

Analisis Kekuatan Material Sandwich dengan Skin Aluminium dan Komposit Eceng Gondok Sebagai Core

Muhammad Arsyad Suyuti^{1*}, Sitti Sahriana², Pria Gautama³, Mastang⁴, Max Helenson Jacobus⁵, Christina Agatha⁶

^{1,2,3,4,5,6} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*Email: muhammadarsyadsuyuti@poliupg.ac.id

Abstract: *The use of natural fibers in developmental science and technology in the current era is starting to develop. One of the natural fibers that have the potential to be used as a composite reinforcement material is water hyacinth. In several studies, natural fiber materials as reinforcement for composite materials have certain limitations depending on the type of fiber. This study aims to determine the mechanical properties of the water hyacinth aluminum/composite sandwich material. Water hyacinth composites use epoxy resin as the matrix and water hyacinth stem fibers as reinforcement with random fiber arrangement. The water hyacinth composite was made using a 200x200x4 mm mold. The mass fraction ratio between matrix and fiber is 96% matrix and 5% fiber. There are 3 variations in the water hyacinth reinforcing fiber size, namely 2x1 cm, 3x1 cm, and 4x1 cm. The matrix used a comparison between resin and hardener at 60%:40%. Standard test specimens for water hyacinth composites and sandwich materials refer to ASTM D 638-02 type I for tensile tests and ASTM D 790-02 for flexure tests. Testing the mechanical properties of water hyacinth fiber composites obtained the highest tensile strength at a 4x1 cm size of 53.60 MPa. The highest flexural strength in the water hyacinth fiber composite as a core sandwich material was obtained at dimensions of 4x1 cm with a value of 22.66 MPa. As for the results of testing the mechanical properties of the aluminum/water hyacinth sandwich material, the highest tensile strength value was obtained for the core material of 3x1 cm water hyacinth fiber size of 53.64 N/mm² and the highest flexural strength at 3x1 cm water hyacinth fiber size of 41.07 N/mm²*

Keywords: *Composite/water hyacinth, Aluminum, Sandwich, Mechanical Properties*

Abstrak: Pemanfaatan serat alam dalam perkembangan ilmu dan teknologi pada era saat ini mulai berkembang. Salah satu serat alam yang potensial dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit adalah eceng gondok. Dalam beberapa penelitian bahan serat alam sebagai penguat bahan komposit memiliki keterbatasan-keterbatasan tertentu tergantung dari jenis seratnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis material sandwich aluminium/komposit eceng gondok. Komposit eceng gondok menggunakan resin epoxy sebagai matrik dan serat batang eceng gondok sebagai penguat dengan susunan serat acak. Komposit eceng gondok dibuat dengan menggunakan cetakan 200x200x4 mm. Perbandingan fraksi massa antara matrik dan serat yaitu 96% matrik dan 5% serat. Ukuran serat penguat eceng gondok terdapat 3 variasi yaitu 2x1 cm, 3x1 cm dan 4x1 cm. Sedangkan matrik digunakan perbandingan antara resin dan hardener 60%:40%. Standar spesimen uji komposit eceng gondok dan material sandwich mengacu pada ASTM D 638-02 type I untuk uji tarik dan ASTM D 790-02 untuk uji lentur. Hasil pengujian sifat mekanik komposit eceng gondok diperoleh kekuatan tarik tertinggi pada ukuran serat 4x1 cm sebesar 53.60 MPa. Kekuatan lentur tertinggi pada komposit eceng gondok sebagai material core sandwich diperoleh pada ukuran serat 4x1 cm dengan nilai 22.66 MPa. Adapun hasil pengujian sifat mekanik material sandwich aluminium/eceng gondok diperoleh nilai kekuatan tarik tertinggi pada material core ukuran serat eceng gondok 3x1 cm sebesar 53,64 N/mm² dan kekuatan lentur tertinggi pada ukuran serat eceng gondok 3x1 cm sebesar 41,07 N/mm²

Kata kunci: Komposit/eceng gondok, Aluminium, Sandwich, Sifat Mekanik

1. PENDAHULUAN

Secara global pengembangan komposit dimaksudkan agar diperoleh material baru yang dapat menggantikan material logam yang umum digunakan sebelum berkembangnya material komposit. Komposit merupakan material yang terbentuk melalui kombinasi lebih dari satu material yang sifat mekanik material pembentuknya berbeda sehingga menghasilkan material baru berupa komposit dengan karakteristik sifat mekanik yang berbeda dari material pembentuknya[1]. Dalam aplikasinya

material komposit terbagi menjadi dua bagian utama yaitu matrik dan penguat. Menurut D.L. Chung pemanfaatan serat sebagai media penguat (*reinforcement*) dan pengisi (*filler*) dalam bentuk komposit berlapis, *sandwich* maupun *hibrid* dengan berbagai jenis matrik pengikat secara makromekanik telah berkembang pesat dalam aplikasi struktural.

