

## Studi Eksperimen Matriks Dan Fiber Komposit Sebagai Material Bodi *Remote Control Boat*

Andik Budiono<sup>1\*</sup>, Ira Kusumaningrum<sup>2</sup>, Mualifi Usman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>) Program Studi Teknik Mesin, Universitas Darul Ulum, Jombang

Jl. KH. Abdurrahman Wahid (Gus Dur) No. 29A, Jombang, Jawa Timur, 61413

Telp.: (0321) 853436, Fax: (0321) 854106

\*Corresponding author, E-mail: andikbudiono42@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa material komposit berbahan dasar serat woven cloth, fiberglass, dan pelepas pisang dalam pembuatan body Remote Control Boat. Seiring meningkatnya kebutuhan akan kapal cepat dan efisiensi performa, pemilihan material yang ringan dan tangguh menjadi kunci utama dalam desain lambung kapal. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan metode pengujian ketangguhan (impak test) menggunakan standar ASTM D256. Variabel bebas yang digunakan meliputi jenis serat (woven cloth, fiberglass, dan pelepas pisang), jenis resin (epoxy dan polyester) dengan desain faktorial  $3 \times 2 \times 3$  dan tiga kali pengulangan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material alternatif dalam industri perkapanan skala kecil serta menjadi referensi dalam pemanfaatan serat alam sebagai bahan penguat komposit.

### ABSTRACT

*This research aims to evaluate the performance of composite materials made from woven cloth, fiberglass and banana fronds in making Remote Control Boat bodies. As the need for fast ships and performance efficiency increases, selecting light and tough materials becomes the main key in ship hull design. The research was carried out experimentally with a toughness testing method (impact test) using the ASTM D256 standard. The independent variables used include fiber type (woven cloth, fiberglass, and banana fronds), resin type (epoxy and polyester) with a  $3 \times 2 \times 3$  factorial design and three repetitions. It is hoped that this research can contribute to the development of alternative materials in the small-scale shipping industry and become a reference in the use of natural fibers as composite reinforcing materials.*

**Keywords:** Woven Cloth, Fiberglass, Banana Steam, RC Boat, Composite,

### PENDAHULUAN

Dalam rangka menghadapi Revolusi Industri 4.0 dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya perairan perlu didukung dengan tersedianya fasilitas berupa kapal dengan teknologi yang memadai. Kapal memiliki banyak jenis yang sesuai dengan fungsi dan tujuan dari dibuatnya kapal tersebut, baik itu untuk transportasi barang, manusia ataupun untuk kepentingan lainnya. Salah satu jenis kapal yang ada adalah kapal cepat. Saat ini kebutuhan akan kapal cepat semakin meningkat. Peningkatan kebutuhan ini menyebabkan makin meningkat pula permintaan untuk pembuatan kapal cepat [1]. Hal tersebut selaras dengan meningkatnya

persaingan antara pembuat kapal untuk dapat menawarkan kapal yang unggul dari segala sisinya. Salah satu jenis inovasi kapal cepat yaitu *Remote Control (RC) boat*.

*RC boat* tidak hanya digunakan sebagai inovasi media hiburan, tetapi juga sebagai platform eksperimen teknik perkapanan skala kecil. Desain bodi *RC boat* yang ideal menuntut penggunaan material yang ringan, kuat, tahan terhadap air, serta mudah dibentuk. Material komposit menjadi kandidat unggulan karena kemampuannya untuk disesuaikan melalui variasi jenis matriks dan fiber yang digunakan. Material komposit memegang peranan penting karena sifat-sifat yang dihasilkan lebih unggul dibandingkan dengan material pembentuknya [2]

Dalam pembuatan kapal cepat menggunakan beragam material dengan masing-masing material yang memiliki sifat berbeda, maka diperlukan banyak metode pengujian untuk mengetahui sifat apa yang dimiliki oleh suatu material. Uji Ketangguhan adalah salah satu metode yang digunakan. Uji Ketangguhan merupakan metode pengujian pada material dimana material dapat menyerap gaya atau beban yang diberikan secara tiba-tiba (*rapidloading*) untuk mengetahui ketangguhan material tersebut, baik dalam temperatur normal maupun transisi [3].

