

ANALISIS *TENSILE STRENGTH* PADA KOMPOSIT HYBRID SERAT SINTETIS, SERAT ALAM PELEPAH SALAK, FILLER SiC DAN Al_2O_3 DENGAN METODE VACUUM ASSISTED RESIN TRANSFER MOLDING

Nur Agnes Eka Anggraeni¹, Muslimin², Vika Rizkia³, dan Muhammad Abdul Ghofur^{4*}

^{1,2,3} Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

⁴ Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara

^{4*}m_abdulghofur@aau.ac.id

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan meningkatkan usaha pertahanan keamanan terhadap ancaman yang terjadi terutama di daerah-daerah konflik menuntut kelengkapan persenjataan dan perlindungan balistik yang lebih baik bagi pasukan-pasukan keamanan khususnya Tentara Nasional Indonesia. Salah satu bahan yang digunakan dalam perlindungan balistik adalah komposit yang biasa digunakan untuk rompi tahan peluru. Penelitian ini adalah bagian dari penelitian besar dalam menguji coba manufaktur bahan komposit resin epoxy berpenguat serat pelepah salak, serat karbon, serat kevlar menggunakan filler SiC dan Al_2O_3 dengan metode *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM) yang melakukan analisis pada uji kekerasan, kekuatan impak, kekuatan tarik, mikrostruktur, dan kemampuan balistik. Tetapi, penelitian ini hanya akan fokus menganalisis kekuatan tarik dari bahan komposit tersebut. Variasi volume serat yang diterapkan dalam komposit adalah variasi I (10% serat pelepah salak dan 10% serat kevlar), variasi II (5% serat pelepah salak dan 15% serat kevlar), variasi III (7,5% filler SiC, 7,5% filler Al_2O_3 dan 20% serat kevlar) dan variasi IV (5% filler SiC, 5% filler Al_2O_3 dan 25% serat kevlar). Spesimen dianalisis dengan menggunakan uji tarik menurut ASTM D 3039/D 3039M. Kekuatan tarik yang dihasilkan variasi II lebih besar 39,8% dari variasi I, sedangkan variasi IV lebih besar 9,41% dari variasi III.

Kata Kunci: Komposit, Kevlar, Karbon, Pelepah Salak, *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM), Uji Tarik

Abstract — *This research aims to determine and improve security defense efforts against threats that occur, especially in conflict areas, requiring better weapons and ballistic protection for security forces, especially the Indonesian National Army. One of the materials used in ballistic protection is a composite which is commonly used for bulletproof vests. This research is part of a large study in testing the manufacture of epoxy resin composite materials reinforced with snake fruit frond fiber, carbon fiber, Kevlar fiber using SiC filler and using the Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) method which carries out analyzes on hardness, impact strength and strength tests. tensile, microstructure, and ballistic capabilities. However, this research will only focus on analyzing the tensile strength of the composite material. Variations in fiber volume applied in the composite are variation I (10% snake fruit midrib fiber and 10% Kevlar fiber), variation II (5% snake fruit midrib fiber and 15% Kevlar fiber), variation III (7.5% SiC filler, 7, 5% Al_2O_3 filler and 20% Kevlar fiber) and variation IV (5% SiC filler, 5% Al_2O_3 filler and 25% Kevlar fiber). Specimens were analyzed using tensile tests according to ASTM D 3039/D 3039M. The tensile strength produced by variation II is 39.8% greater than variation I, while variation IV is 9.41% greater than variation III.*

Keywords: Composite, Kevlar, Carbon, Salak Midrib, Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM), Tensile Test

