensi spesimen 170 x 17 x 4 (mm). Data yang dihasilkan adalah beban maksimal dan defleksi yang akan dimasukkan ke dalam persamaan untuk mencari tegangan *bending* dan modulus elastisitas *bending*. Persamaan untuk menghitung nilai tegangan *bending*:

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

Keterangan:

- σ = Tegangan *bending* (MPa)
- P = Beban maksimal (N)
- L = Jarak antar titik tumpu (mm)
- b = Lebar spesimen (mm)
- d = Tebal spesimen (mm)

Persamaan untuk menghitung nilai regangan *bending*:

$$\varepsilon = \frac{6\delta d}{L^2} \quad (3)$$

Keterangan:

- ε = Regangan maksimal (mm/mm)

δ = Defleksi yang terjadi (mm)

Persamaan untuk menghitung nilai modulus elastisitas *bending*:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

Keterangan:

- E = Modulus elastisitas *bending* (GPa)

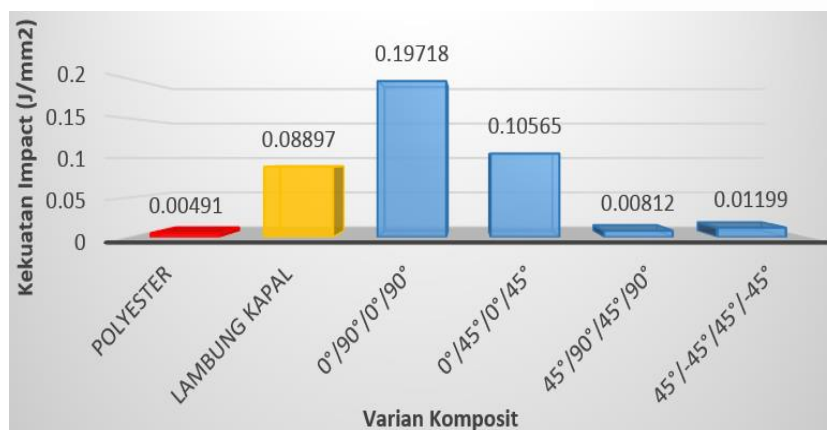
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kekuatan Impact

Kekuatan *impact* didapatkan dari proses perhitungan total energi serap dibagi dengan luasan penampang di bawah takik. Visualisasi data kekuatan *impact* dapat dilihat pada diagram batang Gambar 2.

Material *full polyester* memiliki kekuatan *impact* terkecil dengan nilai sebesar 0,00491 J/mm². Penyebabnya adalah tidak ada proses penguatan oleh serat sehingga material ini tergolong ke dalam jenis material getas.

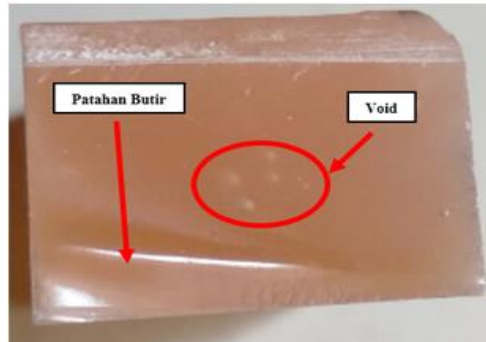
Berdasarkan Gambar 2, persentase besarnya peningkatan kekuatan *impact* material komposit jika dibandingkan dengan material 100% *polyester* terhadap nilai kekuatan *impact* material komposit varian 0°/90°/0°/90° meningkat sebesar 3.915%, varian 0°/45°/0°/45° sebesar 2.051%, varian 45°/-45°/45°/-45° sebesar 144,2%, dan terakhir varian 45°/90°/45°/90° sebesar 83,46%. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fiberglass* dan serat eceng gondok mampu meningkatkan kekuatan *impact* material komposit.



Gambar 2 Perbandingan kekuatan *impact* material komposit, lambung kapal, dan material *full polyester*

Terbukti dari Gambar 3 yang menunjukkan hasil patahan material *full polyester*. Patahan tersebut memiliki karakteristik mengkilap dan berbutir, menunjukkan bahwa terjadi pembelahan pada

material getas. Berbeda dengan lima varian lainnya yang mengalami proses penguatan oleh serat penguat, dibuktikan dari terjadinya proses *fiber pull out* pada kelima varian.