Dalam pembuatan kapal cepat menggunakan beragam material dengan masing-masing material yang memiliki sifat berbeda, maka diperlukan banyak metode pengujian untuk mengetahui sifat apa yang dimiliki oleh suatu material. Rongga kosong atau void adalah area mikroskopis yang tidak terisi oleh matriks atau serat dalam material komposit. Rongga ini terbentuk akibat berbagai faktor selama proses manufaktur, seperti udara yang terperangkap, penguapan pelarut atau kelembapan yang tidak sempurna, serta ketidaksesuaian parameter proses seperti tekanan, suhu, dan waktu curing [4]

RC boat dibuat menggunakan bahan komposit antara lain serat sintetis dan serat alam. Bahan komposit (juga disebut bahan komposisi atau disingkat komposit, yang merupakan nama umum) adalah bahan yang dihasilkan dari dua atau lebih bahan penyusunnya, yaitu matriks dan serat penguat (fiber), yang ketika disatukan menghasilkan sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan material tunggal. Keunggulan material komposit sangat bervariasi. Selain kemampuan untuk didaur ulang, material ini punya ketahanan lama, mampu menahan korosi, dan mampu menahan suhu panas [5]. Bahan penyusun ini memiliki sifat kimia atau fisik yang sangat berbeda dan digabungkan untuk membuat bahan dengan sifat yang tidak seperti elemen individu [6].

Namun, tantangan utama dalam pengembangan material komposit adalah menentukan kombinasi matriks dan serat yang optimal agar mampu memberikan kinerja

terbaik. Jenis matriks seperti resin epoksi, poliester, atau bioresin memiliki sifat yang berbeda, demikian pula dengan serat penguat seperti *fiberglass*, karbon, hingga serat alami seperti pelepas pisang. Oleh karena itu, diperlukan studi eksperimental untuk mengevaluasi sejauh mana kombinasi-kombinasi ini dapat memberikan performa mekanik dan hidrodinamik yang baik pada bodi RC boat.

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti ingin melakukan penelitian yang berjudul “Studi Eksperimen Matriks Dan Fiber Komposit Sebagai Material Bodi Remote Control Boat”. Peneliti akan membuat Body Remote Control Boat dari bahan pelepas pisang yang dibandingkan menggunakan *Woven cloth* dan *fiberglass*, serta membandingkan resin *polyester* dengan *epoxy*. Diharapkan dapat memberikan kontribusi pada ilmu pengetahuan dan teknologi dalam penggunaan material komposit.

## METODE PENELITIAN

### Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Cetakan, bahan yang digunakan untuk cetakan ini adalah akrilik, hal ini dikarenakan hasil cetakan lebih mudah dalam pelepasan. Spesimen uji dibuat satu persatu sebanyak 27 buah untuk uji impak dan setelah pengujian diambil dua buah dari kekuatan impak yang paling tinggi dan yang paling rendah. Dengan dimensi ukuran spesimen panjang 170mm, lebar 12mm, dan tebal 10mm.
2. Timbangan digunakan untuk menimbang serat *woven*, *fiberglass* dan pelepas pisang.
3. Gelas ukur digunakan untuk menakar resin dan campuran hardener
4. Alat uji ketangguhan digunakan untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut.