1. PENDAHULUAN

Beberapa dekade terakhir, material komposit menjadi fokus dunia karena menjanjikan keunggulan berupa rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi dibandingkan dengan logam konvensional [19]–[15]. Material komposit sudah banyak digunakan dalam berbagai industri seperti otomotif, kelautan, kedirgantaraan, infrastruktur, peralatan olahraga serta kemiliteran [15]. Dari beragam jenis material komposit yang terdapat di dunia, komposit berpenguat serat sintesis ataupun alam telah menjadi material teknik penting yang digunakan dalam aplikasi militer seperti rompi tahan peluru ringan untuk perlindungan balistik. Adapun serat kevlar menjadi penguat utama dalam material komposit rompi tahan peluru karena keunggulan yang ditawarkan yaitu memiliki kekuatan yang baik, dampak yang tinggi dan kapasitas penyerapan energi yang tinggi. Namun serat kevlar memiliki kelemahan yaitu harga yang cukup mahal [19], [21]–[17]. Guna menyelesaikan masalah tersebut, beberapa tahun ini banyak penelitian dan pengembangan yang dilakukan pada komposit berpenguat serat alam karena jumlahnya yang berlimpah, berat jenisnya rendah dan memiliki sifat mekanis yang baik [8]–[2]. Serat alam yang berasal dari tanaman yang dibudidayakan memiliki keuntungan memperoleh waktu panen yang singkat. Sehingga, serat alam menjadi alternatif penguat untuk aplikasi komposit dalam masalah lingkungan. Dalam penelitian ini dipilih serat pelepah salak yang merupakan salah satu tanaman tropis yang berlimpah di Indonesia khususnya di Daerah Istimewa Yogyakarta dan menjanjikan untuk menghasilkan serat dari kulit pohonnya sehingga berpotensi

sebagai sumber baru bahan serat [10], [11]. Komposit berpenguat serat alam memiliki keuntungan yaitu jumlahnya yang berlimpah, density yang rendah, memiliki sifat mekanik yang baik dan mempunyai sifat biodegradable [21]–[17]. Serat pelepah salak (*salacca, zalacca, L. family Arecaceae*) memiliki 44,87% alfacellulose, 35,84% hemiselulosa, 21,96% lignin, 14% kadar air dan kekuatan tarik sebesar 115,43 MPa [11]. Metode *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM) merupakan solusi metode manufaktur komposit yang paling banyak digunakan. Hal ini dikarenakan metode VARTM ini dilakukan dengan proses cetakan tertutup sehingga memungkinkan untuk menghasilkan komposit dengan kualitas tinggi [6], [12]–[10]. Uji tarik (*tensile strength*) merupakan pengujian untuk mengetahui kekuatan tarik, regangan dan modulus elastisitas dari spesimen uji. Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh bahan spesimen uji sebelum patah atau rusak. Ketika spesimen uji menerima beban tarik, maka terjadi tegangan dan pertambahan panjang. Penelitian ini adalah seri dari penelitian pembuatan atau manufaktur bahan komposit resin epoxy dengan serat pelepah salak, serat kevlar dan serat karbon menggunakan metode VARTM untuk aplikasi rompi tahan peluru, dimana sudah dianalisis Kekuatan Impaknya yang menunjukkan hasil yang cukup untuk dilakukan uji balistik [14]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dianalisis hanya pada kekuatan tarik dari specimen tersebut untuk data dukung uji balistik yang akan dilakukan pada tahap selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah manufaktur, dimana tahapan pertamanya diawali dengan studi literatur, persiapan bahan, manufaktur komposit metode *Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM), pengujian spesimen, analisis dan pembahasan dan terakhir kesimpulan. Serat yang digunakan yaitu serat yang didapat dari bagian pelepah salak seperti pada gambar 1. Serat pelepah salak berfungsi sebagai *reinforcement* (penguat).



Gambar 1. Serat pelepah salak

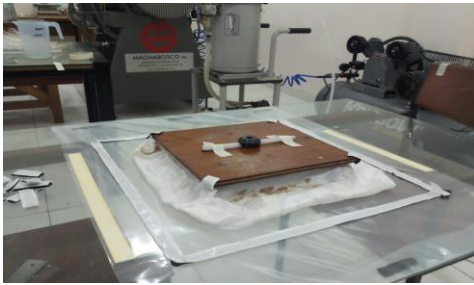
Resin epoksi yang digunakan adalah resin epoxy AM-8927 yang dapat diaplikasikan untuk pembuatan komposit metode *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM). Resin epoksi berfungsi sebagai matriks. Sedangkan fungsi dari hardener adalah untuk mengeraskan resin epoksi. VARTM merupakan metode manufaktur komposit polimer menggunakan metode cetakan tertutup dimana resin dihisap oleh pompa *vacuum* agar masuk ke dalam melewati selang dari pot resin dan mengalir ke cetakan yang sebelumnya sudah diisi serat. Resin akan mengalir dan menjadi satu dengan serat sampai resin masuk ke dalam *trap pot*, lalu dibiarkan dengan tekanan yang dikunci sampai mengeras, kemudian penutup cetakan yang dibuat dari vacuum bag dilepas dan dipisahkan dari cetakan dasar. Pembuatan komposit dengan metode *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM) menggunakan 4 variasi penelitian seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Variasi I dan II

