

## PEMANFAATAN SERAT ALAM DAN SERAT SINTETIS SEBAGAI MATERIAL BILAH *HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE*

Crodita Bangkit Wiranegara<sup>1\*</sup>, Xander Salahudin<sup>1</sup>, Sri Hastuti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tidar

\*Corresponding author : croditabwn@gmail.com

Diterima: 12 Maret 2022

Direvisi: 18 Mei 2022

Disetujui: 21 Mei 2022

Terbit online: 2 Juni 2022

### ABSTRAK

Energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan mesin turbin angin. Komponen penting pada turbin angin salah satunya yaitu bilah. Material bilah berbahan dasar kayu sering mengalami permasalahan berupa pelapukan yang disebabkan adanya cuaca ekstrem dan pengaruh partikel atau debu. Maka, diperlukan material alternatif yang lebih kuat namun lebih ringan yaitu material komposit. Komposit yang digunakan adalah komposit *hybrid* (serat *abaca-fiberglass/epoxy*). Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh varian fraksi volume serat pada komposit *hybrid* (serat *abaca* dan *fiberglass/epoxy*) terhadap sifat mekanik dan sifat fisiknya. Proses pembuatan komposit menggunakan metode *press molding*. Pengujian dampak dilakukan menggunakan standar ASTM E-23 dan pengujian bending menggunakan standar ASTM D790-02. Hasil dari penelitian ini didapat nilai ketangguhan dampak tertinggi pada varian fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy* sebesar 0,035J/mm<sup>2</sup>, kemudian nilai kekuatan bending tertinggi pada varian fraksi volume serat 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* sebesar 151,96N/mm<sup>2</sup>. Hasil foto penampang patahan pada spesimen dapat diketahui bahwa kegagalan atau cacat yang terjadi pada patahan adalah adanya serat yang terlepas atau *fiber pull out* akibat ikatan yang lemah antara matriks dan serat, serta adanya celah pada *interface* akibat kegagalan matriks mengikat serat, terdapat rongga udara (*void*) dan terjadinya penumpukan serat.

**Kata kunci:** turbin angin, *abaca*, komposit, *fiberglass*

### ABSTRACT

Wind energy can be converted into electrical energy using a wind turbine engine. One of the important components in wind turbines is blades. Wood-based blade materials often experience problems in the form of weathering caused by extreme weather and the influence of particles or dust. So, we need an alternative material that is stronger but lighter, namely composite material. The composite used is a hybrid composite (*abaca fiber-fiberglass/epoxy*). This study was conducted to determine the effect of fiber volume fraction variance on hybrid composites (*abaca fiber and fiberglass/epoxy*) in random arrangement on their mechanical and physical properties. The composite manufacturing process uses the *press molding* method. The impact test was carried out using the ASTM E-23 standard and the bending test using the ASTM D790-02 standard. The results of this study obtained the highest impact toughness value in the fiber volume fraction variant 17.5%-*abaca*:17.5%-*fiberglass*:65%-*epoxy* of 0.035J/mm<sup>2</sup>, then the highest bending strength value was in the fiber volume fraction variant 27, 5%-*abaca*:27.5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* of 151.96N/mm<sup>2</sup>. The results of the cross-sectional photo of the fracture on the specimen can be seen that the failure or defects that occur in the fracture are the presence of loose fibers or fiber pull outs due to a weak bond between the matrix and the fiber, as well as the presence of gaps in the interface due to failure of the matrix to bind the fibers, there are air voids (*voids*) and the occurrence of fiber accumulation.

**Keywords:** wind turbine, *abaca*, composite, *fiberglass*

## 1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan di daerah Ciheras Tasikmalaya, Jawa Barat masih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dan operasional. Energi yang dimanfaatkan adalah energi angin, dari energi angin ini nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik dengan bantuan alat yang sering disebut turbin angin. Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui mekanisme turbin angin dimana angin akan diserap oleh bilah, kemudian terjadinya putaran bilah turbin yang menghasilkan torsi untuk memutar generator selanjutnya diubah menjadi energi listrik. PLTB berskala mikro yang dibangun dekat Pantai Cipatujah, Tasikmalaya-Jawa Barat oleh Tim Lentera Angin Nusantara menggunakan turbin angin sejak Januari tahun 2012. Turbin angin yang dipakai untuk menghasilkan energi listrik bertipe HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) dan menggunakan material bilah berbahan dasar kayu pinus atau kayu mahoni [1]

