

## ANALISIS KEKUATAN *IMPACT* KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT RAMI ANYAM DENGAN MATRIKS GONDORUKEM DENGAN VARIASI *PLASTICIZER* PATI KANJI DAN GLISEROL

\*Hafidz Fadlila Akbar<sup>1</sup>, Sulardjaka<sup>2</sup>, Norman Iskandar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: hafidzfakbar@gmail.com

### Abstrak

Salah satu permasalahan utama dalam pengembangan biokomposit adalah rendahnya kekuatan mekanik akibat buruknya adhesi antara serat alami dan matriks, serta sifat gondorukem sebagai matriks yang rapuh dan mudah pecah dalam kondisi padat. Untuk mengatasi hal ini, para peneliti mengusulkan modifikasi matriks dengan menambahkan *plasticizer* seperti gliserol dan pati, yang berfungsi meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi kerapuhan, sehingga menghasilkan komposit yang lebih kuat dan tahan lama. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari pengembangan biokomposit yang dapat diperbaharui serta memiliki nilai kekuatan impact yang lebih baik. Metode dilakukan secara eksperimen dengan fabrikasi komposit menggunakan metode *hand lay-up* dan *compression molding*, dengan variasi fraksi massa serat 15%, 20%, dan 25%, serta variasi presentase *plasticizer* 15%, 20%, dan 25%. Pengujian dilakukan sesuai dengan ASTM E23-18 untuk mendapatkan data kekuatan impact komposit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekuatan impact tertinggi dimiliki oleh kandungan fraksi massa serat 25% dan presentase *plasticizer* 25% sebesar 1,588 Joule. Sedangkan untuk nilai rata-rata kekuatan impact terendah dimiliki oleh variasi fraksi massa serat 15% dan presentase *plasticizer* 15% sebesar 0,968 Joule. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa presentase fraksi massa serat dan *plasticizer* dapat mempengaruhi nilai kekuatan impact yang dihasilkan. Nilai kekuatan impact akan berbanding lurus dengan penambahan presentase fraksi massa serat dan *plasticizer*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan komposit kualitas terbaik yang berkelanjutan dan berpotensi digunakan dalam berbagai aplikasi industri.

**Kata Kunci:** biokomposit; *hand lay-up*; kekuatan impact; *plasticizer*; serat rami anyam

### Abstract

One of the main problems in the development of biocomposites was the low mechanical strength due to poor adhesion between natural fibers and the matrix, as well as the brittle and breakable nature of gondorukem as a matrix in solid state. To overcome this, researchers proposed matrix modification by adding plasticizers such as glycerol and starch, which served to increase flexibility and reduce brittleness, resulting in stronger and more durable composites. The objective of this research was to explore the development of renewable biocomposites with improved impact strength values. The method was carried out experimentally by fabricating composites using hand lay-up and compression molding methods, with variations in fiber mass fractions of 15%, 20%, and 25%, and plasticizer percentages of 15%, 20%, and 25%. Tests were conducted in accordance with ASTM E23-18 to obtain composite impact strength data. The results showed that the highest average impact strength was achieved with a fiber mass fraction of 25% and plasticizer percentage of 25%, at 1.588 Joules. Meanwhile, the lowest average impact strength was observed with a fiber mass fraction of 15% and plasticizer percentage of 15%, at 0.968 Joules. The conclusion of this research was that the percentages of fiber mass fraction and plasticizer affected the resulting impact strength. The impact strength increased proportionally with the addition of fiber mass fraction and plasticizer percentage. This research is expected to contribute to the development of the best quality composites that are sustainable and have the potential to be used in various industrial applications.

**Keywords:** biocomposite; *hand lay-up*; impact strength; plasticizer; woven jute fiber

### 1. Pendahuluan

Meningkatnya perhatian terhadap isu lingkungan telah mendorong para ilmuwan untuk mengembangkan bahan baru yang ramah lingkungan, dapat terurai secara alami, dan mencakup *bio-composite*, bio-material, serta *bio-fuels*. Salah satu bahan yang memenuhi kriteria tersebut dan banyak diminati adalah komposit polimer [1].