Salah satu material maju yang memiliki banyak keunggulan yang sangat potensial dan telah banyak dikembangkan adalah jenis komposit *sandwich* yang merupakan kombinasi dua material berbeda dalam bentuk lapisan. Material komposit *sandwich* sangat beragam jenisnya berdasarkan bahan penyusun material itu sendiri. Material *sandwich* terdiri dari tiga lapisan material yaitu, dua lapisan luar atau kulit (*skin*) dan satu lapisan inti (*core*)[2]. Komposit *sandwich* adalah jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban impak, lentur, meredam suara dan getaran [3]. Umumnya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. Penggunaan material inti yang sangat ringan, maka diperoleh komposit yang bersifat kuat, ringan, dan kaku [4]. Struktur *sandwich* logam juga digunakan pada berbagai aplikasi teknik karena mempunyai sifat fisik dan mekanik yang sangat baik seperti kepadatan rendah, kekuatan tinggi, dan kemampuan menyerap energi dengan baik [5]. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural bagian internal dan eksternal pada kereta, kedirgantaraan, kelautan, otomotif, industri bangunan, serta jenis kendaraan lainnya [2].

Menurut Cortés and Cantwell, [6], komposit dalam bentuk serat lapisan logam atau *Fiber metal laminates* (FMLs) merupakan struktur *hibrid* berdasarkan lapisan lembaran logam paduan tipis dan bahan polimer yang diperkuat serat. Sedangkan menurut Ochoa-Putman and Vaidya [3], dengan material komposit lapisan logam atau *Fiber metal laminates* (FMLs) memiliki fungsionalitas tambahan seperti kekuatan lentur spesifik yang tinggi, transmisibilitas getaran, penyerapan akustik, dan karakteristik redaman jika dibandingkan dengan lembaran logam murni. Komposit FMLs juga telah digunakan dalam berbagai macam aplikasi mulai dari otomotif, biomedis hingga kedirgantaraan. Selama dua dekade terakhir pengembangan FMLs telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain *Glass Laminate Aluminium Reinforced Epoxy* (GLARE), *Aramid fibre reinforced Aluminium Laminate* (ARALL), *Sisal fibre reinforced aluminium laminates* (SiRALS) dan *Carbon Reinforced Aluminium Laminates* (CARAL) [7] melalui teknik pengepresan dingin kemudian diuji kekuatan tarik, kekuatan lentur dan benturan [4]. Dan hingga saat ini beberapa peneliti masih melakukan pengembangan komposit *sandwich* dengan menggunakan metal aluminium sebagai lapisan kulit. Aluminium sangat potensial sebagai lapisan kulit (*skin*) pada struktur komposit *sandwich* karena kepadatannya rendah, kekuatan spesifiknya baik, tahan korosi dan performa penyerapan energi spesifiknya tinggi sehingga mengurangi bobot badan kendaraan [8].

Lain halnya dengan [4] mengungkapkan bahwa penggunaan serat alami sebagai kulit maupun inti pada panel struktur *sandwich* mengalami peningkatan karena sifatnya yang ringan dan biaya rendah. Salah satu tumbuhan yang ketersediaannya melimpah di Indonesia termasuk di Makassar Sulawesi Selatan bahkan menjadi sampah sehingga nilai jualnya tidak terlalu mahal membuat sangat potensial untuk dikembangkan menjadi material baru [9]. Eceng gondok selain ringan dan biaya rendah juga cepat tumbuh membentuk lapisan tebal di atas air dan mengandung selulosa [10], [11] serta merupakan bahan penguat komposit [12]. Menurut Sumrith et al., 2020 kandungan selulosa sangat mempengaruhi sifat-sifat komposit, dengan kandungan selulosa yang lebih tinggi dapat menghasilkan sifat termal dan sifat mekanik yang lebih baik [11]. Beberapa peneliti telah mengungkap bahwa eceng gondok memiliki kandungan selulosa antara 19.2% s.d 43.01%, antara lain: 19.2% [13], 24.88 % \pm 0.05 [14], dan 43.01 % [15]. Sehingga eceng gondok merupakan serat alami yang belum banyak dimanfaatkan, tetapi sangat potensial dikembangkan menjadi bahan laminasi struktur komposit *sandwich* baik sebagai lapisan kulit maupun lapisan inti.