Komponen penting dalam sistem pembangkit listrik pada turbin angin adalah rotor dan bilah. Rotor adalah alat yang mengkonversi gerak translasi dan gerak lurus arus angin menjadi gerak putar poros sedangkan bilah merupakan baling-baling yang berperan untuk menangkap angin. Sebagai bagian penting dalam pembangkit listrik dan berhadapan langsung dengan angin, material bilah berbahan dasar kayu sering mengalami permasalahan berupa pelapukan yang disebabkan adanya cuaca ekstrim dan pengaruh partikel atau debu yang terbawa oleh angin laut. Akibat dari tumbukan dengan partikel yang terbawa oleh angin, seringkali bilah mengalami masalah berupa pengikisan dipermukaan yang dapat mengakibatkan tidak optimalnya fungsi bilah. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan material alternatif yang lebih kuat namun lebih ringan yaitu material komposit, sehingga umur penggunaan bilah menjadi lebih lama. Komposit memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan kayu diantaranya sifat mekanik dan fisik yang baik, tidak terkorosi, tahan cuaca, dan densitas rendah[2]. Bahan komposit mempunyai kelebihan dari segi *versatility* (berdaya guna). Komposit *hybrid* merupakan gabungan lebih dari satu penguat dengan matriks supaya dapat mengganti kekurangan dan menggabungkan kelebihan dari masing-masing penguatnya. Keuntungan menggabungkan bahan komposit serat adalah lebih murah, lebih ringan, dan lebih kuat. Pada Penelitian sebelumnya pemanfaatan serat alam untuk aplikasi turbin angin juga pernah dilakukan oleh Laksono dkk, 2019, tentang pengaruh komposisi pengisi pada serat alam kayu galam bentuk serutan terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur komposit poliester sebagai material aplikasi bilah kincir angin. Hasil dari penelitian didapat nilai tertinggi yang dicapai yaitu 70% serat pada semua uji mekanik. Didapatkan nilai kekuatan tarik berada sebesar 13,07 N/mm<sup>2</sup>, kekuatan tekuk optimum 36,8 N/mm<sup>2</sup> dan nilai optimum dari kekuatan impak sebesar 590,39 N/mm<sup>2</sup>. Hasil kelenturan dan kekuatan impak pada kayu galam–poliester sudah memenuhi syarat sebagai aplikasi bilah kincir angin [3].

Serat abaca merupakan serat alam yang memiliki karakteristik khusus, seperti memiliki kandungan selulosa yang tinggi, sifat mekanik yang sangat baik dan terutama pada modulus kuat tarik yang baik dibandingkan serat alam lainnya. Serat abaca ini diambil dari batang pohon pisang abaca. Disisi lain, keunggulan pemakaian serat abaca yaitu mudah didapat, murah, dan dapat mengurangi polusi lingkungan (*biodegradable*). Serat abaca juga tahan terhadap asam dan garam laut dan sering kali digunakan sebagai tali pada perahu untuk bersandar[4]. Karakteristik serat abaca ini dapat dieksplorasi sebagai bahan penyusun komposit yang sangat potensial. Penelitian sebelumnya pernah dilakukan mengenai analisis kekuatan material komposit berpenyusun serat abaca pada arah orientasi untuk aplikasi badan kapal. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa komposit berpenguat serat abaca memiliki nilai kekuatan lentur 139,26 MPa dan nilai modulus lentur 7567,8 MPa serta nilai kekuatan tarik 28,38 MPa pada fraksi volume serat 30%. Pada penelitian ini juga menunjukkan kaitan hubungan antara modulus young dengan kenaikan fraksi volume serat [5].

