

ANALISIS SIFAT MEKANIK KOMPOSIT SERAT BAMBU TALI SEBAGAI *MULTILAYERED ARMOR SYSTEM*

1,2,3) Fakultas Sains dan
Teknologi Pertahanan
Universitas Pertahanan RI,
Indonesia,

1) Badan Penelitian dan
Pengembangan
Kementerian Pertahanan RI

Corresponding email ¹⁾ :
ianqismika@gmail.com

Received: 25.01.2023

Accepted: 17.05.2023

Published: 28.06.2023

©2023 Politala Press.
All Rights Reserved.

Rosihan Ramin ¹⁾, Bondan Tiara Sofyan ²⁾,
Mas Ayu Elita Hafizah ³⁾

Abstrak. Komposit serat alam merupakan salah satu bahan alternatif yang digunakan sebagai Multilayered Armor System (MAS). Salah satu serat alam yang paling umum digunakan sebagai MAS yaitu serat bebahan dasar bambu tali. Komposit serat bambu tali memiliki densitas dan biaya proses manufaktur yang murah. Namun, secara sifat mekanis, komposit serat bambu memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis sifat mekanis komposit serat bambu tali yang memiliki orientasi 0°/90°. Bahan komposit yang digunakan yaitu serat bambu tali sebagai penguat dan epoxy sebagai matriks pengikat serat. Dari pengujian mekanis yang dilakukan diperoleh kekuatan Tarik rata-rata komposit serat bambu tali sebesar 109.86 MPa. Kekuatan bending sebesar 95.32 MPa dan kekuatan geser sebesar 34.11 MPa.

Kata Kunci: Komposit, Serat bambu, Multilayered armor, Kekuatan mekanik.

Abstract. Natural fiber composites are an alternative Multilayered Armor System (MAS) material. One of the most common natural fibers used as MAS is a fiber made from bamboo rope. Bamboo fiber composites have a low density and a low manufacturing cost. However, in terms of mechanical properties, bamboo fiber composites have different characteristics. In this research, the mechanical properties of the bamboo rope fiber composite, which has an orientation of 0°/90°, will be analyzed. The composite materials used are bamboo rope fiber as a reinforcement and epoxy as the fiber binding matrix. From the mechanical tests performed, it was found that the average tensile strength of the bamboo rope fiber composite was 109.86 MPa. The bending strength is 95.32 MPa, and the shear strength is 34.11 MPa.

Keywords: Composite, Bamboo fiber, Multilayered armor, Mechanical strength.

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v10i1.231>

1. Pendahuluan

Multilayered Armor System (MAS) merupakan gabungan dari bahan pelindung yang digunakan sebagai lapisan pelindung pada seorang personel. MAS biasanya memiliki lapisan keramik pada bagian depan. Lapisan keras ini memiliki fungsi untuk merusak dan mengikis ataupun mematahkan proyektil yang mengenainya. Keunggulan dari lapisan keramik ini dapat mengurangi banyak energi proyektil melalui fragmentasinya yang melibatkan mekanisme nukleasi, pertumbuhan, koalesensi, dan penyebaran retakan mikro. Pada lapisan MAS kedua yang merupakan bagian penopang keramik dilapisi oleh bahan komposit yang ringan berfungsi untuk mengurangi energi tumbukan dengan menyerap sebagian ledakan fragmen baik dari proyektil atau keramik [1][3]. Lapisan kedua MAS biasanya menggunakan bahan aramid seperti Kevlar dan Tawron. Namun massa jenis yang dimiliki masih sangat terlalu berat. Oleh karena itu, penggunaan bahan alternatif untuk meredam energi proyektil sangat diperlukan. Pada saat ini, penggunaan serat alam sebagai bahan alternatif lapisan komposit MAS menjadi

pilihan utama. Bahan alternatif serat alam memiliki massa jenis yang ringan dan harga yang murah [4]. Salah satu serat alam yang dijadikan alternatif komposit untuk MAS yaitu serat bambu [2][5].