5. *Microscope USB Digital Zoom Magnifer Monokuler* Digunakan untuk memperbesar objek dengan spesifikasi
  - Bahan utama: ABS
  - pixel: 0,3M piksel (640\*480)
  - Pembesaran: 0-1600x
  - Jumlah led: 8
  - Panjang fokus: fokus manual (3-60mm)
  - Jenis antarmuka USB: USB 2.0
  - Sistem pendukung: untuk Windows XP/ Vista/ Win7/ Win8/ Win10/ Linux
  - Aplikasi untuk android: USB Endoscope app Android 10

### Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Serat yang peneliti gunakan adalah serat *woven, fiberglass* dan pelepas pisang.
2. Bahan Matriks: resin *polyester* dan katalis
3. Resin *polyester* digunakan sebagai bahan pengisi dalam bentuk polimer
4. Bahan Matriks: Resin epoxy dan hardener
5. Resin *epoxy* digunakan sebagai bahan pengisi dalam bentuk polimer.
6. Wax digunakan sebagai Pelepas cetakan agar tidak lengket dengan cetakan.

### Prosedur Pembuatan Spesimen

Prosedur pembuatan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Siapkan serat yang akan digunakan.
2. Siapkan cetakan komposit yang berukuran 170 mm (P) × 12 mm (L) × 10 mm (T)
3. Tentukan volume komposit.
  - Tentukan fraksi volume matriks ataupun fraksi volume fiber .
  - Siapkan matriks dan fiber berdasarkan volume.
  - Timbang berat matriks maupun fiber.
  - Lapisi cetakan dengan wax agar komposit yang dihasilkan mudah dilepas dari cetakan

- Tambahkan katalis pada matriks (resin) dengan perbandingan 1 : 0,02 ml dan aduklah secara perlahan (1 ml = 0,02 ml)
- Tuangkan sebagian matriks ke dalam cetakan dan letakkan serat gelas yang sudah dipotong-potong, ditata arah seratnya sambil ditekan-tekan, kemudian tuangkan kembali matriks ke dalam cetakan. Ratakan dengan menggunakan kuas sebanyak (empat, lima dan enam lapis serat)
- Keringkan komposit pada suhu ruang.
- Setelah kering, timbang berat komposit.

### Pengujian Rongga Kosong

Untuk mengetahui persentase volume ruang kosong (*void*) pada spesimen komposit, dilakukan prosedur sebagai berikut:

- Menimbang spesimen komposit
- Menentukan volume spesimen. Menghitung densitas komposit teoritis dan densitas komposit eksperimen dengan rumus berikut:

Densitas komposit teoritis [7].

$$\delta_{ct} = \frac{W_f + W_m}{V_f + V_m} \quad (1)$$

Keterangan

$\delta_{ct}$  = Densitas komposit teoritis.

$w_f$  = Berat fiber.

$w_m$  = Berat matriks.

$v_f$  = Volume fiber.

$v_m$  = Volume matriks.

Densitas komposit eksperimen.

$$\delta_{ct} = \frac{w_c}{v_c} \quad (2)$$

Keterangan:

$\delta_{ce}$  = Densitas komposit eksperimen.

$w_c$  = Berat komposit.

$v_c$  = Volume cetakan.

- Menghitung fraksi volume ruang kosong komposit dengan rumus berikut:

$$V_v = \frac{\delta_{ct} - \delta_{ce}}{\delta_{ct}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

$V_v$ : fraksi volume ruang kosong

## Pengujian Ketangguhan

Prosedur Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mempersiapkan *spesimen* uji impak
2. Mempersiapkan mesin pengujian impak
3. Spesimen dipasang pada landasan uji.
4. Bandul ditarik hingga membentuk sudut  $\alpha$  dan dicatat.
5. Bandul dilepas hingga mematahkan spesimen dan berayun dengan membentuk sudut akhir  $\beta$
6. Besarnya energi uji ketangguhan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Dimana:

$W$  = Berat Bandul (kg)

$L$  = Panjang Lengan Bndul (m)

$\alpha$  = Sudut Awal ( $^{\circ}$ )

$\beta$  = Sudut Akhir ( $^{\circ}$ )

$E$  = Energi (kg.m)

