

# **[Impact Strength and Hardness Study of Kenaf Fiber Reinforced Composites with Variations in Starch Concentration]** **[Studi Kekuatan Impak dan Kekerasan Pada Komposit Diperkuat Serat Kenaf dengan Variasi Konsentrasi Penambahan Amilum]**

Nanda Yudha Pratama<sup>1)</sup>, Edi Widodo<sup>2)</sup>, Prantasi Harmi Tjahjanti<sup>3)</sup>, Iswanto<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: [ediwido@umsida.ac.id](mailto:ediwido@umsida.ac.id)

*Abstract. This study aims to analyze the effect of variations in the addition of Manihot esculenta starch on the impact strength and hardness of kenaf fiber-reinforced polymer composites. The composite material was made using a polyester resin matrix with kenaf fiber reinforcement that had been treated with alkali using 5% NaOH solution for 2 hours. Variations in starch addition were carried out at 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, and 5%. Impact testing was carried out using the Charpy method based on ASTM D5942-96, while hardness testing used Shore D based on ASTM D2240. The results showed that increasing starch concentration caused a decrease in the impact value of the composite. The highest absorption energy value was obtained in the specimen without starch addition of 5.402 Joules, while the lowest value was found in the 5% starch variation of 3.900 Joules. The impact strength value also decreased from 0.031 Joules/mm<sup>2</sup> to 0.006 Joules/mm<sup>2</sup>. Meanwhile, the hardness test results showed an increase in the Shore D value up to a certain variation with the highest value of 81.2 SHD in specimen KK\_5. The decrease in impact properties was influenced by less homogeneous filler distribution, the formation of voids, and a decrease in the quality of the bond between the matrix, filler, and reinforcing fiber. In general, the study showed that the addition of starch had a significant effect on the mechanical properties of kenaf fiber-reinforced polymer composites.*

**Keywords** - polymer composite, kenaf fiber, starch, Charpy impact, Shore D.

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan amilum Manihot esculenta terhadap kekuatan impact dan kekerasan komposit polimer berpenguat serat kenaf. Material komposit dibuat menggunakan matriks resin polyester dengan penguat serat kenaf yang telah diberi perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH 5% selama 2 jam. Variasi penambahan amilum dilakukan sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Pengujian impact dilakukan menggunakan metode Charpy berdasarkan ASTM D5942-96, sedangkan pengujian kekerasan menggunakan Shore D berdasarkan ASTM D2240. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi amilum menyebabkan penurunan nilai impact komposit. Nilai energi serap tertinggi diperoleh pada spesimen tanpa penambahan amilum sebesar 5,402 Joule, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi amilum 5% sebesar 3,900 Joule. Nilai kekuatan impact juga mengalami penurunan dari 0,031 Joule/mm<sup>2</sup> menjadi 0,006 Joule/mm<sup>2</sup>. Sementara itu, hasil pengujian kekerasan menunjukkan adanya peningkatan nilai Shore D hingga variasi tertentu dengan nilai tertinggi sebesar 81,2 SHD pada spesimen KK\_5. Penurunan sifat impact dipengaruhi oleh distribusi filler yang kurang homogen, terbentuknya void, serta menurunnya kualitas ikatan antara matriks, filler, dan serat penguat. Secara umum, penelitian menunjukkan bahwa penambahan amilum memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik komposit polimer berpenguat serat kenaf.

**Kata Kunci** - komposit polimer, serat kenaf, amilum, impact Charpy, Shore D.

## **I. PENDAHULUAN**

Kemajuan teknologi material pada periode saat ini menghadapi tantangan yang signifikan, khususnya di bidang material komposit. Material komposit adalah kombinasi dari dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda, menghasilkan karakteristik baru yang lebih khas daripada material asalnya. Penggunaan material komposit terus berkembang pada berbagai bidang industri, seperti otomotif, konstruksi, perkapalan, hingga industri manufaktur

karena memiliki beberapa keunggulan, di antaranya berat yang relatif ringan, ketahanan korosi yang baik, serta memiliki sifat mekanik yang cukup tinggi [1].

Salah satu jenis material komposit yang saat ini sedang diteliti adalah yang berbasis serat alam. Dibandingkan dengan penggunaan serat sintetis, penggunaan serat alam sebagai penguat komposit merupakan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Untuk Pengaplikasian komposit Ini untuk membuat seperti Selebor sepeda motor, Selain mudah didapatkan, serat alam juga memiliki biaya produksi yang relatif murah, mudah dipahami, mudah diolah secara alami, dan memiliki massa jenis yang rendah. Karena itu, penggunaan serat alam sebagai penguat komposit merupakan solusi potensial untuk mendorong pengembangan material.

Serat kenaf merupakan salah satu jenis serat alam yang mempunyai potensi besar sebagai material komposit. Serat kenaf mempunyai kandungan selulosa yang cukup tinggi sehingga dapat memberikan kekuatan mekanik yang baik pada material komposit. Selain itu, serat kenaf memiliki sifat ringan, mudah dicerna, dan tersedia dalam jumlah melimpah. Ketika digunakan sebagai penguat komposit, serat kenaf sering mengalami kimia alkalisasi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Tujuan dari perlakuan alkali adalah untuk menghasilkan serat permukaan dari lignin, hemiselulosa, minyak, dan berbagai zat lain yang masih berkontribusi pada serat permukaan. Proses ini dapat meningkatkan kekasaran permukaan serat sehingga ikatan adhesi antara serat dan matriks menjadi lebih baik.