Berdasarkan uraian di atas diperlukan melakukan inovasi teknologi dibidang material untuk melahirkan material terbaru melalui pengembangan material baru struktur komposit *sandwich* berbahan lapisan logam aluminium tipis dan komposit serat eceng gondok. Dengan harapan material baru yang dikembangkan dapat diaplikasikan dalam beberapa bidang keteknikan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Material

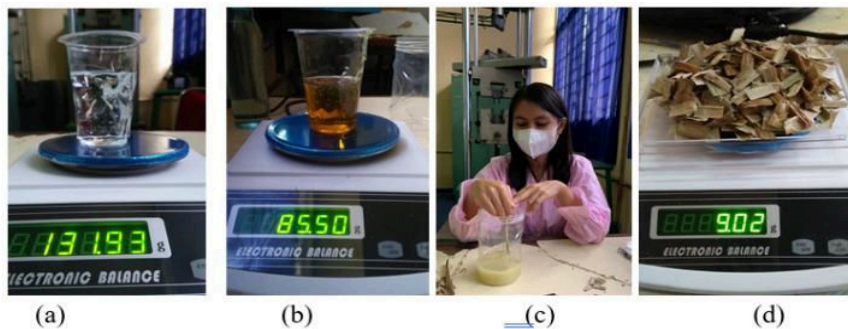
Percobaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanik Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Bahan matrik yang digunakan yaitu untuk resin menggunakan Epoxy Resin type Bisphenol A-Epichlorohydrin sedangkan untuk hardener menggunakan Epoxy Hardener EPH yang yang dibeli pada PT. Justus Kimiaraya Surabaya. Sementara untuk serat yang digunakan yaitu serat alam pada tumbuhan air eceng gondok yang diambil di daerah danau Universitas Hasanuddin, Tamalanrea, Makassar, Sulawesi Selatan. Tumbuhan eceng gondok yang diambil dipisahkan menjadi 3 bagian yaitu daun, batang, dan akar. Bagian yang diambil yaitu bagian batang, kemudian dicuci hingga bersih dan dikeringkan dibawah matahari langsung selama 1-2 minggu untuk mendapatkan hasil yang maksimal.



Gambar 1. Proses batang eceng gondok sebagai bahan baku serat alam

2.2. Pembuatan Panel Komposit

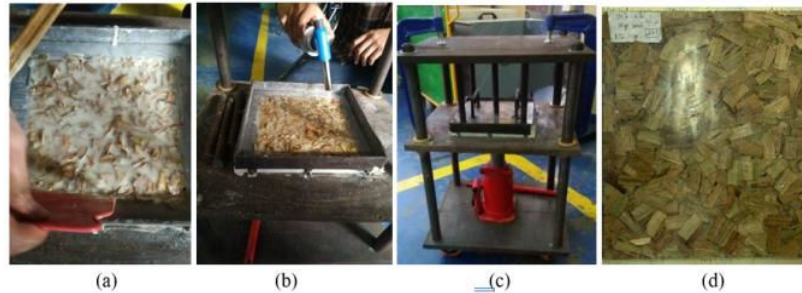
Batang eceng gondok yang telah kering kemudian diserut. Proses penyerutan dilakukan secara manual menggunakan sikat baja. Tujuan dari proses penyerutan adalah untuk memisahkan kandungan lignin dan hemiselulosa dari serat yang dapat menurunkan sifat mekanik serat. Setelah dilakukan proses penyerutan maka kulit batang eceng gondok (serat batang) digunting sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan sebelumnya. Variasi ukuran serat yang digunakan yaitu 2x1 cm, 3x1 cm, dan 4x1 cm. Serat eceng gondok yang telah digunting kemudian ditimbang dengan menggunakan perbandingan 95% matrik : 5% serat.