Gambar 3. Hasil patahan spesimen uji *impact* material *polyester*

Varian $0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ$ dan varian $0^\circ/45^\circ/0^\circ/45^\circ$ memiliki komposisi *fiberglass* dengan orientasi sudut 0° , arah tersebut tegak lurus terhadap arah gaya *impact* yang terjadi sehingga memungkinkan distribusi beban kejut dapat dilakukan secara maksimal ke seluruh bagian spesimen. Proses delaminasi terjadi akibat dari penggabungan *matriks* dan serat penguat yang kurang sempurna. Varian $0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ$ memiliki kekuatan *impact* paling tinggi yaitu $0,19718 \text{ J/mm}^2$ karena terjadi distribusi gaya yang maksimal. Sedangkan varian $0^\circ/45^\circ/0^\circ/45^\circ$ memiliki kekuatan *impact* yang sedikit lebih kecil yaitu senilai $0,10565 \text{ J/mm}^2$. Peristiwa ini diakibatkan oleh konsentrasi tegangan yang terjadi akibat dari susunan serat arah 45° . Terbukti dari Gambar 4 yang menunjukkan perbedaan spesimen *impact* pasca pengujian dimana proses peredaman beban kejut (*impact*) antara kedua varian menghasilkan kerusakan delaminasi yang cukup mencolok.

Berdasarkan Gambar 2, diketahui varian $45^\circ/-45^\circ/45^\circ/-45^\circ$ memiliki kekuatan *impact* $0,01199 \text{ J/mm}^2$ sedangkan varian $45^\circ/90^\circ/45^\circ/90^\circ$ memiliki kekuatan *impact* $0,00812 \text{ J/mm}^2$. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa serat eceng gondok juga memiliki peran dalam proses penguatan. Dibuktikan dengan hasil patahan pada varian $45^\circ/-45^\circ/45^\circ/-45^\circ$ yang memiliki arah yang tidak beraturan, sedangkan varian $45^\circ/90^\circ/45^\circ/90^\circ$ memiliki patahan dengan penampang yang mengikuti arah orientasi serat, seperti ditampilkan pada Gambar 5. Peristiwa ini berbeda dengan varian yang memiliki komposisi

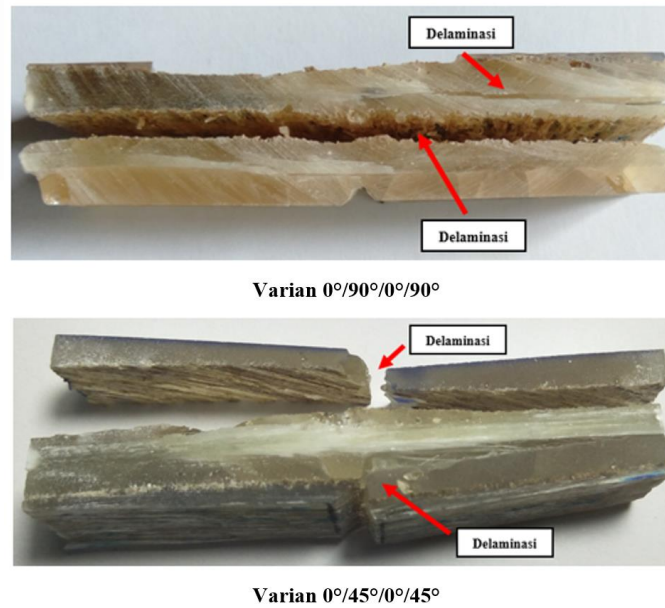
fiberglass pada arah 0° . Penyebabnya adalah *layer* pertama pada varian tersebut tidak mampu menahan gaya *impact* yang diberikan pada kecepatan $3,46 \text{ m/s}$ sehingga *layer* tersebut pecah menjadi beberapa bagian.

Material lambung kapal memiliki kekuatan *impact* sebesar $0,08897 \text{ J/mm}^2$, nilai tersebut berada di tengah-tengah antara material komposit dengan komposisi *fiberglass* orientasi 0° dan 45° . Lambung kapal terbuat dari bahan *fiberglass* jenis *woven roving* (WR) dan *chopped matt* sehingga memungkinkan terjadinya proses penguatan pada arah 0° . Namun pada lapisan tengah material ini terdapat lapisan *corematt* yang memiliki karakteristik getas, lapisan ini yang diduga menyebabkan pelemahan kekuatan *impact* lambung kapal. Terbukti dari Gambar 6 sisi kanan yang menunjukkan proses delaminasi pada lapisan *corematt*, sisi kiri menunjukkan proses *fiber pull out* dengan arah tegak lurus gaya *impact*.