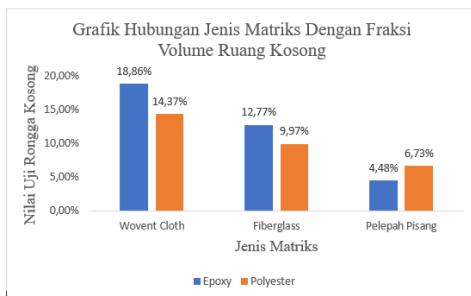
$E$  =  $E_{awal} - E_{akhir}$

$$= W.(L-L\cos\alpha) - W.(L-L\cos\beta) \quad (4)$$

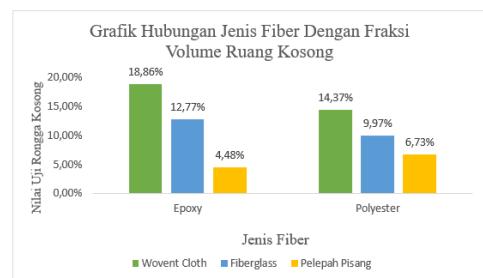
Benda uji pada uji impak berfariasi sesuai dengan bentuk dan jenis bahan yang di uji. Benda uji pada penelitian ini menggunakan standart ASTM D256. Ukuran specimen uji impact memiliki panjang 170mm, lebar 12mm, dan tebal 10mm [8].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

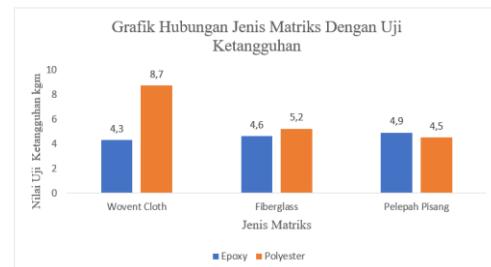
Hasil Penelitian Rongga Kosong dan Uji Ketangguhan dapat dilihat pada grafik yang ada di bawah ini:



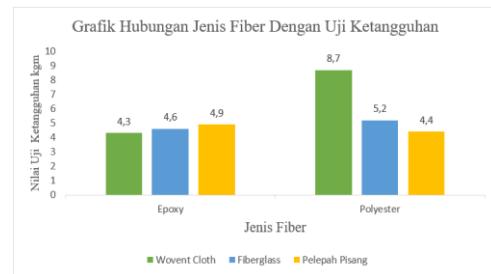
Gambar 1. Grafik Hubungan Jenis Matriks Dengan Fraksi Volume Ruang Kosong



Gambar 2. Grafik Hubungan Jenis Fiber Dengan Fraksi Volume Ruang Kosong



Gambar 3. Grafik Hubungan Jenis Matriks Dengan Uji Ketangguhan



Gambar 4. Grafik Hubungan Jenis Fiber Dengan Uji Ketangguhan

Berdasarkan Gambar 1 grafik hubungan jenis fraksi volume rongga kosong ( $V_v$ ) dan Gambar 2 grafik hubungan fraksi volume matrik ( $V_m$ ) dengan fraksi volume rongga kosong ( $V_v$ ), komposit Serat *Woven cloth*, *Fiberglass*, Pelelep Pisang menggunakan matriks *Epoxy* dan *Polyester* memiliki tren yang tidak sama. Pada campuran *Epoxy Woven cloth* mengalami kenaikan fraksi rongga kosong dengan nilai 18,86%, Sedangkan pada campuran *Epoxy Pelelep Pisang* mengalami penurunan fraksi volume rongga kosong dengan nilai sebesar 4,48%.

Berdasarkan Gambar 3 grafik hubungan jenis matriks dengan uji ketangguhan dan Gambar 4 grafik hubungan jenis fiber dengan uji ketangguhan, Komposit serat *Woven cloth*, *Fiberglass*, dan Pelelah Pisang dengan menggunakan campuran matriks *Epoxy* dan *Polyester*, memiliki tren yang tidak sama. Pada campuran *Polyester Woven cloth* mengalami kenaikan nilai Uji Ketangguhan yaitu sebesar 8,79 kg.m, sedangkan pada campuran *Epoxy Woven cloth* mengalami penurunan nilai Uji Ketangguhan sebesar 4,39 kg.m.