ditujukan untuk melihat pengaruh serat pelepah salak. Sedangkan, untuk melihat pengaruh filler SiC, filler Al_2O_3 dapat dianalisis melalui variasi III dan variasi IV. Serat yang digunakan yaitu serat yang didapat dari bagian pelepah salak. Serat pelepah salak berfungsi sebagai *reinforcement* (penguat).

Tabel 1 Variasi Penelitian

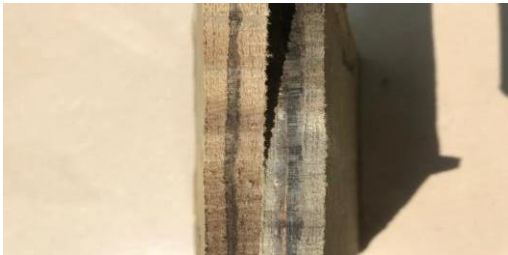
Var	Matrix	Filler		Penguat		Serat Pelepah Salak
	Resin Epoxy	SiC	Al_2O_3	Serat Carbon	Serat Kevlar	
I	60%	5%	5%	10%	10%	10%
II	60%	5%	5%	10%	15%	5%
III	60%	7,5%	7,5%	2,5%	20%	2,5%
IV	60%	5%	5%	2,5%	25%	2,5%

Modifikasi dengan menambah cetakan atas yang rigid dengan ukuran yang sama dengan ukuran dalam cetakan bagian bawah sehingga cetakan bagian atas tersebut akan masuk ke dalam cetakan bagian bawah. Modifikasi ini diterapkan pada manufaktur komposit untuk spesi men variasi pertama, dimana untuk membuat spesimen dengan ketebalan 2 cm dibuat cetakan bawah dengan ketebalan 2,5 cm dan cetakan atas 0,5 cm. Ketika proses vacuum berlangsung maka cetakan bagian atas akan masuk ke dalam cetakan bagian bawah sehingga terbentuklah spesimen dengan ketebalan 2 cm. Lubang tempat masuknya distribusi resin dibuat 1 garis di cetakan bagian atas. Granit ukuran 60 cm x 60 cm dijadikan sebagai alas bagian bawah. Diperoleh hasil cetakan yang memiliki permukaan atas yang cukup baik dan ketebalan sesuai yang diinginkan, namun butuh usaha lebih untuk memposisikan cetakan bagian atas bisa masuk tepat ketika proses vacuum berlangsung seperti terlihat di gambar 2.



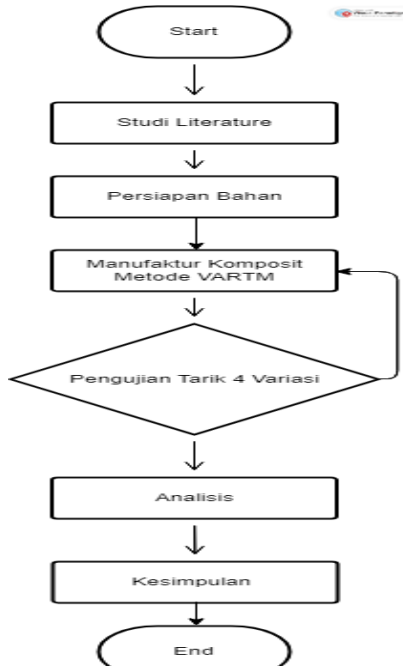
Gambar 1 Manufaktur komposit

Berikut ini contoh spesimen hasil manufaktur VARTM dari keempat variasi yang menghasilkan kepadatan dan distribusi resin yang baik, gambar 3.