Selain penggunaan serat alam sebagai bahan penguat, pengembangan material komposit juga dilakukan melalui penambahan filler alami, salah satunya amilum. Amilum merupakan polisakarida alami yang berasal dari tumbuhan dan banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pada material komposit karena memiliki sifat biodegradable dan ramah lingkungan. Penambahan amilum pada komposit diharapkan dapat meningkatkan karakteristik tertentu pada material, seperti biodegradabilitas dan efisiensi penggunaan bahan sintetis. Akan tetapi, penambahan amilum dalam jumlah tertentu juga dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit, terutama pada kekuatan impact dan kekerasan material[2].

Kekuatan impact merupakan salah satu parameter penting dalam pengujian material komposit karena menunjukkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan secara tiba-tiba sebelum mengalami kerusakan. Material dengan kekuatan impact yang baik akan mampu menahan beban kejut tanpa mudah mengalami retak atau patah. Oleh karena itu, pengujian impact menjadi salah satu metode penting untuk mengetahui kualitas dan ketangguhan suatu material komposit[3].

Dalam penelitian ini digunakan matriks berupa resin polyester bening yang dikombinasikan dengan serat kenaf sebagai bahan penguat dan amilum sebagai filler alami. Serat kenaf diberikan perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH 5% selama 2 jam sebelum digunakan dalam proses pembuatan komposit. Fraksi volume serat yang digunakan sebesar 30% dengan panjang serat 6 cm. Sementara itu, variasi penambahan amilum dilakukan secara bertingkat, yaitu sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%[4].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi penambahan amilum terhadap sifat mekanik komposit polimer yang diperkuat serat kenaf, khususnya pada kekuatan impact dan tingkat kekerasan material. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan konsentrasi amilum yang mampu menghasilkan sifat mekanik optimal pada komposit.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi: (1) bagaimanakah pengaruh variasi konsentrasi penambahan amilum terhadap kekuatan impact komposit yang diperkuat serat kenaf, (2) bagaimanakah pengaruh variasi konsentrasi penambahan amilum terhadap tingkat kekerasan komposit yang diperkuat serat kenaf, (3) pada konsentrasi penambahan amilum berapakah komposit yang diperkuat serat kenaf menghasilkan kekuatan impact yang optimal, dan (4) pada konsentrasi penambahan amilum berapakah komposit yang diperkuat serat kenaf menghasilkan tingkat kekerasan yang optimal.

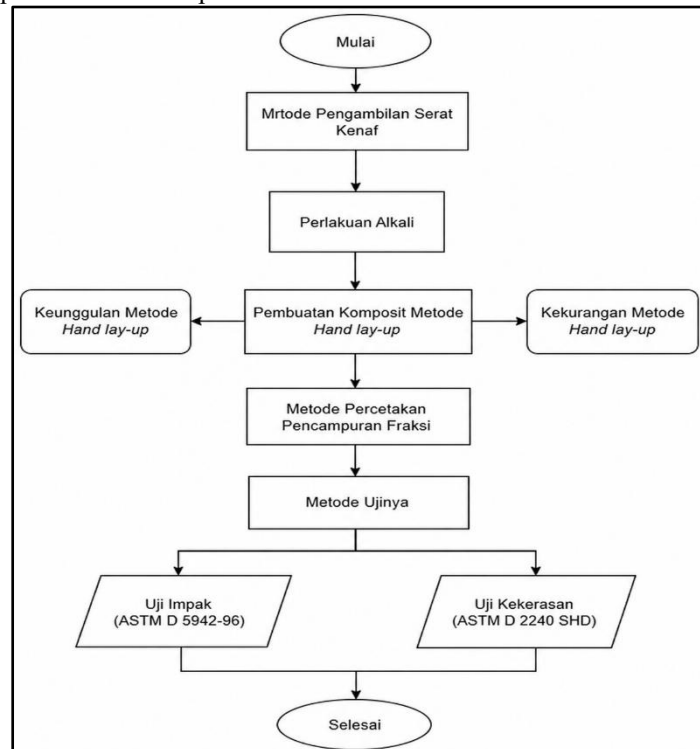
Namun, tujuan penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh berbagai konsentrasi penambahan amilum terhadap dampak dan tingkat kekerasan komposit yang sangat kenaf, serta untuk mengidentifikasi konsentrasi amilum yang dapat memberikan sifat mekanik paling ideal pada material tersebut. Diharapkan penelitian ini akan memberikan informasi dan kontribusi yang mendalam tentang pengaruh penggunaan filler alami, yaitu amilum, terhadap sifat mekanik polimer komposit yang kenaf. Selain itu, diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadikan referensi untuk pengembangan material ramah lingkungan yang memiliki karakteristik mekanik yang baik dan berpotensi digunakan dalam banyak aplikasi industri.