Material komposit yang menggunakan serat alami sebagai penguat, terutama serat dari sumber alami, merupakan alternatif yang sangat menguntungkan dibandingkan dengan material lain. Saat ini, penggunaan serat alami berkembang pesat dan mendapatkan perhatian serius dari para ilmuwan [11]. Penggunaan serat alami sebagai penguat material

komposit semakin populer di berbagai sektor, seperti industri otomotif. Serat sintetis yang telah lama digunakan untuk memperkuat komponen plastik pada mobil kini dapat digantikan, karena serat alami memiliki sifat mekanik yang memenuhi kebutuhan tersebut [12].

Komposit polimer umumnya terdiri dari dua atau lebih komponen yang digabungkan melalui proses fisik dan kimia. Komponen-komponen ini dikenal sebagai bahan penguat dan bahan matriks (pengikat), yang bersama-sama membentuk struktur utama dalam pembuatan komposit untuk mencapai sifat mekanik yang optimal. Secara umum, komposit diklasifikasikan dalam beberapa jenis, dengan sebagian besar komposit saat ini menggunakan penguat serat buatan seperti serat karbon dan kaca [13].

Salah satu serat alami yang digunakan sebagai alternatif dalam pembuatan biokomposit adalah serat rami. Serat ini diekstraksi dari daun tanaman sisal (*Bohemeria Nivea*) dan berfungsi sebagai bahan penguat komposit alami. Kekuatan serat rami sebanding dengan serat sintetis seperti serat karbon dan serat kaca, serta lebih ramah lingkungan, terutama jika dilihat dari aspek GWP (*Global Warming Potential*) [2].

Gondorukem dapat dimanfaatkan sebagai matriks dalam komposit karena berfungsi sebagai pengikat serat, mengingat sifatnya yang lengket saat meleleh. Namun, meskipun gondorukem bisa digunakan sebagai matriks, sifatnya yang sangat rapuh dan mudah retak ketika dalam fase padat membuatnya perlu dimodifikasi untuk meningkatkan karakteristiknya [4].

Konsentrasi gondorukem yang tinggi sebagai matriks berpotensi mengurangi disipasi karena adanya gaya antarmolekul yang kuat, tegangan antarmuka yang tinggi, serta viskositas, yang semuanya berhubungan dengan proses transformasi bertahap yang diikuti oleh pembentukan jaringan gel yang padat [3].

Dengan menambahkan *plasticizer* gliserol dan pati tapioka (*cassava starch*), penelitian ini akan memodifikasi matriks gondorukem. *Plasticizer* adalah unsur yang dapat memberikan sifat plastis pada suatu campuran unsur sehingga dapat mengurangi sifat getas pada material. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi sifat getas komposit dan untuk mengetahui kekuatan tarik komposit serat rami berpenguat matriks gondorukem dengan menggunakan gliserol dan pati kanji sebagai *plasticizer*.

## 2. Dasar Teori

Komposit yang merupakan penggabungan dua atau lebih material secara makro sekarang ini penggunaannya semakin meningkat seiring dengan banyaknya penelitian yang dilakukan untuk memperbanyak variasi dan pemanfaatannya. Tujuan utama adanya penggabungan dalam bidang *engineering* yaitu hasil dari penggabungan itu harus dapat diaplikasikan untuk mengatasi permasalahan yang berkembang saat ini atau paling tidak harus sesuai dengan kebutuhan perencanaan suatu komponen struktur. Tujuan desain dari sebuah komposit adalah untuk mencapai kombinasi properti dari satu material untuk menggabungkan karakteristik terbaik dari masing-masing komponen bahan [5].