Gambar 3. Contoh spesimen komposit hasil manufaktur VARTM

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Spesimen uji yang digunakan berbentuk persegi panjang yang disesuaikan menurut ASTM D 3039/D 3039M. Adapun

ukuran spesimen uji tarik yang digunakan berdasarkan standar ASTM D 3039/D 3039M adalah simetris yaitu dengan ukuran $p \times l \times t = 25 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,25 \text{ cm}$. Setelah dilakukan pengujian tarik, dapat dilihat lokasi kegagalan spesimen. Kekuatan tarik dari spesimen dapat dihitung dengan persamaan 1 [3]:

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

Dimana:

σ = Tegangan tarik (Mpa)

F = Beban maksimum dalam arah tegak lurus terhadap spesimen (N)

A_0 = Luas penampang awal spesimen uji (mm^2)

Regangan dari spesimen dapat dihitung dengan persamaan 2 [7]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \quad (2)$$

Dimana:

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

l_0 = Panjang awal (mm)

Modulus elastisitas dari spesimen dapat dihitung dengan persamaan 3 [3], [18]:

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

Dimana:

E = Modulus elastisitas (Mpa)

Σ = Tegangan tarik (Mpa)

ε = Regangan

Prosedur Uji Tarik yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

- Menyiapkan sampel spesimen untuk uji tarik.
- Meletakkan spesimen pada grip atas untuk *tensile test*.
- Mengatur motor dengan cara *klik up/down* pada layar monitor sambil diperhatikan agar spesimen benar terjepit rata dengan gripnya.
- Memasukkan data-data spesimen yang diperlukan pada komputer.
- Kemudian klik pada *test* sampai spesimen patah.



Gambar 4. Spesimen patah

- Mencetak hasilnya menggunakan printer.
- Mengambil spesimen dengan memutar *grip crank* ke kiri.
- Melihat hasil kegagalan uji tarik yang terjadi pada spesimen.

Pengujian tarik dilakukan dengan standar ASTM D3039 di Laboratorium Komposit Akademi Angkatan Udara (AAU) dengan alat uji tarik pada gambar 5.



Gambar 5. Universal testing machine

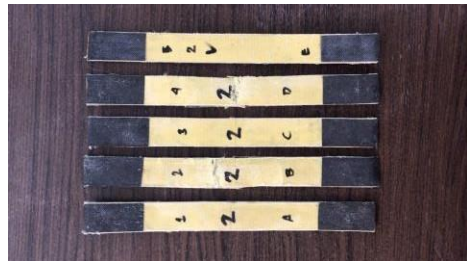
3. HASIL PENELITIAN

Berdasarkan tujuan dari variasi yang dilakukan dalam penelitian ini, maka untuk penyajian data hasil penelitian akan mengikuti hal tersebut. Sehingga data variasi pertama akan dibandingkan dulu dengan data variasi kedua. Hasil ke gagal uji tarik pada variasi I diberikan pada gambar 6 dan hasil kegagalan pada

variasi II diberikan pada gambar 7 berikut ini;



Gambar 6. Hasil kegagalan uji tarik variasi I



Gambar 7. Hasil kegagalan uji tarik variasi II

Data hasil pengujian tarik pada variasi pertama dan kedua ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengujian tarik dari variasi I dan 2

Var	Jml Spc	t (mm)	w (mm)	F (N)	A (mm ²)	l_0 (mm)	ΔL (mm)
I	A	2,5	25	9232,69	62,5	150	7,75
	B	2,5	25	8009,09	62,5	150	5,87
	C	2,5	25	8944,8	62,5	150	6,15
	D	2,5	25	11305,36	62,5	150	7,12
	E	2,5	25	8941,83	62,5	150	4,05
II	A	2,5	25	15454,58	62,5	150	9,45
	B	2,5	25	14783,72	62,5	150	8,75
	C	2,5	25	13753,95	62,5	150	8,1
	D	2,5	25	15902,43	62,5	150	8,75
	E	2,5	25	17271,96	62,5	150	7,73