Gambar 2. Pengukuran massa serat dan matrik: (a). Resin, (b) Hardener, (c). Matrik (Campuran resin dan hardener), (d) serat batang eceng gondok

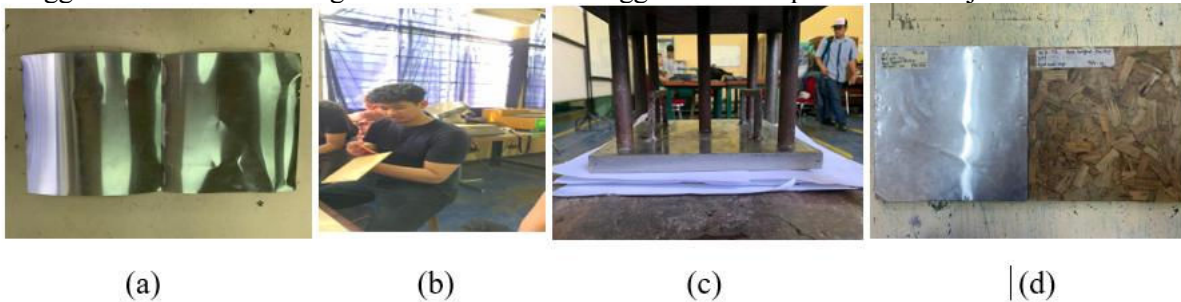
Pada proses pencetakan panel komposit terlebih dahulu menghitung massa bahan matrik dan serat sesuai dengan perbandingan yang telah ditentukan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0.01gram seperti pada gambar 2. diatas. Setelah proses pengukuran massa bahan matrik dan serat langkah selanjutnya yaitu mencampurkan resin dan hardener (matrik) dengan menggunakan pengaduk kayu. Setelah bahan matrik tercampur dengan rata maka langkah selanjutnya yaitu mempersiapkan cetakan lalu mencetak panel komposit. Cetakan yang digunakan berukuran 20x20 x0,4 cm. setelah cetakan siap maka dilakukan proses pencetakan komposit seperti pada gambar 3a. Untuk mengurangi

atau menghilangkan void maka komposit dipanaskan menggunakan *blow torch* beberapa menit sebelum dipress seperti gambar 3b. Komposit pada cetakan yang sudah dipanaskan kemudian dipress dengan menggunakan alat press dongkrak hidrolik 20 ton selama 20 jam (gambar 3c). Setelah dipress selama 20 jam komposit pada cetakan dibuka sehingga diperoleh panel komposit sebagai bahan spesimen pengujian sifat mekanis dengan ukuran 20x20x0.4 cm ditunjukkan pada gambar 3d.



Gambar 3. Proses pembuatan komposit: (a). Matrik dan serat dituang ke cetakan, (b). Komposit dipanaskan, (c). Komposit dipress (d). Panel komposit setelah dicetak

Setelah panel komposit eceng gondok jadi dilanjutkan dengan proses pembuatan panel komposit sandwich dengan cara merekatkan sisi aluminium dengan sisi komposit serat eceng gondok dengan menggunakan lem fox kuning kemudian ditekan menggunakan alat press selama 2 jam.



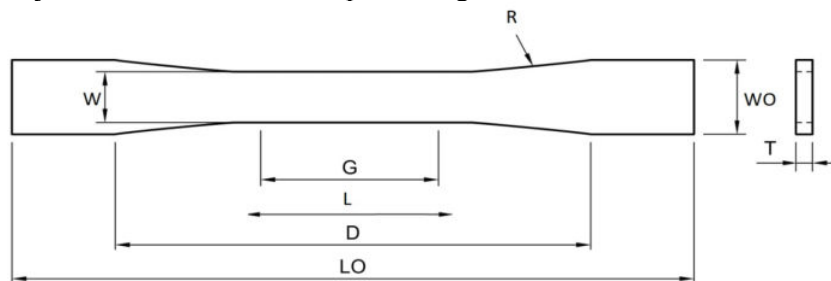
Gambar 4. Proses pembuatan panel komposit sandwich: (a). aluminium, (b). Perekatan komposit dan aluminium, (c). Metode pengepresan komposit sandwich, (d). Panel komposit sandwich

2.3. Pembuatan Spesimen Uji

Pada proses penelitian ini pembuatan sampel berdasarkan pada standar uji tarik ASTM D 638-02 tipe 1 dan standar uji lentur ASTM D 790-02 [16]. Adapun syarat dan ketentuan standar tersebut sebagai berikut:

- Spesimen Uji Tarik

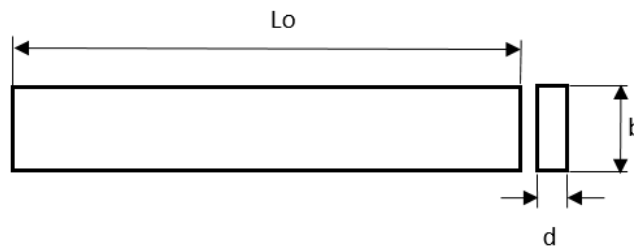
Standar spesimen uji tarik ASTM D 638-02 tipe 1 sebagai berikut:



Gambar 5. Spesimen uji tarik ASTM D 638-02 type I Tabel 1 Dimensi spesimen uji tarik berdasarkan ASTM D 638-02 type I

Simbol	Keterangan	Ukuran (mm)
W	Lebar ukur	13 ± 0.5
L	Panjang parallel	57 ± 0.5
W_0	Lebar bagian jepit, min	19 ± 6.4
L_0	Panjang total	165 (no max)
G	Panjang ukur	50 ± 0.25
D	Jarak antara pencekaman	115 ± 5
R	Radius fillet	13 ± 0.5
T	Ketebalan (diambil dari ketebalan komposit)	4

- Spesimen Uji Lentur
 Untuk pengujian kekuatan lentur mengacu pada standar ASTM D 790-02.

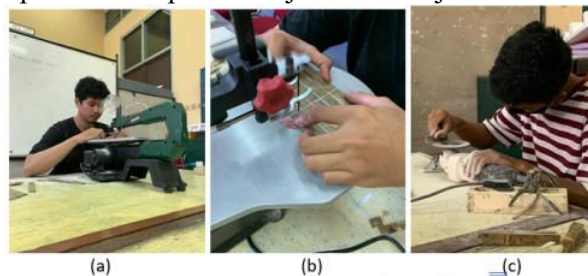


Gambar 6. Spesimen uji bending ASTM D 790-02

Tabel 2 Dimensi spesimen uji lentur berdasarkan ASTM D 790-02

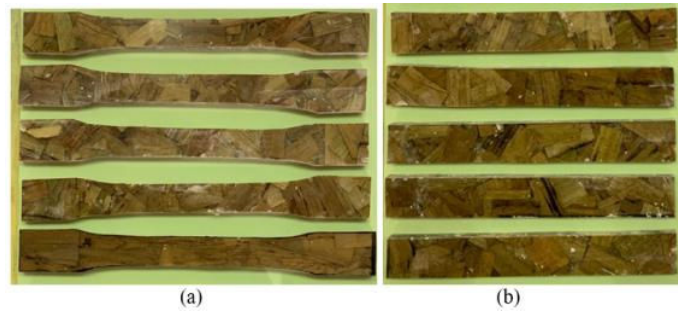
Simbol	Keterangan	Rumus	Ukuran (mm)
d	Tebal	Sesuai tebal spesimen uji	4
L	Jarak tumpuan	$16 \times d$	64
L_0	Panjang total	$L + 10\%$	120
b	Lebar	$4 \times d$	16

Panel komposit yang telah dicetak dengan dapat dibuat spesimen uji untuk uji tarik dan uji lentur sesuai dengan standar ASTM masing-masing sebanyak 5 spesimen. Pembentukan panel komposit menjadi spesimen uji dikerjakan dengan menggunakan mesin *scroll saw* untuk hasil pembuatan spesimen ukuran dan bentuknya presisi sesuai dengan standar ASTM yang sudah ditentukan. Spesimen uji tarik sebelum dibentuk terlebih dahulu digambar mal pembentuk melalui software mastercam. Spesimen yang telah dibentuk selanjutnya dilakukan proses finising menggunakan gerinda tangan. Berikut ini gambar pembuatan spesimen uji tarik dan uji lentur.