Serat rami, jenis serat alami yang berasal dari tanaman, dapat digunakan untuk menguatkan bahan yang digabungkan. Rami adalah tanaman tahunan yang telah dibudidayakan selama lebih dari 12.000 tahun. Komposit yang menggabungkan serat rami dengan berbagai jenis matriks, seperti termoset, *biodegradable*, dan termoplastik, menunjukkan kinerja mekanik yang baik [7].

Gondorukem atau juga bisa disebut resin, berasal dari getah pohon pinus merkusii. Getah ini kental, transparan, dan memiliki daya rekat yang tinggi. Menurut Kencanawati, getah dari pohon pinus diperoleh melalui proses penyadapan, yang kemudian dipanaskan untuk menguapkan kandungan terpentin di dalamnya. Gondorukem adalah sisa getah yang tertinggal setelah pemanasan [6].

*Plasticizer* adalah zat aditif yang digunakan untuk membuat material lebih lentur, fleksibel, dan ulet. Ini sering digunakan dalam polimer seperti karet dan plastik untuk mempermudah proses pembentukan bahan mentah selama proses produksi. *Plasticizer* biasanya ditambahkan ke dalam matriks campuran komposit yang diperkuat dengan serat alami untuk meningkatkan kemampuan aliran komposit dan mempercepat proses pembuatan komposit selama cetakan dan pengecoran. Sifat mekanik komposit seperti keuletan dan kemampuan pemanjangan dapat diperbaiki dengan penggunaan *plasticizer* [8].

*Hand lay-up* adalah teknik pencetakan yang digunakan dalam metode *open molding* untuk menciptakan komposit. Ini adalah bentuk *open molding* yang paling sederhana dan tradisional. Proses *hand lay-up* dilakukan secara manual memasukkan serat kering, seperti serat tenunan, rajutan, jahitan, atau serat yang ditempelkan, ke dalam cetakan terbuka. *Hand lay-up* memiliki berbagai keuntungan dalam pembuatan komposit diantaranya adalah kebutuhan peralatan dan perangkat yang murah, sehingga teknik ini cocok untuk program dengan volume rendah dan prototipe, biaya pembuatan cetakan murah karena hanya satu cetakan (cetakan terbuka) yang digunakan, dan terakhir pilihan ukuran dan desain bagiannya yang lebih fleksibel [9].

*Compression molding* adalah salah satu proses pembuatan komposit berkualitas tinggi dengan berbagai volume. Bahannya yaitu penguat dan matriks ditempatkan kedalam cetakan, kemudian cetakan tersebut ditutup dan diberikan tekanan dengan menggunakan mesin press hidrolik. Waktu pengepresan bergantung pada ukuran serta ketebalan dari komposit [10]

### 3. Alat dan Bahan

Untuk membuat spesimen komposit, diperlukan beberapa bahan dan alat yang digunakan, antara lain:

#### 3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian

- a. Serat Rami Anyam
- b. Gondorukem
- c. Gliserol
- d. Pati Tapioka
- e. Terpentin
- f. Katalis MEKPO
- g. Akuades

#### 3.2 Alat

Alat yang digunakan dalam melakukan penelitian

- a. Timbangan Digital
- b. *Magnetic Stirrer*
- c. Teflon
- d. Sendok
- e. Skrap
- f. Kaca
- g. *Gelas Beaker*
- h. *Vernier Caliper*
- i. *Cutter*
- j. *Mesin Hot Press*

#### 3.3 Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen uji diawali dengan pemotongan dan penyusunan serat rami anyam sesuai dengan ukuran yang ada pada ASTM E23-18, yang akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengujian impak dengan metode *charpy*.



**Gambar 1.** Hasil pemotongan serat rami

Persiapan awal dalam membuat spesimen komposit, permukaan kaca yang akan digunakan untuk spesimen komposit diolesi dengan oli/*wax*. Tujuannya adalah untuk menghindari cairan matriks menempel antara spesimen dan kaca, karena hal ini dapat menyebabkan spesimen lengket dan sulit diangkat setelah pengolesan.