Bambu merupakan salah satu bahan komposit serat alam karena bambu terdiri dari serat-serat kecil yang diikat hemi-selulosa. Kandungan kimia bambu terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin yang mencakup 90% massa bambu, sedangkan unsur minor pada bambu terdiri dari resin, tannin, wax, dan garam inorganik. Serat bambu memiliki massa jenis sebesar 0.6 - 1.1 g/cm³, tensile strength 140-230 MPa dan modulus elastisitas sebesar 11-17 GPa [6][9].

Berikut properti mekanik yang dimiliki oleh serat alam jika dibandingkan dengan serat bambu menurut Liu [7].

Tabel 1. Properti mekanik serat alam [7]

No	Serat	Massa Jenis (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Young's Modulus (GPa)
1	Kapas	1.5 – 1.6	287 – 800	1.2 – 1.5	13 - 27
2	Bambu	0.6 – 0.8	140 – 800	1.3	11 – 30
3	Pisang	1.4	500	5.9	12
4	Rami	1.5	560	15	24.5

Dalam penelitian ini serat bambu yang digunakan merupakan jenis bambu yang sering ditemukan di daerah Jawa Barat, yaitu bambu tali (*Gigantochloa Apus*). Pemilihan jenis bambu lokal ini diharapkan dapat meningkatkan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN). Kemudian pemilihan jenis bambu tali jika dilihat dari beberapa karakteristik bambu yang ada di Indonesia menurut Abdullah bambu tali memiliki massa jenis dan nilai *tensile strength* yang lebih baik jika dibandingkan dengan bambu jenis Temen, Kuning dan Gombang [10].

Berikut properti mekanik yang dimiliki oleh empat jenis bambu yang sering ditemui di Indonesia menurut penelitian yang telah dilakukan Abdullah.

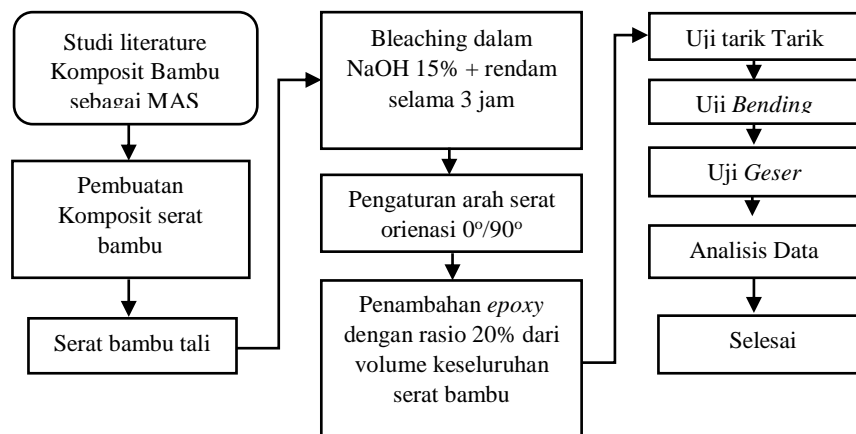
Tabel 2. Properti mekanik jenis bambu yang sering ditemukan di Indonesia[10]

No	Jenis	Massa Jenis (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)
1	Bambu Temen	0.76	195.25	16.68
2	Bambu Tali	0.60	178.8	7.52
3	Bambu Kuning	0.62	82.3	14.35
4	Bambu Gombang	0.78	113.75	16.03

Metode pembuatan komposit serat bambu tali yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu *hand-lay up*. Metode manufaktur *Hand lay-up* lebih banyak digunakan untuk material dengan serat penguat. Keuntungan utamanya adalah biaya yang murah proses yang sangat simple sehingga dibutuhkan sedikit peralatan dan cetakan dapat dibuat dari gips, kayu, lembaran plat dan kaca [11] [12]. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan analisa sifat mekanik yang dimiliki oleh komposit serat bambu tali dengan orientasi serat 0°/90°. pengujian sifat mekanis yang dilakukan dengan melakukan pengujian tarik, bending dan geser.