Gambar 7. Proses Pembuatan Spesimen: (a). mesin *scroll saw*, (b) Proses pemotongan specimen, (c) Finising spesimen yang telah dipotong

Berikut dibawah gambar spesimen uji tarik dan uji lentur:



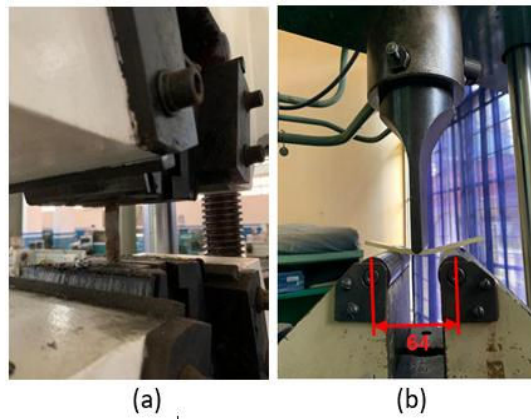
Gambar 8. Spesimen uji material komposit eceng gondok:
(a) Uji tarik, (b) Uji bending



Gambar 9. Spesimen uji material sandwich aluminium/komposit eceng gondok:
(a) Uji tarik, (b) Uji bending

2.4. Pengujian Material

Pada pengujian tarik dan pengujian lentur menggunakan Universal Testing Machine (UTM) merk Galdabini Type PM 100, menggunakan skala pembacaan 1/5 (20 kN) dengan kecepatan langkah 8 mm/min. Sebelum diuji tarik dan uji lentur maka terlebih dahulu diukur lebar, tebal dan panjang awal sampel. Proses pengujian tarik dan pengujian bending dapat dilihat pada gambar 9 berikut ini.



Gambar 10. Proses pengujian pada mesin UTM: (a). Uji Tarik, (b). Uji Lentur

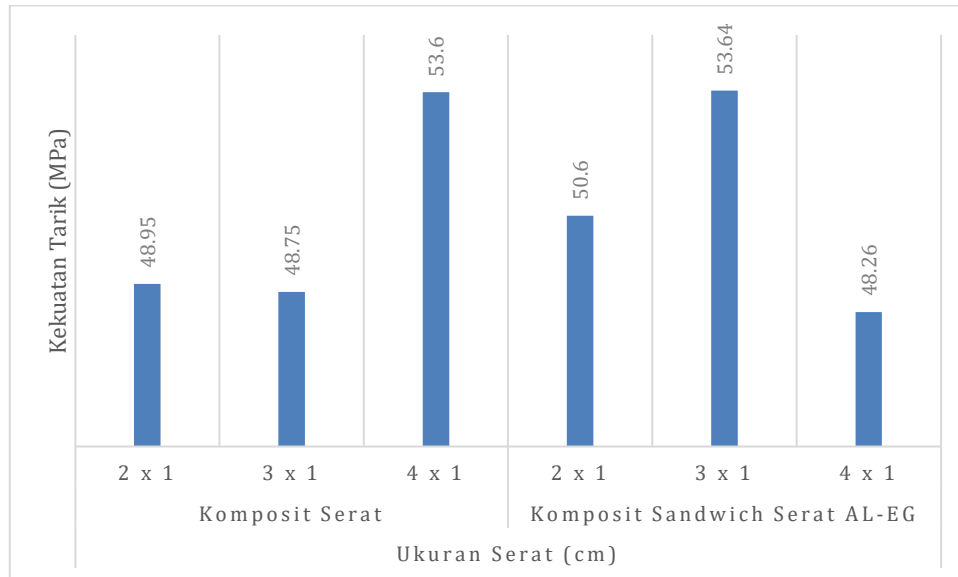
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dimana: σ = kekuatan tarik (N/mm²), F = beban tarik (N) dan A = luas penampang awal (mm²). Grafik pada gambar 11 dibawah ini menunjukkan hasil pengujian tarik material komposit eceng gondok dan sandwich aluminium/komposit eceng gondok.



Gambar 11. Perbandingan kekuatan tarik komposit serat EG dan material Sandwich Aluminium/Komposit Eceng Gondok