**Gambar 2.** Pengolesan oli/*wax* pada kaca.

Dalam proses pembuatan spesimen, dilanjutkan dengan pembuatan matriks. Matriks sebelumnya sudah ditimbang dan ditentukan perbandingan antara gondorukem, *plasticizer*, dan katalis sesuai dengan fraksi massa serat yang telah ditetapkan. Setelah itu ketiga bahan tersebut kemudian dituangkan pada teflon yang dipanaskan diatas kompor listrik.



**Gambar 3.** Pembuatan matriks menggunakan kompor listrik.

Setelah persiapan matriks selesai, langkah berikutnya adalah mengoleskan matriks ke serat yang telah disiapkan. Langkah ini dilakukan menggunakan sendok untuk menempatkan matriks yang sudah meleleh ke atas serat, dan kemudian skrap digunakan untuk meratakan seluruh matriks. Setelah satu lapisan serat tertutup secara merata dengan matriks, lapisan serat tambahan ditambahkan di atas lapisan sebelumnya, menempelkan kedua lapisan. Proses pengolesan ini diulangi untuk setiap lapisan tambahan, memastikan cairan matriks menyatu dengan lapisan serat di bawahnya hingga jumlah lapisan yang diinginkan dicapai.



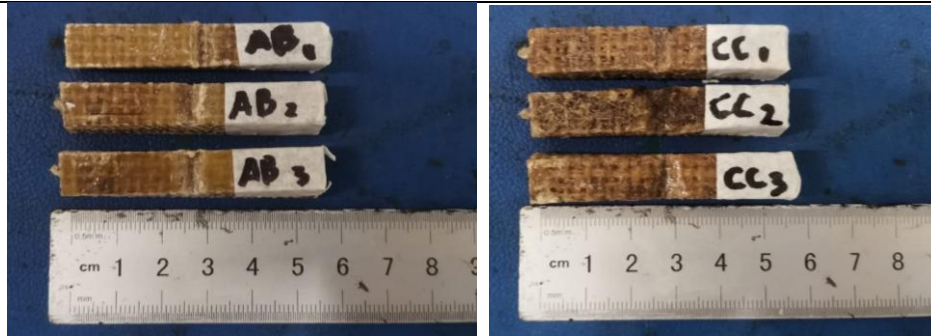
**Gambar 4.** Pelapisan matriks pada serat rami anyam.

Setelah dilakukan pengolesan, langkah selanjutnya adalah memotongnya sesuai dengan ukuran cetakan kompresi. Untuk mencegah spesimen menempel pada *aluminium foil*, wax telah dioleskan pada *aluminium foil*. Kemudian spesimen akan digunakan untuk proses *compression molding* menggunakan mesin *hot press*. Spesimen yang dilapisi dimasukkan ke dalam cetakan *hot press*, kemudian ditutup dan ditempatkan pada posisi untuk dipanaskan dan ditekan. Sebelum proses kompresi dimulai, penekan mesin *hot press* dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu 60°C. Untuk memungkinkan matriks cetakan meleleh dan mengisi seluruh ruang cetakan, tekanan tertinggi akan dipertahankan selama tiga menit. Setelah itu, penekan dilepas, cetakan dibuka, dan spesimen kompresi dikeluarkan.



**Gambar 5.** Proses *compression molding*

Setelah dilakukan pengepresan menggunakan *hot press*, spesimen didinginkan pada suhu ruang kurang lebih 7 hari untuk memadatkan dari matriks tersebut. Dan setelah spesimen menjadi lebih keras, dilakukan pemotongan ukuran spesimen disesuaikan dengan ASTM E23-18 yang akan digunakan dalam pengujian impak dengan metode *charpy*.