2. Metodologi

Pembuatan komposit serat bambu tali diawali dengan mempersiapkan bahan baku bambu tali sebagai serat penguat dan *epoxy* sebagai matriks. Kemudian proses selanjutnya yang dilakukan yaitu perlakuan alkali pada serat bambu dengan menggunakan larutan NaOH 15%, dengan tujuan untuk membersihkan serat bambu dari lignin selulosa [7]. Dilakukan dengan perendaman selama 3 jam, kemudian dilakukan pencucian dengan air bersih yang mengalir dan serat bambu akan melakukan proses penyisiran sebelum dikeringkan pada suhu ruangan 27°C. Tahap berikutnya pembuatan komposit dengan arah orientasi 0°/90°. Pembuatan komposit mengikuti ukuran cetakan yang dibuat dengan ukuran dengan mengikuti standar ASTM D3039, ASTM D790-03 dan ASTM D5379. Pada tahap akhir dilakukan uji balistik pada serat komposit bambu tali.



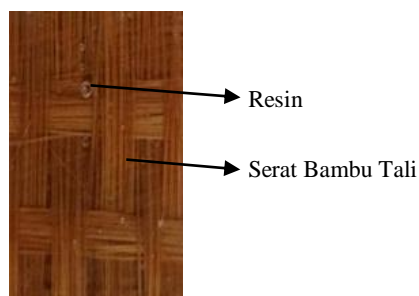
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan dalam pembuatan komposit yaitu *Hand Lay-Up* menggunakan proses *Vacuum Bagging* dengan menggunakan *roll* tangan untuk proses laminasi matriks pada serat bambu tali.

Komposit yang dibuat telah mengikuti cetakan, selanjutnya menunggu proses *vacuum* selama 5 jam sampai matriks kering menyerat pada serat bambu tali dan mudah dilepaskan dari cetakan. Setelah dilepaskan pada permukaan cetakan, kemudian dipotong menjadi spesimen-spesimen dengan panjang dan lebar mengikuti standar ASTM D3039 untuk uji tarik, ASTM D790-03 untuk uji *bending* dan ASTM D5379 untuk uji geser. Dalam setiap pengujian dibuat tiga spesimen komposit serat bambu tali untuk memperoleh nilai pengujian yang valid.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan proses pembuatan komposit serat bambu tali yang telah dilakukan diperoleh sampel komposit sebagai berikut.



Gambar 2. Komposit Serat Bambu Tali Orientasi 0°/90°

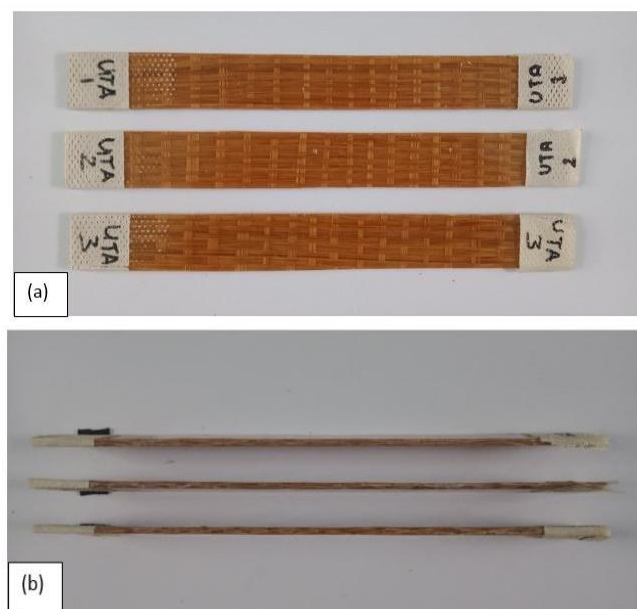
Hasil perhitungan massa jenis komposit yang diperoleh sebesar 0.68 g/cm^3 . Jika dibandingkan dengan bahan MAS yang umumnya berasal dari plastik aramid (1.44 g/cm^3 [3]) komposit serat bambu tali yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki massa dua kali lebih ringan dari bahan MAS yang berasal dari plastik aramid. Karakteristik sifat mekanik komposit serat bambu tali dari hasil uji tarik diperoleh nilai beban maksimum, besar kekuatan tarik dan *elongation* pada ketiga spesimen yang telah disediakan. Besar nilai rata-rata maksimum kekuatan tarik pada komposit serat bambu tali bermatriks *epoxy* pada arah orientasi 0°/90° dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil uji tarik komposit serat bambu tali