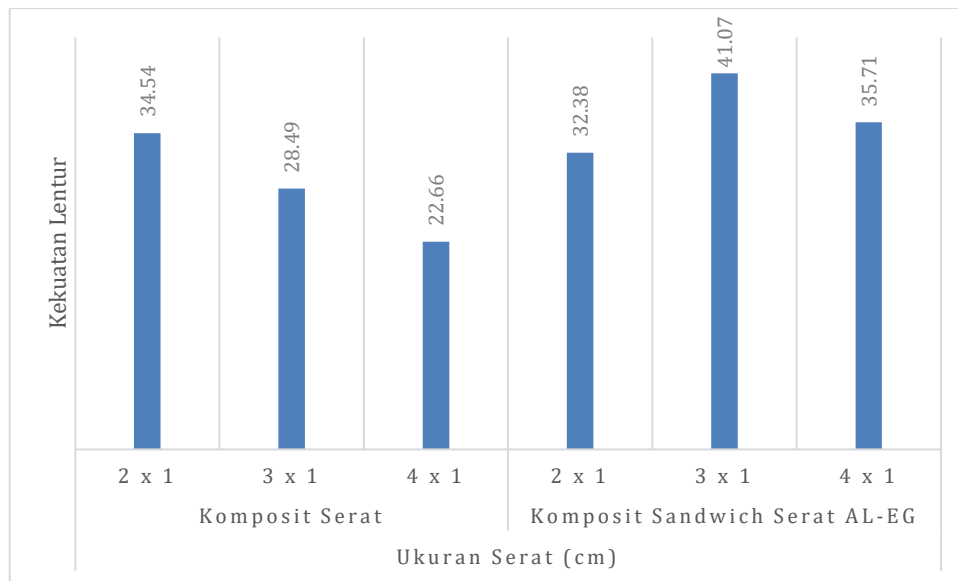
Berdasarkan pengujian tarik pada komposit serat eceng gondok kekuatan tarik tertinggi pada fraksi massa serat 5% terjadi pada ukuran serat 4 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 53.6 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terjadi pada variasi ukuran 3 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 48.75 MPa. Pada pengujian kekuatan tarik komposit sandwich kekuatan tarik tertinggi pada fraksi massa serat 5% terjadi pada ukuran serat 3 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 53.64 MPa sementara kekuatan tarik terendah yaitu pada ukuran serat 4 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 48.26 MPa.

3.2. Kekuatan Lentur

Kekuatan bending dihitung dengan menggunakan persamaan pada ASTM D 790-02 sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{3 F x L^2}{2 x b x d}$$

Dimana : σ_b = kekuatan bending (N/mm²), F = gaya bending (N), L = jarak tumpuan (mm), b = lebar spesimen (mm) dan d = tebal (mm). Pada grafik gambar 10 menunjukkan pengaruh variasi ukuran serat penguat eceng gondok terhadap kekuatan bending material komposit.



Gambar 12. Perbandingan kekuatan lentur komposit serat EG dan material Sandwich Aluminium/Komposit Eceng Gondok

Berdasarkan pengujian lentur pada komposit serat eceng gondok kekuatan lentur tertinggi pada fraksi massa serat 5% terjadi pada ukuran serat 2 x 1 cm dengan nilai kekuatan lentur 34.54 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terjadi pada variasi ukuran 4 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 22.66 MPa. Sementara pada pengujian kekuatan lentur komposit sandwich kekuatan lentur tertinggi pada fraksi massa serat 5% terjadi pada ukuran serat 3 x 1 cm dengan nilai kekuatan lentur 41.07 MPa sementara kekuatan tarik terendah yaitu pada ukuran serat 2 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 32.38 MPa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian tarik pada komposit serat eceng gondok kekuatan tarik tertinggi pada fraksi massa serat 5% terjadi pada ukuran serat 4 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 53.6 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terjadi pada variasi ukuran 3 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 48.75 MPa. Pada pengujian kekuatan tarik komposit sandwich kekuatan tarik tertinggi pada fraksi massa serat 5% terjadi pada ukuran serat 3 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 53.64 MPa sementara kekuatan tarik terendah yaitu pada ukuran serat 4 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 48.26 MPa.
2. Pengujian kekuatan lentur pada komposit serat eceng gondok kekuatan lentur tertinggi pada fraksi massa serat 5% terjadi pada ukuran serat 2 x 1 cm dengan nilai kekuatan lentur 34.54 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terjadi pada variasi ukuran 4 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 22.66 MPa. Sementara pada pengujian kekuatan lentur komposit sandwich kekuatan lentur tertinggi pada fraksi massa serat 5% terjadi pada ukuran serat 3 x 1 cm dengan nilai kekuatan lentur 41.07 MPa sementara kekuatan tarik terendah yaitu pada ukuran serat 2 x 1 cm dengan nilai kekuatan tarik 32.38 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Chandrabakty, "Optimasi Proses Gurdi Pada Material Komposit Serat Rami," Universitas Hasanuddin, 2020.