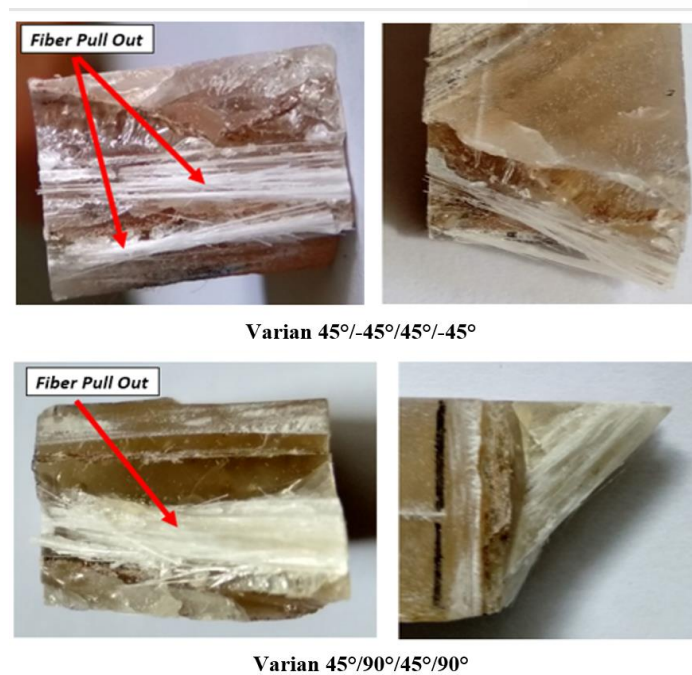
2. Kekuatan Bending

Data yang dihasilkan dari proses pengujian *bending* berupa tegangan dan modulus elastisitas *bending*. Keduanya tersaji dalam diagram batang pada Gambar 7 dan Gambar 8.

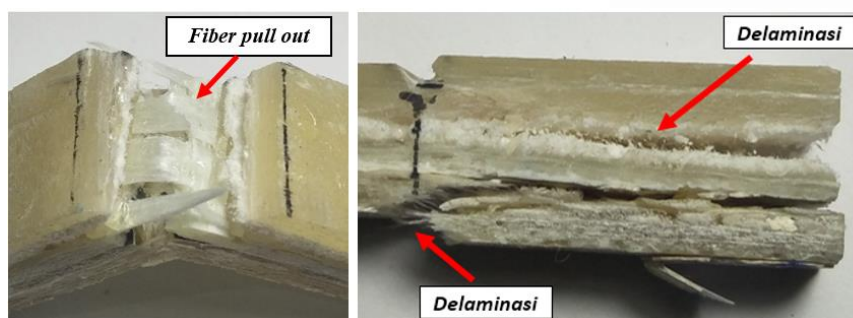
Berdasarkan Gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai kekuatan *bending* memiliki perbandingan yang mirip dengan perbandingan kekuatan *impact*.



Gambar 4. Hasil patahan spesimen uji *impact* dengan varian $0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$ dan $0^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}$



Gambar 5 Hasil patahan spesimen uji *impact* dengan varian $45^{\circ}/-45^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}$ dan $45^{\circ}/90^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}$



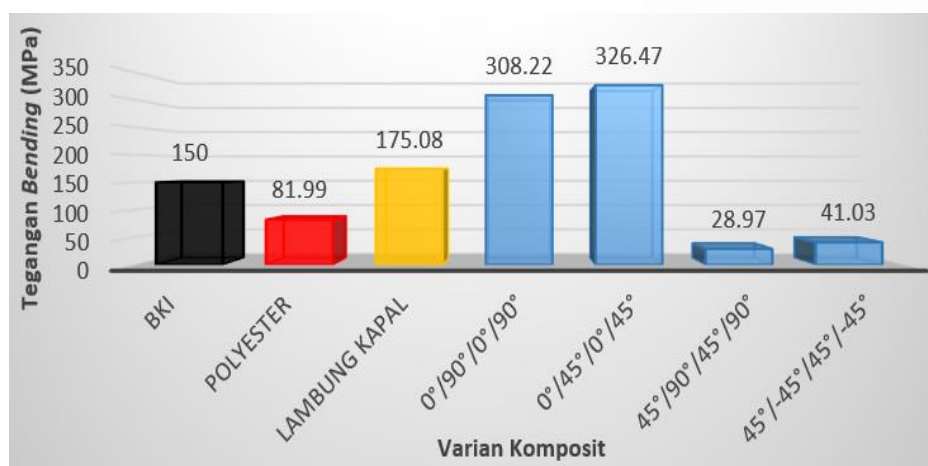
Gambar 6 Hasil patahan spesimen uji *impact* lambung kapal