No	Spesimen Uji	Beban Maksimum (N)	Luas Penampang (mm ²)	Elongation (mm)	Maksimum Tensile Strength (MPa)
1	UTA 1	6647.05	60.26	0.8050	110.30
2	UTA 2	6549.08	55.83	1.3500	112.20
3	UTA 3	7261.63	67.81	0.7925	107.08
Rata-rata		6819.25	61.30	0.9825	109.86

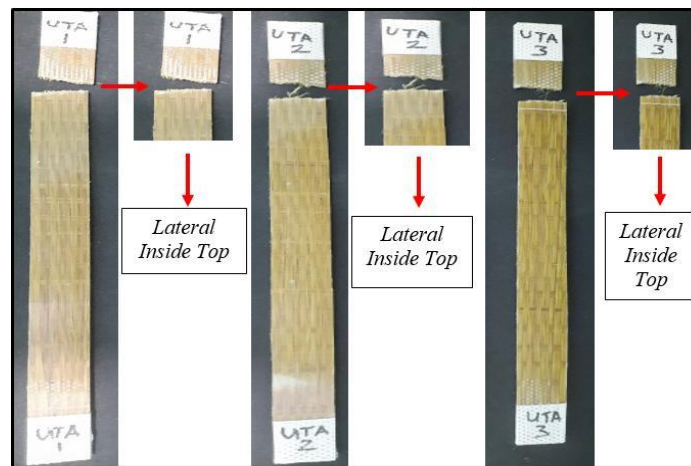
Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa komposit serat bambu tali berdasarkan orientasi 0°/90° pada spesimen UTA 1 memiliki nilai maksimum *tensile strength* 110.30 MPa pada *elongation* 0.8050 mm, untuk spesimen UTA 2 *tensile strength* 112.20 MPa pada *elongation* 1.3500 mm, kemudian untuk spesimen untuk spesimen UTA 3 *tensile strength* 107.08 MPa pada *elongation* 0.7925 mm. Sehingga dapat disimpulkan untuk komposit serat bambu tali berdasarkan orientasi 0°/90° nilai *tensile strength* tertinggi yaitu pada spesimen UTA 2 sebesar 112.20 MPa dan yang terendah pada UTA 3 yaitu sebesar 107.08 MPa, dengan rata-rata maksimum *tensile strength* pada ketiga spesimen yaitu sebesar 109.86 MPa. Perbedaan hasil *tensile strength* dari setiap spesimen uji pada setiap spesimen orientasi 0°/90° dipengaruhi posisi dari urutan spesimen dikarenakan proses manufaktur yang menyebabkan jumlah resin pada bagian tengah lebih sedikit dibandingkan pada bagian pinggir atau sisi-sisi samping dari spesimen komposit tersebut, sehingga mengakibatkan pada bagian tengah, serat pada spesimen kurang mengikat dikarenakan total resin lebih sedikit dalam mengikat serat. Pada komposit serat bambu tali ini, serat memiliki fungsi sebagai penopang kekuatan dari komposit yang dibuat. Sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit tergantung pada serat yang digunakan [13]. Oleh karena itu dalam penelitian ini besarnya jumlah serat bambu yang digunakan sangat mempengaruhi nilai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang dimiliki oleh komposit.

Berikut ini adalah analisis spesimen uji tarik material komposit serat bambu tali setelah mengalami pengujian tarik pada arah orientasi 0°/90°. Pada Gambar 3 adalah specimen komposit serat bamboo tali sebelum melakukan proses uji tarik pada arah orientasi 0°/90°.



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik Serat Bambu Tali Orientasi 0°/90° Sebelum Melakukan Pengujian (a) Tampak Depan dan (b) Tampak Samping

Adapun pada Gambar 4 adalah spesimen komposit serat bambu tali sesudah melakukan proses uji tarik pada arah orientasi 0°/90°, sebagai berikut.