- [2] J. S. Yang *et al.*, “Dynamic responses of hybrid lightweight composite sandwich panels with aluminium pyramidal truss cores,” *J. Sandw. Struct. Mater.*, no. 145, 2020, doi: 10.1177/1099636220909816.
- [3] C. Ochoa-Putman and U. K. Vaidya, “Mechanisms of interfacial adhesion in metal-polymer composites - Effect of chemical treatment,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 42, no. 8, pp. 906–915, 2011, doi: 10.1016/j.compositesa.2011.03.019.
- [4] P. R. Oliveira, J. C. dos Santos, S. L. M. Ribeiro Filho, B. Torres Ferreira, T. H. Panzera, and F. Scarpa, “Eco-friendly Sandwich Panel Based on Recycled Bottle Caps Core and Natural Fibre Composite Facings,” *Fibers Polym.*, vol. 21, no. 8, pp. 1798–1807, 2020, doi: 10.1007/s12221-020-9818-7.
- [5] X. Li, S. Li, Z. Wang, J. Yang, and G. Wu, “Response of aluminum corrugated sandwich panels under foam projectile impact – Experiment and numerical simulation,” *J. Sandw. Struct. Mater.*, vol. 19, no. 5, pp. 595–615, 2017, doi: 10.1177/1099636216630503.
- [6] P. Cortés and W. J. Cantwell, “The prediction of tensile failure in titanium-based thermoplastic fibre-metal laminates,” *Compos. Sci. Technol.*, vol. 66, no. 13, pp. 2306–2316, 2006, doi: 10.1016/j.compscitech.2005.11.031.
- [7] L. M. G. Vieira, J. C. dos Santos, T. H. Panzera, J. C. C. Rubio, and F. Scarpa, “Novel fibre metal laminate sandwich composite structure with sisal woven core,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 99, pp. 189–195, 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.02.008.
- [8] A. B. Y. P. Kumar and P. K. Maareddygar, “Design and Construction of Chassis for Uniti L7e vehicle,” pp. 8–12, 2016.
- [9] “Research Article Characterization of tapioca starch biopolymer composites reinforced with micro scale water hyacinth fibers † Hairul Abral.”
- [10] M. Asrofi, H. Abral, A. Kasim, and A. Pratoto, “XRD and FTIR Studies of Nanocrystalline Cellulose from Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) Fiber,” *J. Metastable Nanocrystalline Mater.*, vol. 29, pp. 9–16, 2017, doi: 10.4028/www.scientific.net/jmm.29.9.
- [11] N. Sumrith, L. Techawinyutham, M. R. Sanjay, R. Dangtungee, and S. Siengchin, “Characterization of Alkaline and Silane Treated Fibers of ‘Water Hyacinth Plants’ and Reinforcement of ‘Water Hyacinth Fibers’ with Bioepoxy to Develop Fully Biobased Sustainable Ecofriendly Composites,” *J. Polym. Environ.*, vol. 28, no. 10, pp. 2749–2760, 2020, doi: 10.1007/s10924-020-01810-y.
- [12] A. F. Abdel-Fattah and M. A. Abdel-Naby, “Pretreatment and enzymic saccharification of water hyacinth cellulose,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 87, no. 3, pp. 2109–2113, 2012, doi: 10.1016/j.carbpol.2011.10.033.
- [13] A. Singh and N. R. Bishnoi, “Comparative study of various pretreatment techniques for ethanol production from water hyacinth,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 44, pp. 283–289, 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2012.11.026.
- [14] K. Shankar, N. S. Kulkarni, R. Sajjanshetty, S. K. Jayalakshmi, and K. Sreeramulu, “Co-production of xylitol and ethanol by the fermentation of the lignocellulosic hydrolysates of

- banana and water hyacinth leaves by individual yeast strains,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 155, no. July, p. 112809, 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112809.
- [15] M. Asrofi, H. Abral, Y. K. Putra, S. M. Sapuan, and H. J. Kim, “Effect of duration of sonication during gelatinization on properties of tapioca starch water hyacinth fiber biocomposite,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 108, pp. 167–176, 2018, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.165.
- [16] F. Gapsari and P. H. Setyarini, “Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Resin Berpenguat Serbuk Kayu,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 59–64, 2010.