Varian komposit dengan komposisi *fiberglass* orientasi 0° tetap mengungguli material lambung kapal dan varian komposit dengan komposisi *fiberglass* 45° . Perbedaan terletak pada varian dengan komposisi serat eceng gondok orientasi 45° yang mampu mengungguli varian dengan orientasi 90° . Hal ini menjadi bukti bahwa orientasi serat 45° lebih baik dalam menerima beban jika dibandingkan dengan arah 90° . Perbedaan ini disebabkan oleh kecepatan gaya *bending* yang diberikan sebesar 10 mm/menit, berbeda jauh dengan kecepatan gaya *impact*. Kecepatan yang pelan memungkinkan serat dan *matriks* mampu meregang sempurna dengan memanfaatkan sistem gaya geser. Ditinjau dari segi teknis, perbandingan pada uji *bending* menghasilkan analisis yang sama dengan analisis pada pengujian *impact*. Parameter yang digunakan adalah orientasi *fiberglass* dan serat eceng gondok dan cacat yang terjadi pada patahan spesimen hasil pengujian.

Berdasarkan Gambar 8, maka diketahui perbandingan modulus elastisitas *bending* berbeda dengan perbandingan tegangan *bending*. Terdapat beberapa perbedaan perbandingan diantaranya adalah modulus elastisitas tertinggi berada pada varian $0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ$ yaitu senilai 1,13 GPa. Perbedaan lain adalah nilai modulus elastisitas *bending* lambung kapal lebih kecil dari material *full polyester* yaitu berturut-turut sebesar 3,82 GPa dan 4,66 GPa.

Analisis yang diterapkan pada perbedaan pertama adalah kekurangan pada proses pembuatan material komposit. Dibuktikan dengan visualisasi pada Gambar 9 yang menunjukkan varian $0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ$ memiliki struktur yang lebih *rigid* jika dibandingkan dengan varian $0^\circ/45^\circ/0^\circ/45^\circ$. Bercak berwarna putih menunjukkan *fiberglass* yang tidak bercampur dengan *polyester*. Hal ini berakibat pada peningkatan nilai regangan material. Mengacu pada Persamaan 4, nilai regangan berbanding terbalik dengan nilai modulus elastisitas. Nilai tegangan *bending* kedua varian memiliki selisih yang tidak jauh sehingga perbedaan pembagi (regangan) yang signifikan mengakibatkan nilai modulus elastisitas *bending* varian $0^\circ/45^\circ/0^\circ/45^\circ$ lebih kecil jika dibandingkan dengan varian $0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ$.

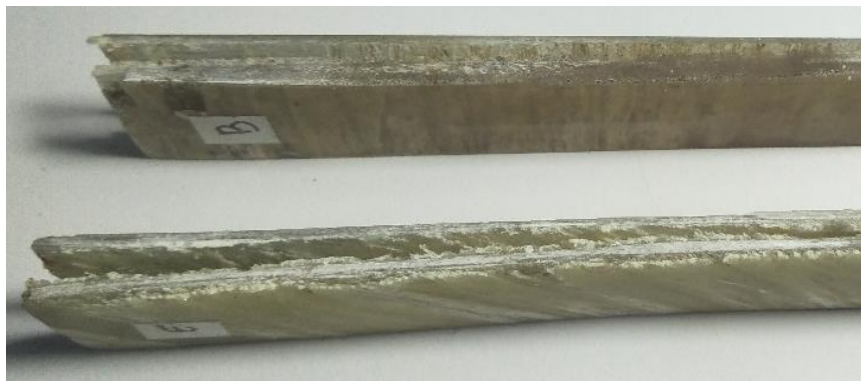
Perbedaan kedua diakibatkan tingginya jumlah *void* yang terjadi pada material lambung kapal. Terbukti dari Gambar 10 yang menunjukkan tingginya frekuensi *void* pada material ini. Sedangkan material *full polyester* mengalami peregangan maksimal di sepanjang bagian spesimen. Proses peregangan maksimal terjadi akibat perlawanan terhadap gaya *bending* yang dilakukan pada kecepatan rendah.