Keterangan:

t = Tebal spesimen (mm)

w = Lebar spesimen (mm)

F = Beban maksimum (N)

A = Luas area tegangan tarik (mm²)

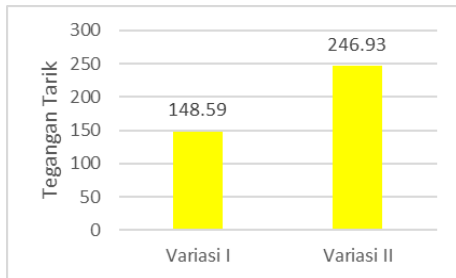
l_0 = Panjang awal (mm)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

Dari tabel diatas dapat dicari nilai tegangan tarik, regangan dan modulus elastisitas menggunakan persamaan 1, 2 dan 3. Maka diperoleh nilai tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai tegangan tarik, regangan dan modulus elastisitas dari variasi I dan 2

Variasi	σ (N/mm ²)	ϵ	E (N/mm ²)
I (Rata-rata)	148,59	0,04	3746,81
II (Rata-rata)	246,93	0,06	4355,91



Gambar 8. Nilai tegangan tarik pada variasi I dan II

Gambar diatas merupakan nilai kekuatan tarik rata-rata dari lima buah spesimen pada dua variasi fraksi volume. Hasil uji tarik dari variasi pertama diperoleh nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 148,59 N/mm². Sedangkan hasil uji tarik dari variasi kedua diperoleh nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 246,93 N/mm². Selanjutnya gambar kegagalan pengujian tarik pada variasi ketiga dan keempat dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 berikut ini.



Gambar 9. Hasil kegagalan uji tarik variasi III



Gambar 10. Hasil kegagalan uji tarik variasi IV

Sedangkan data hasil pengujian tarik pada variasi ketiga dan keempat dapat dilihat

pada Tabel 4.

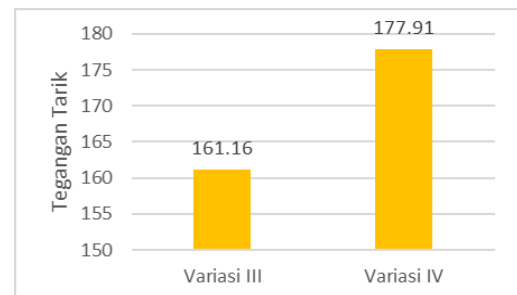
Tabel 4. Data hasil pengujian tarik dari variasi III dan 4

Var	Jml Spc	t (mm)	w (mm)	F (N)	A (mm ²)	Lo (mm)	ΔL (mm)
III	A	2,5	25	10241,36	62,5	150	6,4
	B	2,5	25	9849,42	62,5	150	7,4
	C	2,5	25	10934,02	62,5	150	6,45
	D	2,5	25	10102,38	62,5	150	6,05
	E	2,5	25	9235,61	62,5	150	5,85
IV	A	2,5	25	10040,45	62,5	150	11,7
	B	2,5	25	10826,97	62,5	150	7,8
	C	2,5	25	12146,78	62,5	150	11
	D	2,5	25	11176,55	62,5	150	7,45
	E	2,5	25	11405,02	62,5	150	6,35

Dari tabel diatas dapat dicari nilai tegangan tarik, regangan dan modulus elastisitas menggunakan persamaan 1, 2 dan 3. Maka diperoleh nilai tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai tegangan tarik, regangan dan modulus elastisitas dari variasi III dan 4

Variasi	σ (N/mm ²)	ϵ	E (N/mm ²)
III (Rata-rata)	161,16	0,04	3779,98
IV (Rata-rata)	177,91	0,06	3190,45



Gambar 11. Nilai tegangan tarik pada variasi III dan IV

Gambar diatas merupakan nilai kekuatan tarik rata-rata dari lima buah spesimen pada dua variasi fraksi volume. Hasil uji tarik dari variasi ketiga diperoleh nilai kekuatan tarik sebesar 161,16 N/mm². Sedangkan hasil uji tarik dari variasi keempat diperoleh nilai kekuatan tarik sebesar 177,91 N/mm².