Gambar 6. Hasil Pemotongan

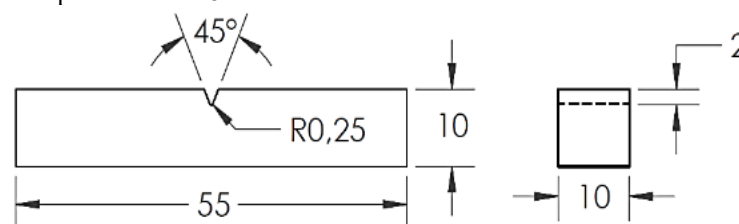
### 3.4 Pengujian Impak

Pengujian Impak dilakukan di Laboratorium Material Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar yang digunakan yaitu ASTM E23-18 menggunakan metode *charpy*. Sebuah pendulum dijatuhkan selama proses ini untuk menabrak spesimen uji. Energi potensial pendulum antara posisi awal dan posisi setelah benturan dihitung untuk menghitung energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen. Takikan digunakan untuk menandai area spesimen uji yang diperkirakan akan mengalami patahan. Alat uji impak yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Impact testing machine.

Alat uji impak telah dikalibrasi dengan massa pendulum 1,357 kg serta panjang lengan pendulum 0,3948 meter dengan sudut awal 148 derajat. Dari hasil perolehan uji posisi sudut akhir maka didapatkan besarnya usaha untuk mematahkan spesimen tersebut dengan menghitungnya dalam persamaan uji impak. Spesimen yang diletakkan pada penahan *Impact Testing Machine* dibuat sesuai dengan ukuran yang ditentukan di ASTM E23-18, yaitu dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm, serta memiliki takik berjenis V sebesar 45° dengan kedalaman 2 mm. Dimensi spesimen pengujian impak dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Dimensi spesimen uji impak (ASTM E23-18)

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kekuatan impak dari suatu spesimen/benda. Pada pembebanan cepat ada proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik sebuah beban yang menumbuk spesimen uji. Proses penyerapan energi tersebut ditransformasikan dalam berbagai respons material, seperti efek histerisis, deformasi plastis, friksi, dan efek inersia. Dasar pengujian impak adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu lalu menumbuk spesimen yang akan diuji sehingga spesimen uji mengalami deformasi atau patah. Persamaan untuk mengetahui ketangguhan atau energi impak dari suatu material ada pada Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$E = m \cdot g \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1)$$

Keterangan:

- E = Energi patah (J)
- m = Massa pendulum (kg)
- g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- R = Panjang lengan pendulum (m)
- $\alpha$  = Sudut awal pendulum
- $\beta$  = Sudut akhir pendulum

Dari Persamaan 2.2 didapatkan besaran ketangguhan impact yaitu Persamaan 2.3 dibawah ini:

$$HI = \frac{E}{A} \quad (2)$$

Keterangan:

- HI = Ketangguhan impact (J/mm<sup>2</sup>)
- E = Energi impact (J)
- A = Luas Penampang (mm<sup>2</sup>)