Material komposit biasanya terdiri dari dua unsur yaitu serat sebagai bahan penguat dan matriks sebagai bahan pengikat serat. Pada material komposit, unsur utamanya adalah serat, dan bahan pengikatnya adalah polimer yang mudah dibentuk. Polimer memiliki sifat diantaranya ringan, tahan korosi, cukup kuat, murah, non magnetik dan mudah dibentuk menjadi bentuk kompleks, yang membuat komposit banyak dipakai dalam produk kedokteran gigi, produk otomotif, bidang konstruksi penerbangan dan interior badan kapal karena proses pembuatannya yang mudah yaitu menggunakan proses cetak tekan[6]. Sedangkan secara khusus pada bidang pengecoran logam atau *foundry*,

komposit berbasis dengan matrik polimer ini secara langsung dapat diaplikasikan sebagai *flask* pada cetakan pasir[7]. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan sifat fisik dari material komposit *hybrid* berbahan dasar serat abaca dan *fiberglass* dengan berpenguat resin *epoxy*. Dengan memvariasi fraksi volume serat abaca dan *fiberglass* diharapkan mendapatkan hasil kekuatan mekanik komposit *hybrid* yang optimal dari penelitian sebelumnya untuk mendukung pemanfaatan serat alam dan serat sintesis sebagai material bilah. Proses pembuatan komposit menggunakan metode *compression molding*.

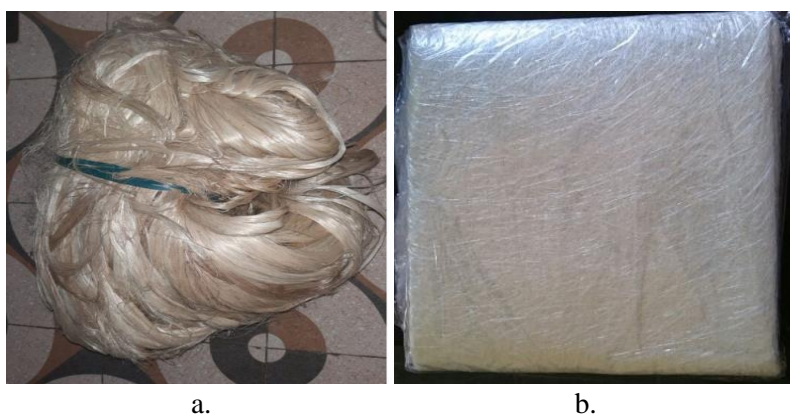
## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini:

1. EP = resin *epoxy* sebagai matrik dengan perbandingan resin dan *hardener* sebesar 1:1,
2. AB = serat *abaca* sebagai penguatnya,
3. FG = *fiberglass* sebagai penguatnya.

Serat *abaca* dihasilkan dari batang pohon pisang *abaca* (*musa textilis*) yang merupakan jenis pohon pisang tidak berbuah[8]. *Fiberglass* merupakan serat sintesis yang memiliki sifat mekanik tinggi. Serat *abaca* dipotong sepanjang 5cm dan untuk *fiberglass* berupa lembaran sesuai cetakan komposit. Serat alam (*abaca fiber*) direndam pada larutan NaOH 5% selama 2jam. Perlakuan alkali pada serat *abaca* bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dan kotoran. Gambar 1. menunjukkan serat *abaca* dan *fiberglass* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. (a) Serat Abaca dan (b) Fiberglass

### 2.2 Fabrikasi Komposit

Fraksi volume yang digunakan pada komposit adalah variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* dan 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy*. Matrik dan serat ini divariasikan sedemikian rupa agar sesuai dengan fraksi volume. Table 1. menunjukkan variasi dari fraksi volume yang digunakan.

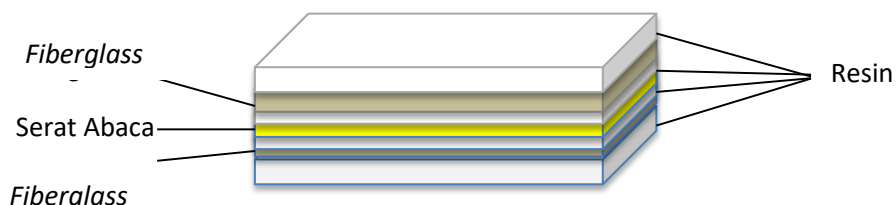
Tabel 1. Variasi Fraksi Volume

Kode (Pengujian Impak)	Kode (Pengujian Bending)	Serat Abaca (%)	Fiberglass (%)	Matrik (%)
A-E23	X-D709	17,5%	17,5%	65%
B-E23	Y-D709	22,5%	22,5%	55%
C-E23	Z-D709	27,5%	27,5%	45%