Gambar 4. Spesimen Komposit Serat Bambu Tali Setelah Mengalami Pengujian Tarik Orientasi 0°/90°

Berdasarkan Gambar 4 foto makro hasil pegujian tarik komposit serat bambu bermatriks *epoxy* pada arah orientasi 0°/90° dari ke tiga spesimen yang sama sesuai orientasinya, memiliki jenis modulus kegagalan yang sama. Berdasarkan ASTM D3039/D3039M spesimen uji ini mengalami jenis modulus kegagalan kerusakan yaitu kerusakan *Lateral Inside Top*, yang merupakan kegagalan yang diakibatkan karena patah pada *grip* atau penjepit alat uji bagian atas, kegagalan ini terjadi karena spesimen tidak diberi *grip* tambahan pada bagian yang akan di jepit.

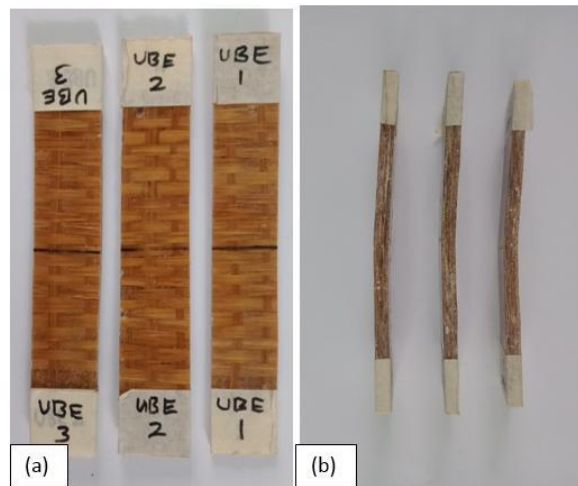
Dari hasil pengujian *bending*, didapat nilai beban maksimum dan besar kekuatan *bending* maksimum pada masing-masing spesimen, dan diperoleh rata-rata beban maksimum serta rata-rata kekuatan *bending* maksimum pada komposit serat bambu berdasarkan orientasi 0°/90°. Berikut hasil uji *bending* dari komposit uji *bending* berdasarkan orientasi 0°/90°.

Tabel 4. Hasil uji *bending* komposit serat bambu tali

No	Spesimen Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Bending Strength (MPa)
1	UBE 1	27.99	5.03	596.39	97.080
2	UBE 2	27.38	5.05	560.87	94.759
3	UBE 3	29.73	5.04	584.35	94.121
Rata –rata		28.36	5.04	580.53	95.32

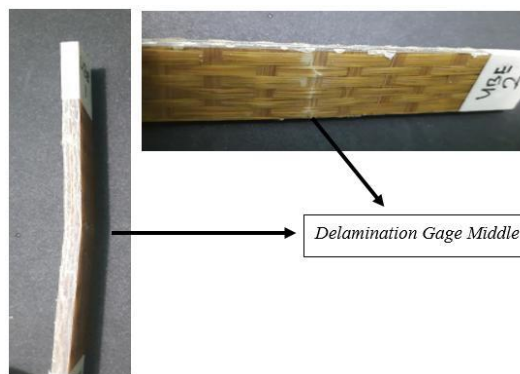
Kekuatan *bending* rata-rata sebesar 95.32 MPa, sedangkan nilai kekuatan *bending* minimum terjadi pada spesimen UBE 3 sebesar 94.121 MPa dan kekuatan *bending* maksimum terjadi pada spesimen UBE 1 sebesar 97.080 MPa. Rata-rata hasil beban maksimum dari ketiga spesimen sebesar 580,53 N. Besarnya kekuatan *bending* dipengaruhi oleh besarnya jumlah serat komposit yang dimiliki [14].

Berikut ini adalah analisis spesimen uji *bending* material komposit serat bambu tali sebelum mengalami pengujian *bending* pada arah orientasi 0°/90°. Pada Gambar 5 adalah spesimen komposit serat bambu tali setelah mengalami uji *bending* pada arah orientasi 0°/90°.



Gambar 5. Spesimen Komposit Serat Bambu Tali Orientasi 0°/90° Sebelum Melakukan Uji *Bending* (a) Tampak Depan dan (b) Tampak Samping

Adapun pada Gambar 6 adalah spesimen komposit serat bambu tali sesudah melakukan proses uji tarik pada arah orientasi 0°/90°, sebagai berikut.