### Analisa Hasil Penelitian

Berdasarkan Gambar 1 dan 2, terlihat bahwa fraksi volume rongga kosong (*void fraction*) pada material komposit dipengaruhi oleh jenis matriks dan jenis serat yang digunakan. *Epoxy* menghasilkan nilai rongga kosong lebih tinggi dibandingkan *Polyester* pada semua jenis serat. *Woven cloth*: 18,86% (*Epoxy*) vs 14,37% (*Polyester*) dan *Fiberglass*: 12,77% (*Epoxy*) vs 9,97% (*Polyester*) sedangkan Pelelah Pisang: 4,48% (*Epoxy*) vs 6,73% (*Polyester*). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *epoxy* memiliki ikatan mekanik dan kekuatan tarik yang baik, proses impregnasi terhadap beberapa jenis serat kurang optimal, terutama terhadap *Woven cloth* dan *Fiberglass*, yang menyebabkan terbentuknya rongga kosong lebih besar. Namun, untuk pelelah pisang, *Polyester* menunjukkan hasil yang lebih buruk dibanding *epoxy* [9].

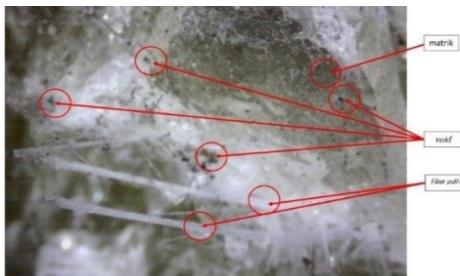
Berdasarkan data dari Gambar 3 dan 4 menunjukkan pengaruh jenis matriks dan jenis serat terhadap nilai ketangguhan dari material komposit yang diuji. Pengaruh Jenis Matriks terhadap Ketangguhan Komposit. *Polyester + Woven cloth* memberikan ketangguhan tertinggi sebesar 8,7 kg.m, jauh lebih tinggi dibanding kombinasi lainnya. *Epoxy* secara umum menghasilkan nilai ketangguhan lebih rendah dibanding *Polyester*, kecuali pada serat pelelah pisang. Ketangguhan terendah ditemukan pada *Epoxy + Woven Cloth* sebesar 4,3 kg.m, menunjukkan inkompatibilitas antara resin dan serat. Interaksi antarmuka antara resin dan serat

sangat mempengaruhi penyerapan energi benturan. Resin *Polyester* memiliki sifat getas namun bisa menunjukkan ketangguhan tinggi jika dikombinasikan dengan serat tenun yang mampu menyerap energi impak lebih baik [10].

### Konfirmasi Data Rongga Kosong

Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada Gambar 5 rongga kosong komposit *woven cloth epoxy* memiliki nilai yang tinggi sebesar 18,86%, terlihat jelas keberadaan rongga kosong (*void*) di antara serat dan matriks. Rongga ini menunjukkan kegagalan dalam proses impregnasi resin ke dalam serat penguat. Keberadaan void tersebut diperkirakan terjadi akibat pencampuran resin yang tidak homogen atau adanya udara yang terperangkap selama proses curing. *Void* pada komposit polimer yang diperkuat serat bertindak sebagai *intensifier* tegangan, yang memicu inisiasi dan propagasi retak. Hal ini melemahkan ikatan antara serat dan matriks serta menyebabkan kegagalan dini. Data menunjukkan bahwa peningkatan kandungan void sebesar 1–3% dapat menurunkan sifat mekanik hingga sekitar 20% [11].