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dengan kondisi yang terkendalikan dengan pembuatan spesimen komposit *hybrid* yang memvariasikan fraksi volume serat komposit kemudian dilakukan pengujian bending menggunakan ASTM D790-02[9] dan pengujian impak menggunakan ASTM E23[10]. Spesimen komposit *hybrid* kemudian dilakukan pengamatan patahan spesimen melalui foto makro. Teknik analisa data dalam penelitian ini menggunakan analisis data deskriptif yaitu menggambarkan hasil penelitian secara grafis dalam grafik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik komposit *hybrid epoxy* bepenguat serat *abaca* dan *fiberglass* dengan varian fraksi volume serat: 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy*, dan 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* dengan menggunakan uji bending serta uji impak guna mengetahui kekuatan mekanik dari komposit tersebut. Jenis metode produksi komposit yang digunakan adalah *compression molding* dengan vakum dilanjutkan penekanan selama 24 jam.

### 2.3 Pembuatan Komposit

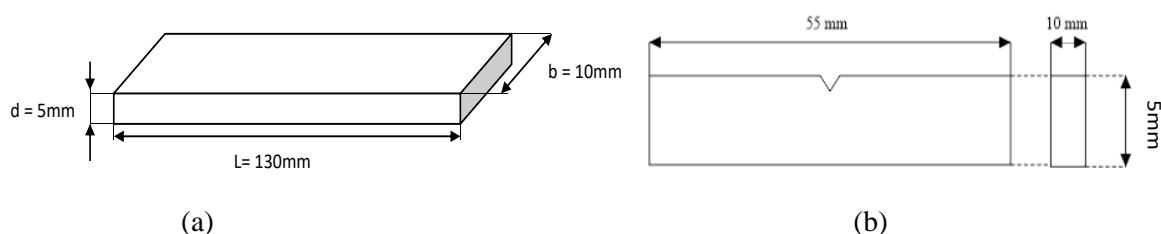
Proses pembuatan komposit yang pertama menyiapkan alat, bahan dan menghitung volume cetakan *molding*. Langkah berikutnya menimbang bahan-bahan yang akan digunakan dengan rasio volume dari matrxs dan bahan pengisi sesuai dengan volume cetakan kemudian mengoles pelumas pada sisi dalam cetakan serta menuangkan sepertiga campuran resin dan *hardener* kedalam cetakan kemudian diratakan menggunakan roll agar merata keseluruhan bagian cetakan dan udara yang terperangkap dapat di hilangkan. Selanjutnya menaruh potongan *fiberglass* diatas resin yang sudah dituangkan dengan merata dan menuangkan sepertiga campuran resin dan *hardener* keatas serat yang sudah merata, kemudian diratakan dengan roll. Lakukan hal yang sama pada serat *abaca*. Langkah terakhir menutup cetakan dengan plat besi penutup dan cetakan diletakan pada *hydraulic pressure machine* untuk dilakukan proses *compression molding* selama 24jam.



Gambar 2. Iustrasi Susunan Serat

### 2.4 Pengujian

Pengujian yang dilakukan dipenelitian ini adalah pengujian bending dengan ASTM D790-02 [9] dan pengujian impak dengan ASTM E-23 [10] untuk mengetahui sifat mekanik dari material komposit *hybrid*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Sanata Dharma. Gambar 3. menunjukkan dimensi ASTM D790-02 dan ASTM E-23.

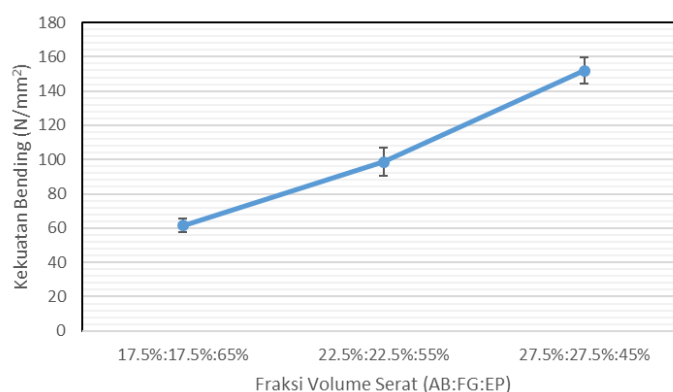


Gambar 3. Dimensi (a) ASTM D-790-02 [9], dan (b) ASTM E-23 [10]