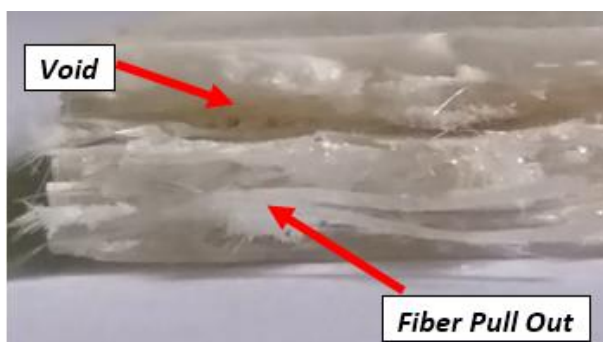
Gambar 7. Tegangan *bending* material komposit



Gambar 8. Modulus elastisitas *bending* material komposit



Gambar 9. Patahan hasil uji *bending* varian 0°/90°/0°/90° dan varian 0°/45°/0°/45°



Gambar 10. Patahan hasil uji *bending* spesimen lambung kapal

1. Orientasi arah serat penguat pada susunan material komposit campuran *fiberglass* dan serat eceng gondok bermatriks *polyester* memiliki pengaruh yang signifikan. Terbukti dari besarnya perbedaan nilai kekuatan *impact* dan kekuatan *bending* pada varian C 0x90 dan C 0x45 dengan varian C 45x90 dan C 45x-45.
2. Material komposit campuran *fiberglass* dan serat eceng gondok bermatriks *polyester* dapat dijadikan alternatif lain dalam pemilihan material lambung kapal.

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Arief, "Pengaruh Fraksi Volume Serat Kayu Gelam (Melaleuce Leucandendra) Kekuatan Tarik Dan Impak Komposit

Bermatrik Polyester," Universitas Brawijaya, 2016.

- [2] S. Sutarto and M. Badri, "Manufaktur Bodi Kendaraan Shell ECO Marathon (SEM) Tipe Urban Bahan Komposit

- Serat Karbon,” Riau University.
- [3] R. Hemanth, M. Sekar, and B. Suresha, “Effects of fibers and fillers on mechanical properties of thermoplastic composites,” *Indian J. Adv. Chem. Sci.*, vol. 2, no. January, pp. 28–35, 2014.
- [4] M. Muhajir, M. A. Mizar, and D. A. Sudjimat, “Analisis kekuatan tarik bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak,” *J. Tek. Mesin*, vol. 24, no. 2, 2017.
- [5] D. Aprilia, I. N. P. Nugraha, and K. R. Dantes, “Analisa Kekuatan Impact Dan Model Patahan Komposit Polyester-Serat Eceng Gondok Di Tinjau Dari Tipe Penyusunan Serat,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 6, no. 1, pp. 58–66, 2018.
- [6] M. Sood and G. Dwivedi, “Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review,” *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, no. 4, pp. 775–783, 2018.
- [7] B. Trisakti, N. Suwargana, and J. Santo Cahyono, “Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk memantau parameter status ekosistem perairan danau (Studi kasus: danau Rawa Pening),” in *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*, 2014, pp. 303–402.
- [8] H. Abral *et al.*, “Mechanical properties of water hyacinth fibers--polyester composites before and after immersion in water,” *Mater. & Des.*, vol. 58, pp. 125–129, 2014.
- [9] D. K. K. Cavalcanti, M. D. Banea, J. S. S. Neto, R. A. A. Lima, L. F. M. Da Silva, and R. J. C. Carbas, “Mechanical characterization of intralaminar natural fibre-reinforced hybrid composites,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 175, p. 107149, 2019.
- [10] A. K. Sinha, H. K. Narang, and S. Bhattacharya, “Evaluation of bending strength of abaca reinforced polymer composites,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 7284–7288, 2018.
- [11] K. Kunarto and E. Ernawan, “SERAT PELEPAH PISANG DAN ECENG GONDOK SEBAGAI PENGUAT KOMPOSIT DENGAN VARIASI

ARAH SERAT TERHADAP UJI TARIK DAN BENDING,” *J. Tek. MESIN*, vol. 5, no. 2, 2018.