#### 4. Hasil dan Pembahasan

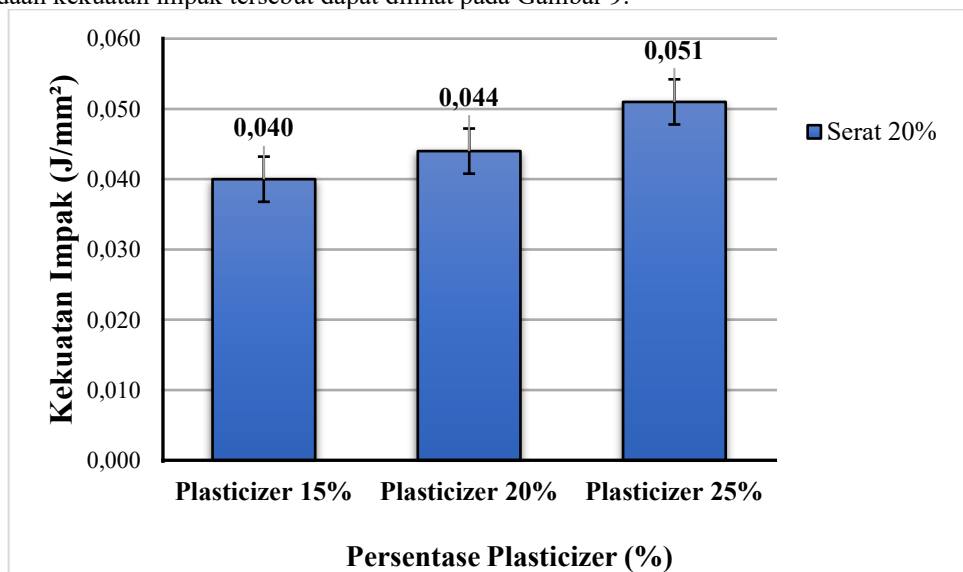
##### 4.1 Hasil Pengujian Impact

Berdasarkan hasil pengujian impact yang dilakukan, diperoleh beberapa data seperti sudut awal dan sudut akhir yang dapat digunakan untuk menghitung besar energi impact dari pengujian spesimen tersebut. Berikut merupakan data hasil pengujian spesimen komposit yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Hasil Pengujian Impact

Variasi	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	$\alpha$	$\beta$	Energi Terserap (Joule)	Harga Impact (J/mm <sup>2</sup> )	Harga Impact Rata-rata (J/mm <sup>2</sup> )
S = 20% P = 15%	84,50	148	102	3,364	0,040	<b>0,040</b>
	84,52	148	104	3,186	0,038	
	87,50	148	99	3,635	0,042	
S = 20% P = 20%	87,16	148	97	3,817	0,044	<b>0,044</b>
	85,84	148	100	3,544	0,041	
	85,40	148	95	3,999	0,047	
S = 20% P = 25%	79,20	148	97	3,817	0,048	<b>0,051</b>
	74,67	148	99	3,635	0,049	
	73,14	148	95	3,999	0,055	

Dari data hasil pengujian impact yang telah dilakukan, apabila diubah menjadi diagram batang dapat dilihat pada gambar perbedaan kekuatan impact tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Grafik hasil pengujian impact.

#### 4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan Gambar 9, memperlihatkan bahwa peningkatan persentase serat dan *plasticizer* secara umum berbanding lurus dengan peningkatan energi impact material komposit. Nilai energi impact tertinggi diperoleh pada spesimen dengan komposisi fraksi massa serat 20% dengan variasi *plasticizer* 25%, yaitu sebesar 0,051 J/mm<sup>2</sup>. Sebaliknya, nilai energi impact terendah ditemukan pada spesimen dengan komposisi fraksi massa serat 20% dengan variasi *plasticizer* 15%, yaitu sebesar 0,040 J/mm<sup>2</sup>. Secara keseluruhan, grafik ini memperkuat bahwa komposisi optimal antara fraksi serat, kandungan *plasticizer*, dan perlakuan kimia memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan performa mekanik, khususnya kekuatan impact, pada komposit berbasis matriks gondorukem.

Secara umum hasil pengujian komposit yang telah dibuat disebabkan dari beberapa faktor yang diketahui maupun yang tidak diketahui. Faktor yang dapat diketahui diantaranya adalah terjadinya kerusakan berupa delaminasi. Delaminasi disebabkan karena adanya tegangan interlaminar yang tinggi pada masing-masing sudut, ataupun terjadi pemusatan tegangan pada sebuah retakan atau jenis kerusakan lamina lainnya. Contoh delaminasi terjadi pada salah satu spesimen komposit yang dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Delaminasi pada spesimen setelah uji impact.

Delaminasi dapat terjadi karena beberapa faktor seperti jika ikatan antara serat dan matriks tidak kuat, misalnya akibat kurangnya kompatibilitas atau perlakuan permukaan yang tidak optimal, maka area tersebut menjadi titik lemah yang rentan delaminasi saat menerima beban tumbukan.