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian Bending

Hasil pengujian kekuatan bending komposit rata-rata dengan variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy* memiliki kekuatan bending (MOR) sebesar 61,50 N/mm<sup>2</sup>, pada variasi fraksi volume serat 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* memiliki kekuatan bending (MOR) sebesar 98,66 N/mm<sup>2</sup>, dan pada variasi fraksi volume serat 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* memiliki kekuatan bending (MOR) sebesar 151,96 N/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya, pengaruh fraksi volume serat *abaca* dan *fiberglass* terhadap kekuatan bending disajikan dalam grafik pada gambar 4.



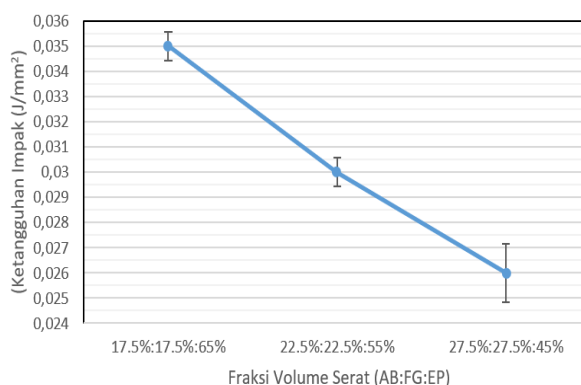
Gambar 4. Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Bending

Berdasarkan gambar 4. dapat diketahui bahwa kekuatan bending rata rata naik seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat *abaca* dan *fiberglass*. Kenaikan nilai kekuatan bending disebabkan karena pada variasi fraksi volume serat 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* penyusunan serat dapat terdistribusi secara merata sehingga serat dapat terikat oleh matriks dengan lebih baik dan serat mampu memberikan sisa ruang yang cukup sehingga matriks dapat mengikat ke seluruh bagian serat. Pada variasi fraksi volume serat 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* terjadi penurunan kekuatan bending yang disebabkan karena terjadinya pengurangan fraksi volume serat. Pengurangan fraksi volume serat tersebut menyebabkan matriks kurang terdistribusi secara merata sehingga serat yang berada ditengah menjadi tidak terlapsi matrik dengan baik dan ikatannya menjadi lemah. Selain itu, adanya *void* pada komposit bagian dalam yang mengakibatkan serat tidak kuat menahan beban yang diberikan. Hal ini mengakibatkan serat tidak terikat sempurna dengan matrik, dibuktikan dengan banyaknya serat yang tercabut (*fiber pull out*). Perbedaan kekuatan bending rata-rata dari ketiga variasi disebabkan oleh kenaikan volume serat yang digunakan, distribusi serat dan resin yang merata sehingga ketika komposit menerima beban kekuatannya menjadi tinggi. Hal ini juga sesuai dengan penelitian terdahulu, dimana serat yang terputus (*fiber break*) mengindikasikan bahwa matrik masih mampu bekerja sama menerima beban dengan baik dan *fiber pull out* dapat mejadi indikasi kurang kuatnya ikatan antara serat dengan matrik [4].

#### 3.2 Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan dengan variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* dan 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* kemudian diambil nilai rata-rata dari setiap variasi. Pada penelitian ini didapat hasil perhitungan nilai ketangguhan impak dengan variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, 22,5%-*abaca*:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* dan 27,5%-*abaca*:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* dengan hasil rata-rata dari masing-masing yaitu 0,035 J/mm<sup>2</sup>, 0,030 J/mm<sup>2</sup>, dan 0,026 J/mm<sup>2</sup>. Dari data di atas dapat diketahui bahwa nilai ketangguhan impak rata-rata tertinggi terdapat pada variasi fraksi volume serat 17,5%-*abaca*:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, sebesar 0,035

J/mm<sup>2</sup>, sedangkan ketangguhan impak rata rata terendah terdapat pada variasi fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxy sebesar 0,026 J/mm<sup>2</sup>. Hasilnya kemudian disajikan dalam grafik untuk mengetahui pengaruh varian fraksi volume serat abaca dan fiberglass terhadap ketangguhan impak komposit hybrid sesuai gambar 5.