4. DISKUSI PENELITIAN

Variasi pertama dengan komposisi penambahan serat pelepeh salak dan

pengurangan serat kevlar menghasilkan kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan dengan variasi kedua dengan komposisi pengurangan serat pelepah salak dan penambahan serat kevlar. Hal ini disebabkan karena penambahan fraksi volume serat pelepah salak menurunkan nilai kekuatan tarik [20]. Hasil kekuatan tarik variasi kedua dengan komposisi 5% serat pelepah salak adalah 39,8% lebih besar dibanding variasi pertama dengan komposisi 10% serat pelepah salak Variasi ketiga dengan komposisi penambahan filler yang disertai pengurangan serat kevlar menghasilkan kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan dengan variasi keempat dengan komposisi pengurangan filler yang disertai penambahan serat kevlar. Hal ini disebabkan karena jumlah serat kevlar yang lebih besar dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik [21]. Pengaruh peningkatan kekuatan tarik ini lebih didominasi efek penambahan serat kevlar dari pada penambahan filler. Hasil kekuatan tarik variasi keempat dengan komposisi 25% serat kevlar adalah 9,4% lebih besar dibanding variasi ketiga dengan komposisi 20% serat kevlar.

5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

- Metode *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM) dengan cetakan ketiga merupakan modifikasi terbaik karena menghasilkan distribusi resin dan manufaktur yang lebih cepat.
- Nilai kekuatan tarik pada variasi I sebesar 148,59 N/mm², regangan sebesar 0,04% dan modulus elastisitas sebesar 3746,81 N/mm². Nilai kekuatan tarik pada variasi II sebesar 246,93 N/mm², regangan sebesar 0,06% dan modulus elastisitas sebesar 4355,9 N/mm². Sehingga variasi II memiliki kekuatan tarik 39,8% lebih besar dibanding variasi I. Sedangkan nilai kekuatan tarik pada variasi III sebesar 161,16 N/mm², regangan sebesar 0,04% dan modulus elastisitas sebesar 3779,98 N/mm². Nilai kekuatan tarik variasi IV sebesar 177,91 N/mm², regangan sebesar 0,06%, modulus elastisitas sebesar 3190,45 N/mm².
- Sehingga variasi IV memiliki kekuatan tarik 9,41% lebih besar dibanding variasi III. Hasil penelitian ini dapat mendukung analisis uji bahan anti peluru dari bahan komposit yang telah dibuat. Penelitian lanjutan dapat dilaksanakan dengan melakukan uji balistik dan sifat mekanik berupa kekerasan dan sifat fisik.

REFERENSI

- [1] A. M. R. Azmi, M. T. H. Sultan, M. Jawaid, and A. F. M. Nor, "A newly developed bulletproof vest using kenaf-X-ray film hybrid composites," *Mech. Phys. Test. Biocomposites, Fibre-Reinforced Compos. Hybrid Compos.*, pp. 157–169, 2018, doi: 10.1016/B978-0-08-102292-4.00009-6.
- [2] A. M. R. Azmi, M. T. H. Sultan, A. Hamdan, A. F. M. Nor, and K. Jayakrishna, "Flexural and Impact Properties of A New Bulletproof Vest Insert Plate Design Using Kenaf Fibre Embedded with X-Ray Films," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 5, pp. 11193–11197, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.01.143.
- [3] [32]ASTM D 3039/D 3039M-17, *Standard Test Method For Tensile Properties Of Polymer Matrix Composite Material*. West Conshohocken, PA, 2017.
- [4] B. Suresha, N. M. Indushekhara, C.