Gambar 6. Spesimen Komposit Serat Bambu Tali Setelah Mengalami Pengujian *Bending* Orientasi 0°/90°

Berdasarkan Gambar 6 foto makro hasil pegujian *bending* komposit serat bambu bermatriks *epoxy* pada arah orientasi 0°/90°, memiliki jenis modulus kegagalan perpatahan yaitu patah ulet (*Ductile fracture*) dimana spesimen tidak mengalami patah. Kemudian spesimen uji rata-rata mengalami modulus kegagalan kerusakan yaitu jenis kerusakan *Delamination gage middle* (DGM) yang merupakan kegagalan delaminasi atau terlepasnya ikatan lapisan serat dan matriks pada bagian tengah akibat kurangnya lapisan perekat (matriks).

Kemudian dari hasil uji geser diperoleh nilai *stress-strain* yang disajikan dalam tabel hasil uji geser sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil uji geser komposit serat bambu tali

No	Spesimen Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Maksimum (N)	Maksimum Stress (MPa)
1	UGE 1	22.01	4.200	1820.9	35.161
2	UGE 2	21.03	3.970	1710.4	34.087
3	UGE 3	20.05	3.840	1460.4	33.686
Rata-rata		21.03	4.003	1663.9	34.11

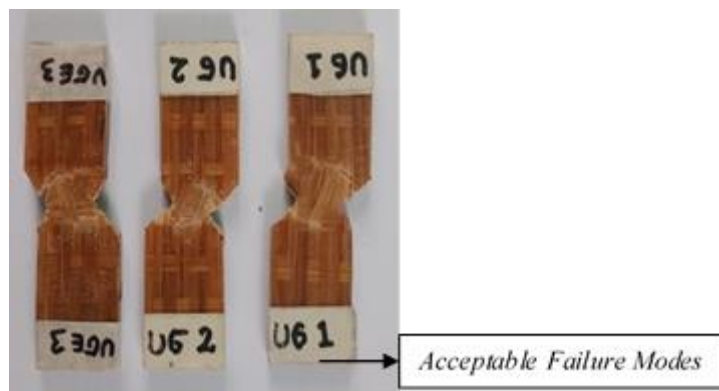
Dari hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa besarnya kekuatan geser pada spesimen komposit serat bambu tali bermatriks *epoxy* arah orientasi 0°/90° adalah rata-rata 34,311 MPa, dimana kekuatan geser minimum

pada spesimen komposit serat bambu tali bermatriks *epoxy* arah orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$ adalah 33,686 MPa dan kekuatan geser maksimumnya adalah 35,161 MPa.

Berikut ini adalah analisis spesimen uji geser material komposit serat bambu tali sebelum mengalami pengujian geser orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$. Pada Gambar 7 adalah spesimen komposit serat bambu tali setelah mengalami uji geser pada arah orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$.



Gambar 7. Spesimen Komposit Serat Bambu Tali Orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$ Sebelum Melakukan Pengujian *Bending*



Gambar 8. Spesimen Komposit Serat Bambu Tali Setelah Mengalami Pengujian Geser Orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$.

Pada Gambar 8 berdasarkan ASTM D5379 mode kegagalan ketiga spesimen uji geser serat bambu tali bermatriks *epoxy* pada arah orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$ adalah *Acceptable Failure Modes* hal ini dikarenakan kerusakan yang terjadi di area *V Notch*, kegagalan ini biasanya disebabkan karena adanya beban geser dan pembebanan yang kurang merata yang terjadi pada spesimen uji [15].

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, komposit serat bambu tali yang akan digunakan sebagai *Multilayered Armor System* telah berhasil dibuat. Dari pengujian sifat mekanis yang dilakukan diperoleh nilai kekuatan tarik komposit serat bambu tali memiliki nilai sebesar 109.86 Mpa, kekuatan *bending* sebesar 95.32 MPa dan kekuatan geser sebesar 34.11 Mpa, sehingga dapat diketahui bahwa untuk dimensi komposit yang berbeda, nilai kekuatan mekanis komposit memiliki nilai yang relative sama. Dengan adanya informasi sifat mekanis ini diharapkan dapat dilakukan penelitian lanjutan mengenai aplikasi komposit serat bambu tali untuk MAS.