Berdasarkan pengamatan mikroskopik pada Gambar 6 rongga kosong komposit pelelah pisang *epoxy* memiliki nilai yang lebih rendah yaitu 4,48% di bandingkan *Woven cloth Epoxy*. Teridentifikasi keberadaan rongga kosong berukuran besar (*macrovoids*) serta retakan mikro yang menyertai permukaan gelap dan kasar. Ciri ini menunjukkan adanya kegagalan pada tahap *degassing* dan *curing*, yang menyebabkan terperangkapnya udara dalam skala besar. *Makrovoid* yang tidak tertangani dapat menurunkan kekuatan mekanik hingga 30–40%, khususnya pada komposit yang tidak melalui proses *autoclave*. *Void* besar dapat memicu delaminasi dan kegagalan prematur, terutama jika penyebaran serat dan resin tidak merata. Fenomena ini memperkuat bahwa proses manufaktur sangat menentukan kualitas mikrostruktur komposit [12].



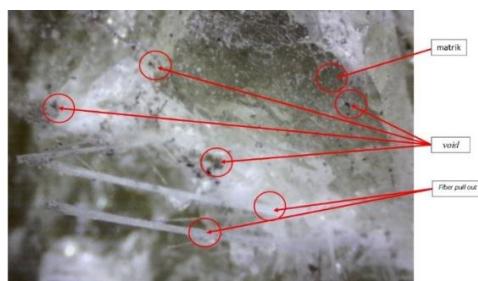
Gambar 5. Rongga Kosong Komposit *Woven Cloth Epoxy*



Gambar 7. Ketangguhan Komposit *Woven cloth Polyester*



Gambar 6. Rongga Kosong Komposit Pelepas Pisang Epoxy



Gambar 8. Ketangguhan Komposit *Woven cloth Epoxy*

### Konfirmasi Data Uji Ketangguhan

Berdasarkan pengamatan mikroskopik pada Gambar 7 ketangguhan komposit *woven cloth polyester* memiliki nilai yang tinggi sebesar 8,79 kg.m, menunjukkan keberadaan zona resin-rich berwarna putih keruh yang didalamnya terperangkap *void* mikroskopik dan *dry spots* pada serat. Apabila resin tidak mampu mengalir sempurna ke dalam celah antar serat, sehingga udara terperangkap saat *curing*. *Void fraction* sekecil 3% sudah cukup menurunkan kemampuan material komposit untuk menahan gaya geser secara signifikan. Viskositas resin yang tepat dan proses *degassing* dapat mengurangi proses impregnasi resin, yang jika dibiarkan dapat menjadi titik inisiasi retak saat beban berulang. Dengan demikian, kontrol ketat terhadap parameter manufaktur pengaturan tekanan cetak merupakan langkah krusial untuk meminimalkan *void* dan menjaga performa mekanik komposit [13].

Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada Gambar 8 ketangguhan komposit *woven cloth epoxy* memiliki nilai yang lebih rendah yaitu 4,39 kg.m di bandingkan Komposit *Woven cloth Polyester*. terlihat jelas keberadaan rongga kosong (*void*) diantara serat dan matriks. Rongga ini menunjukkan kegagalan dalam proses impregnasi resin ke dalam serat penguat. Keberadaan *void* tersebut diperkirakan terjadi akibat pencampuran resin yang tidak homogen atau adanya udara yang terperangkap selama proses *curing*. *Void* pada komposit polimer yang diperkuat serat bertindak sebagai tegangan, yang memicu keretakan. Hal ini melemahkan ikatan antara serat dan matriks serta menyebabkan kegagalan dini. [11].