- Varun, D. Sachin, and K. Pranao, "Effect of carbon nanotubes reinforcement on mechanical properties of aramid/epoxy hybrid composites," *Mater. Today Proc.*, vol. 43, no. xxxx, pp. 1478–1484, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.307.
- [5] D. Ariawan, E. Surojo, J. Triyono, I. F. Purbayanto, A. F. Pamungkas, and A. R. Prabowo, "Micromechanical analysis on tensile properties prediction of discontinuous randomized zalacca fibre/high-density polyethylene composites under critical fibre length," *Theor. Appl. Mech. Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 57–65, 2020, doi:10.1016/j.taml.2020.01.009.
- [6] G. Guo, S. Alam, and L. D. Peel, "Numerical analysis of ballistic impact performance of two ceramic-based armor structures," *Compos. Part C Open Access*, vol. 3, no. October, p. 100061, 2020, doi: 10.1016/j.jcomc.2020.100061.
- [7] [33] G. F. Aynalem, "Effect of Al₂O₃ on the Tensile and Impact Strength of Flax/Unsaturated Polyester Composite with Emphasis on Automobile," vol. 2021, 2021.
- [8] H. Ning, S. Pillay, N. Lu, and S. Zainuddin, "Natural fiber-reinforced high-density polyethylene composite hybridized with ultra-high molecular weight polyethylene," 2019, doi: 10.1177/0021998318822716.
- [9] Hartono, M. Rifai, and H. Subawi, *Pengenalan Teknik Komposit*. Yogyakarta: Deepublish, 2016.
- [10] L. Triyastiti and D. Krisdiyanto, "Isolasi Nanokristal Dari Pelepah Pohon Salak Sebagai Filler Pada Film Berbasis Polivinil Alkohol (PVA)," *Indones. J. Mater. Chem.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–45, 2018.
- [11] Lasikun, D. Ariawan, E. Surojo, and J. Triyono, "Effect of fiber orientation on tensile and impact properties of Zalacca Midrib fiber-HDPE composites by compression molding," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1931, pp. 5–9, 2018, doi: 10.1063/1.5024119.
- [12] M. Hancioglu, E. M. Sozer, and S. G. Advani, "Comparison of in-plane resin transfer molding and vacuum-assisted resin transfer molding ' effective ' permeabilities based on mold filling experiments and simulations," 2019, doi: 10.1177/0731684419868015.
- [13] M. A. Yalcinkaya, E. M. Sozer, and M. C. Altan, "Fabrication of high quality composite laminates by pressurized and heated-VARTM," *Compos. Part A*, 2017, doi:10.1016/j.compositesa.2017.08.017.
- [14] N.A.E. Anggraini, Muslimin, V. Rizkia, M.A. Ghofur. "Analisis Komposisi Serat Kevlar, Karbon dan Pelepah Salak terhadap Kekuatan Impak Komposit dengan Metode VARTM". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*. p1588-p1593. 2021. <https://prosiding-old.pnj.ac.id/index.php/sntm/article/view/4140/pdf>.
- [15] P. K. Mallick, *FIBER- REINFORCED COMPOSITES*, Third. London: CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.
- [16] P. Priyanka, A. Dixit, and H. Singh, "High Strength Kevlar Fiber Reinforced Advanced Textile Composites," *Iran. Polym. J.*, no.0123456789, 2019, doi: 10.1007/s13726-019-00721-7.

- [17] R. Stopforth and S. Adali, "Experimental study of bullet-proofing capabilities of Kevlar, of different weights and number of layers, with 9 mm projectiles," *Def. Technol.*, vol. 15, no. 2, pp. 186–192, 2019, doi: 10.1016/j.dt.2018.08.006.
- [18] [34] R. F. Gibson, *Principles of Composite Material Mechanics*. McGraw-Hill, 1994.
- [19] S. Rajesh, B. Vijayaramnath, C. Elanchezhian, S. Vivek, M. Hari Prasad, and M. Kesavan, "Experimental investigation of tensile and impact behavior of aramid-natural fiber composite," *Mater. Today Proc.*, vol. 16, pp. 699–705, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.148.
- [20] V. Yudha, H. S. . Rochardjo, J. Jamasri, F. Yudhanto, and S. Darmanto, "Isolation of cellulose from salacca midrib fibers by chemical treatments," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 434 012078, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/434/1/012078.
- [21] Y. Regassa, "Modeling and Simulation of Bullet Resistant Composite Body Armor," vol. 16, no. 3, 2016.