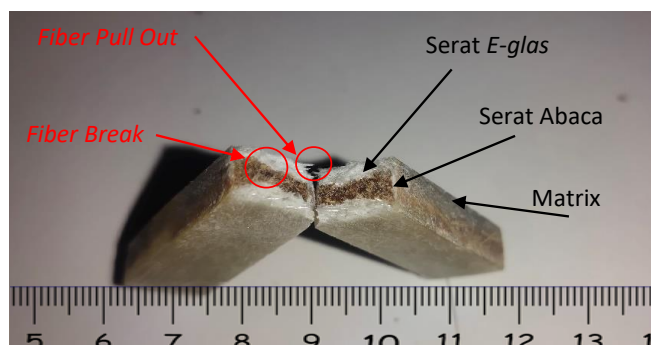


Gambar 5. Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Ketangguhan Impak

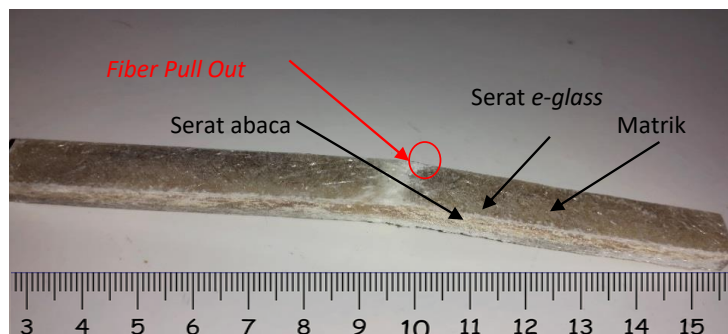
Berdasarkan ketangguhan impak yang diperoleh pada penelitian ini bahwa, jumlah fraksi volume berpengaruh terhadap ketangguhan impak. Semakin bertambahnya jumlah fraksi volume maka akan semakin tinggi. Hal ini relevan dengan pernyataan Suartama, dkk (2020) [11], dimana jumlah fraksi volume serat tidak sebanding dengan jumlah resin yang ada didalam komposit maka akan menyebabkan komposit menjadi getas dan penurunan ketangguhan impak. Penurunan nilai ketangguhan impak disebabkan karena pada variasi fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-fiberglass:65%-epoxy penyusunan serat dapat memenuhi cetakan dengan lebih merata maka serat dapat terikat oleh matriks dengan lebih baik dan serat mampu memberikan sisa ruang yang cukup sehingga matriks dapat mengikat ke seluruh bagian serat. Pada variasi fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-fiberglass:55%-epoxy, ketangguhan impak mengalami penurunan karena terdapat void pada komposit yang membuat ikatan antara matrik dan serat menjadi kurang sempurna dan membuat nilai ketangguhan impak menjadi berkurang. Pada variasi fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-fiberglass:45%-epoxy terjadi penurunan nilai ketangguhan impak karena penyusunan serat yang tidak merata sehingga terdapat ruang yang tidak terisi serat dan membuat ikatan antara serat dan matriks menjadi lemah.

### 3.3 Foto Makro

Tujuan dilakukan foto penampang patah adalah untuk mengetahui kegagalan yang terjadi pada komposit. Selain itu, foto penampang patah bertujuan untuk melihat karakteristik patahan hasil sesudah pengujian ketangguhan impak dan pengujian kekuatan bending. Foto penampang patah diambil menggunakan kamera *smartphone* dengan pembesaran 8x. Hasil dari foto penampang patah dapat dilihat pada gambar 6. dan 7.