Selain faktor tersebut, ketidaksempurnaan dalam proses pembuatan komposit juga dapat memengaruhi kekuatan impactnya. Metode pembuatan dengan *hand lay-up* memiliki potensi untuk menghasilkan spesimen dengan porositas, terutama jika udara terperangkap selama proses pengolesan matriks. Porositas ini dapat menyebabkan penurunan kualitas dan kekuatan komposit, termasuk kekuatan impactnya.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji eksperimental yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh persentase serat dan *plasticizer* terhadap variasi komposit terhadap kekuatan impact komposit berpenguat serat rami anyam dengan matriks utama gondorukem dengan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit serat rami anyam dengan matriks gondorukem serta penambahan *plasticizer* berupa gliserol dan pati taapioka dibuat menggunakan metode *hand lay-up* dan *hot compression molding*. Meskipun spesimen yang dihasilkan cukup baik, namun masih ditemukan cacat seperti serat yang tidak terlapisi secara menyeluruh yang dapat menyebabkan adanya *void*.
2. Hasil kekuatan impact untuk serat rami ayam dengan penambahan *plasticizer* berupa gliserol dan pati tapioka didapatkan hasil dengan nilai kekuatan impact paling rendah pada spesimen variasi fraksi massa serat 20% dengan variasi persentase *plasticizer* 15% sebesar 0,040 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk nilai kekuatan impact terbesar dengan fraksi massa serat 20% dengan variasi persentase *plasticizer* 25% sebesar 0,051 J/mm<sup>2</sup>.

#### DFTAR PUSTAKA

- [1] Ilham, M.M. & Istiqlaliyah, H. (2019). Pemanfaatan Serat Rami (*Boehmeria Nivea*) Sebagai Bahan Komposit Bermatrik Polimer. *Mesin Nusantara* [Preprint].
- [2] Watjanatepin, P. et al. (2023). *Environmental assessment of woven hemp fibre reinforced epoxy composites and potential applications in aerospace and electric scooter industries. Results in Materials*, 20, p. 100474.
- [3] Senarat, S. et al. (2023). *Interfacial properties of rosin solution for the development of natural resin-based in situ forming systems. Materials Today: Proceedings*, 75, pp. 58–66.
- [4] Cao, H. et al. (2023). *The effects of superheated steam heat-treatment on turpentine content and softening point of resin. Industrial Crops and Products*, 192, p. 116139.
- [5] Callister Jr, W.D. and Rethwisch, D.G. (2020). *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated*

- 
- approach. John Wiley & Sons.*
- [6] Kencanawati, C. et al. (2019). Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan *Impact Greencomposite* Serat Kulit Buah Pinang dengan Matriks Getah Pinus. *Energi Dan Manufaktur*, 12(1), p. 33.
  - [7] Shahzad, A. (2012). *Hemp fiber and its composites—a review. Journal of composite materials*, 46(8), pp. 973–986.
  - [8] Jia, P. et al. (2018). *Plasticizers derived from biomass resources: A short review. Polymers*, 10(12), p. 1303.
  - [9] Kuppusamy, R.R.P., Rout, S. and Kumar, K. (2020). *Advanced manufacturing techniques for composite structures used in aerospace industries. Modern Manufacturing Processes. Elsevier*, pp. 3–12.
  - [10] T. B. Sirait, C. Kencanawati and I. Sugita. (2018). Sifat Fisik Dan Kekuatan Tarik Bioresin Getah Pinus Dengan Variasi Temperatur Pemanasan. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, vol. 7, pp. 28-33.
  - [11] Sriwita, D. (2014). Pembuatan Dan Karakterisasi Sifat Mekanik Bahan Komposit Serat Daun *Nenas-Polyester* Ditinjau dari Fraksi Massa dan Orientasi Serat. *Jurnal Fisika Unand*, 3(1).
  - [12] Elfaleh, I. et al. (2023). *A comprehensive review of natural fibers and their composites: an eco-friendly alternative to conventional materials. Results in Engineering*, p. 101271.
  - [13] Habibie, S. et al. (2021). Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan, Suatu Kajian Pustaka. *Jurnal Inovasi dan Teknologi Material*, 2(2), pp. 1–13.