Berdasarkan pada Gambar pengujian rongga kosong Hasil terbaik yaitu *matrik epoxy* dengan serat pelepah pisang menghasilkan rongga terkecil yaitu 4,48%. Sedangkan pada uji ketangguhan di dapatkan nilai tertinggi yaitu *matrik polyester* dengan serat *woven cloth* yaitu 8,79 kg.m.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian dijelaskan pada bagian ini antara lain:

1. Kombinasi resin *epoxy* dengan *woven cloth* menghasilkan rongga kosong terbesar dengan rata-rata sebesar 18,86%, sedangkan kombinasi *epoxy* dengan pelepas pisang menghasilkan rongga terkecil yaitu 4,48%
2. Resin *epoxy* cenderung lebih sulit menyebar sempurna pada serat *woven* dan *fiberglass*, sedangkan pelepas pisang lebih kompatibel dengan *epoxy* karena kemungkinan daya serap resin yang lebih baik
3. Kombinasi *polyester* dengan *woven cloth* memberikan nilai tertinggi yaitu 8,79 kgm, sedangkan kombinasi *epoxy* dengan *woven cloth* menghasilkan nilai terendah sebesar 4,39 kgm
4. Serat *woven* yang tersusun rapi dapat menyerap energi impak secara efisien jika diresapi oleh resin yang sesuai seperti *polyester*.
5. Penelitian ini dapat diperluas ke tahap prototipe dengan mendesain dan menguji body RC boat secara langsung di perairan tenang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pasulu, A. (2024). *Studi Tahanan Kapal Berlambung Planning Hull Deadrise Angle 15 Derajat Dan Stepped 2U Menggunakan Ansys Fluent*. (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- [2] Haziza, E. P., & Aritonang, S. (2024). Studi Komparasi Karakteristik Mekanik Serat Alam sebagai Bahan Anti Peluru: Jurnal Review. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 7(1), 168-175.
- [3] Muftinur, M. A., Haryono, H., Wijayanto, J., & Prakoso, A. P. (2018, October). Analisis Ketangguhan Material Baja a36 Hasil Pengelasan Fcaw (Flux Cored ARemote ControlWelding) Berdasarkan Metode Pengujian Impak Astm E23. In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* (pp. 477-482).
- [4] Supriyanto, Jimin (2020). Karakteristik Kekuatan Komposit Serat Daun Nanas Dengan Variasi Panjang Serat. *Jurnal Mesin Nusantara* Vol. 4 No. 1.
- [5] S. Huzni et al., "The Role of Typha angustifilia Fiber–Matrix Bonding Parameters on Interfacial Shear Strength Analysis," *Polymers* (Basel), vol. 14, no. 5, p. 1006, Mar. 2022, doi: 10.3390/polym14051006
- [6] Berahim, H. (2005). Metodologi untuk mengkaji kinerja isolasi polimer resin epoksi silane sebagai material isolator tegangan tinggi di daerah tropis. *Dessertasi Teknik Elektro, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta*.
- [7] MaTestLA, (2024). "ASTM D2734 Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics", <https://matestlabs.com>
- [8] Kp, A. W., & Mutawally, M. (2023). *Rancang Bangun Alat Uji Impak Charpy Untuk Material Komposit Sebagai Media Pembelajaran Di Laboratorium Mekanik* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri ujung Pandang).
- [9] Ahsan, M. et al. (2020). Effect of Matrix Viscosity on Void Formation in Natural Fiber Composites. *Composites Part B*, 188, 107851.
- [10] Yusriah, L. et al. (2021). Effect of Fiber Architecture and Resin Type on the Toughness of Composite Materials. *Journal of Composite Materials*, 55(3), 487–499.
- [11] Mehdikhani, M., Gorbatikh, L., Verpoest, I., & Lomov, S. V. (2019).

- Voids in fiber-reinforced polymer composites: A review on their formation, characteristics, and effects on mechanical performance. *Journal of Composite Materials*, 53(12), 1579-1669.
- [12] Amirkhosravi, M., Pishvar, M., & Altan, M. C. (2018). Fabricating high-quality VARTM laminates by magnetic consolidation: experiments and process model. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 114, 398-406.
- [13] Ahmad, M. N., Ishak, M. R., Taha, M. M., Mustapha, F., & Leman, Z. (2021). *Rheological and Morphological Properties of Oil Palm Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites for Fused Deposition Modeling (FDM)*. *Polymers*, 13(21), 3739.