Gambar 6. Foto Makro Spesimen Uji Impak



Gambar 7. Foto Makro Spesimen Uji Bending

Secara umum bentuk patahan uji impak dan uji bending pada variasi fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*, 22,5%-abaca:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* dan 27,5%-abaca:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* terdapat bentuk patahan serat yang tercabut (*fiber pull out*) dikarenakan distribusi serat dan resin belum merata sehingga terdapat beberapa rongga udara yang mengakibatkan ikatan lemah antara matriks dan serat, serta adanya celah pada interface akibat kegagalan matriks mengikat serat. Selain itu pada bentuk patahan uji bending secara umum memiliki bentuk patahan yang serat putus (*fiber break*). Selain itu dengan adanya serat yang terputus (*fiber break*) mengindikasikan bahwa matrik masih mampu bekerja sama menerima beban dengan baik[3]. Hal tersebut dibuktikan dengan kenaikan kekuatan bending seiring dengan pertambahan jumlah serat, dimana variasi fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* memiliki nilai kekuatan bending paling tinggi dibandingkan dengan variasi fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* dan variasi fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-*fiberglass*: 65%-*epoxy*.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian, maka dapat diambil kesimpulan bahwa nilai rata-rata ketangguhan impak komposit menurun seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat abaca dan *fiberglass* dengan hasil pengujian fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy* sebesar 0,035 J/mm<sup>2</sup>, fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* sebesar 0,030 J/mm<sup>2</sup> dan fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* sebesar 0,026 J/mm. Nilai rata-rata kekuatan bending komposit meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat abaca dan *fiberglass* dengan hasil pengujian fraksi volume serat 17,5%-abaca:17,5%-*fiberglass*:65%-*epoxy*. sebesar 61,50 N/mm<sup>2</sup>, fraksi volume serat 22,5%-abaca:22,5%-*fiberglass*:55%-*epoxy* sebesar 98,66 N/mm<sup>2</sup> dan fraksi volume serat 27,5%-abaca:27,5%-*fiberglass*:45%-*epoxy* sebesar 151,96 N/mm<sup>2</sup>.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim Lentera Angin Nusantara, Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin. Tasikmalaya. 2014.
- [2] A. Hariyanto, "Peningkatan Kekuatan Tarik Dan Impak Pada Rekayasa Dan Manufaktur Bahan Komposit Hybrid Berpenguat Serat E-Glass Dan Serat Kenaf Bermatrik Polyester Untuk Panel Interior Automotive," Pros. SNST Fak. Tek., vol. 1, no. 1, 2015.
- [3] A. D. Laksono, I. Ismail, and C. R. Ningrum, "Studi Pengaruh Komposisi Pengisi Serat Alam Kayu Galam (Melaleuca Leucadendra) Bentuk Serutan pada Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Komposit Poliester Sebagai Material Untuk Aplikasi Bilah Kincir Angin," J. Saintis, vol. 19, no. 1, pp. 9–14, 2019.

- [4] D. W. I. ARISNO, “Uji Karakteristik Serat Abaca Anyaman 3D Pada Fraksi Volume (30%, 40%, 50%, 60%),” 2009.
- [5] G. H. Panggabean, “Analisis Kekuatan Material Komposit Serat Pisang Abaca Pada Arah Orientasi [0/90/45] Untuk Aplikasi Badan Kapa,” 2007.
- [6] B. A. Saputra, S. Sutrisno, and S. Sudarno, “Pengaruh Fraksi Volume Serat Pelepah Pisang Sebagai Penguat Komposit Polimer Dengan Matriks Resin Polyester Terhadap Kekuatan Tarik Dan Daya Serap Air,” Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap., pp. 561–566, 2018.
- [7] Fajar Paundra, Khairul Imad, Abdul Muhyi, Opi Sumardi, and Setiyo Rojikin, “Pengaruh Variasi Fraksi Volum Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Serat Ampas Tebu Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Bermatrik Polyester,” *Jurnal Foundry*. vol. 5 no.1., pp 12-18, 2022.
- [8] D. Setiawan, “Karakterisasi Serat Abaca Sebagai Alternatif Material Penguat Komposit Ramah Lingkungan,” *J. Ind. Elektro dan Penerbangan*, vol. 4, no. 1.
- [9] ASTM D 790-03, “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.,” 2003.
- [10] ASTM D 256-03, “Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics,” 2004.
- [11] I. P. G. Suartama, I. N. P. Nugraha, and K. R. Dantes, “Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanis Komposit Matriks Polimer Polyester Diperkuat Serat Pelepah Gebang,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 4, no. 1, 2020.