Daftar Pustaka

- [1] R. H. M. Reis, L. F. Nunes, F. S. da Luz, V. S. Candido, A. C. R. da Silva, and S. N. Monteiro, "Ballistic performance of guaruman fiber composites in multilayered armor system and as single target," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 8, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/polym13081203.
- [2] S. N. Monteiro *et al.*, *Natural Fibers Reinforced Polymer Composites Applied in Ballistic Multilayered Armor for Personal Protection—An Overview*. Springer International Publishing, 2019.
- [3] R. B. Da Cruz, E. P. L. Junior, S. N. Monteiro, and L. H. L. Louro, "Giant bamboo fiber reinforced epoxy composite in multilayered ballistic armor," *Mater. Res.*, vol. 18, no. Suppl 2, pp. 70–75, 2015, doi: 10.1590/1516-1439.347514.
- [4] D. Chandramohan, M. Dhanashekar, T. Sathish, and S. D. Kumar, "Characterization of hybrid aloe vera/bamboo/palm/kevlar fibers for better mechanical properties," *Mater. Today Proc.*, vol. 37, no. Part 2,

- pp. 2223–2227, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.657.
- [5] T. Jackson Singh, S. Samanta, and H. Singh, “Influence of Kevlar Hybridization on Dielectric and Conductivity of Bamboo Fiber Reinforced Epoxy Composite,” *J. Nat. Fibers*, vol. 14, no. 6, pp. 837–845, 2017, doi: 10.1080/15440478.2017.1279583.
- [6] K. L. Pickering, M. G. A. Efendy, and T. M. Le, “A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 83, pp. 98–112, 2016, doi: 10.1016/j.compositesa.2015.08.038.
- [7] D. Liu, J. Song, D. P. Anderson, P. R. Chang, and Y. Hua, “Bamboo fiber and its reinforced composites: Structure and properties,” *Cellulose*, vol. 19, no. 5, pp. 1449–1480, 2012, doi: 10.1007/s10570-012-9741-1.
- [8] P. Manik, A. Suprihanto, S. Nugroho, and Sulardjaka, “the Effect of Lamina Configuration and Compaction Pressure on Mechanical Properties of Laminated Gigantochloa Apus Composites,” *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 6, no. 12(114), pp. 6–12, 2021, doi: 10.15587/1729-4061.2021.243993.
- [9] Sudarisman, B. N. R. Muhammad, and R. H. Aziz, “Tensile and Flexural Properties of Bamboo (*Gigantochloa apus*) Fiber/Epoxy Green Composites,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 758, pp. 119–123, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.758.119.
- [10] A. H. D. Abdullah, N. Karlina, W. Rahmatiya, S. Mudaim, Patimah, and A. R. Fajrin, “Physical and mechanical properties of five Indonesian bamboos,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 60, no. 1, pp. 2–7, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/60/1/012014.
- [11] K. Abdurrohman, T. Satrio, N. L. Muzayadah, and Teten, “A comparison process between hand lay-up, vacuum infusion and vacuum bagging method toward e-glass EW 185/lycal composites,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1130, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1130/1/012018.
- [12] Nurmadina, N. Nugroho, and E. T. Bahtiar, “Structural grading of Gigantochloa apus bamboo based on its flexural properties,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 157, pp. 1173–1189, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.170.
- [13] F. Y. Utama and H. Zakiyya, “Pengaruh variasi arah serat komposit berpenguat hibrida fiberhybrid terhadap kekuatan tarik dan densitas material dalam aplikasi body part mobil,” *Mekanika*, vol. 15, no. 2, pp. 60–69, 2016.
- [14] J. Oroh, F. Sappu, and R. Lumintang, “ANALISIS SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT DARI SERAT SERAT SABUT KELAPA,” *J. POROS Tek. MESIN UNSRAT*, vol. 01, no. 01, 2012, doi: 10.2307/964910.
- [15] E. Herdian, P. Pratomo, and M. S. Y. Lubis, “SIMULASI MATERIAL KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT BAMBUI DALAM PEMBUATAN KOMPONEN FRONT SPLITTER PADA MOBIL,” vol. 6, no. 2, 2021.