## II. METODE

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada pembuatan komposit serat kenaf ini termasuk dalam penelitian eksperimen dengan pendekatan pembuatan dan pengujian material komposit menggunakan metode *hand lay-up*. Penelitian diawali dengan tahap pengambilan serat kenaf sebagai bahan penguat komposit. Setelah serat diperoleh, dilakukan perlakuan alkali terhadap serat kenaf untuk membersihkan kandungan lignin, hemiselulosa, kotoran, serta meningkatkan daya ikat antara serat dan matriks resin.

Tahap berikutnya yaitu proses pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up*. Pada metode ini, serat kenaf disusun di dalam cetakan kemudian dicampurkan dengan resin dan katalis secara manual hingga merata. Metode *hand lay-up* dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, seperti proses pembuatan yang sederhana, biaya produksi yang relatif rendah, serta mudah diterapkan pada pembuatan komposit skala laboratorium. Namun demikian, metode ini juga memiliki kekurangan, antara lain ketebalan komposit yang kurang seragam dan kemungkinan terbentuknya gelembung udara (*void*) pada material komposit.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## 2.2 Metode Pengambilan Serat Kenaf



**Gambar 2.** Tumbuhan Kenaf

### 1. Sejarah Kenaf di Indonesia

Gambar 2 menunjukkan tanaman kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) yang merupakan salah satu tanaman penghasil serat alam dengan nilai ekonomi penting. Serat kenaf termasuk kategori serat bast (kulit batang bagian luar) yang kaya akan selulosa ( $\pm 45\text{--}57\%$ ), hemiselulosa ( $\pm 20\%$ ), dan lignin ( $\pm 8\text{--}13\%$ ). Kandungan ini menjadikan serat kenaf cukup kuat, ringan, serta ramah lingkungan.

Di Indonesia, kenaf sudah lama dibudidayakan sejak masa kolonial Belanda, terutama untuk pembuatan karung goni pengemas hasil pertanian. Saat ini, kenaf kembali dilirik sebagai bahan penguat komposit karena ketersediaannya yang melimpah, mudah ditanam di lahan tropis, serta memiliki sifat mekanik yang cukup baik. Oleh sebab itu, pada penelitian ini, batang kenaf digunakan sebagai sumber serat penguat komposit berbasis resin.

### 2. Wilayah Budidaya Kenaf di Indonesia

Kenaf cocok ditanam di daerah tropis, terutama pada dataran rendah dengan tanah subur. Beberapa wilayah budidaya kenaf di Indonesia antara lain:

- Jawa Tengah → Pati, Kudus, Jepara, dan Grobogan.
- Jawa Timur → Lamongan, Bojonegoro, Ngawi, Madiun, Tulungagung.
- Jawa Barat → Indramayu, Subang, dan Karawang.
- Sumatera → Lampung, Sumatera Selatan (sebagai lahan pengembangan baru).
- Sulawesi Selatan → pernah diuji coba di beberapa wilayah untuk diversifikasi lahan.

Tanaman ini umumnya ditanam pada awal musim hujan dan dipanen setelah 4–5 bulan.

#### 2.2.1 Pemilihan dan Persiapan Pengambilan serat daun kenaf

- a. Pilih daun kenaf yang masih segar dan sehat.
- b. Potong Pangkal Pelepah daun untuk memudahkan proses ekstraksi.

#### 2.2.2 Pengambilan Serat



**Gambar 3.** Pengambilat serat Kenaf

Pengambilan serat dengan menggunakan Metode skala industri atau untuk produksi massal. Menggunakan Mesin dekortikator berfungsi memisahkan serat dari batang kenaf dengan cepat.

Tahapan:

1. Batang kenaf dipanen, dibersihkan dari daun dan cabang.
2. Batang dimasukkan ke mesin dekortikator.
3. Mesin akan menghancurkan bagian kayu dan melepaskan serat dari kulit batang.
4. Serat keluar dalam kondisi masih basah dan bercampur getah.
5. Serat kemudian dicuci, direndam kimia/alkali jika perlu, lalu dikeringkan.

menunjukkan pengambilan serat kenaf yaitu :

- a. Setelah perendaman, serat dipisahkan dari daging daun secara Pengerukan dilakukan dengan alat yang tidak tajam supaya serat tetap terjaga keutuhannya.
- b. Alternatif lain adalah dengan Menyikat daun menggunakan sikat baja untuk memisahkan serat dari daging daun[5].
- c. Pengambilan serat juga dilakukan secara mekanis menggunakan mesin dekortikator, terutama jika dalam skala industri, dengan daun dalam kondisi basah agar serat tidak mudah patah.

#### 2.2.3 Perendaman (*Water Retting*)



**Gambar 4.** Perendaman NaOH

Proses perendaman bertujuan untuk:

- Memisahkan serat kenaf dari batangnya, Menghilangkan zat pengikat alami seperti pektin, hemiselulosa, dan lignin yang merekatkan serat dengan jaringan batang dan Memperoleh serat yang lebih bersih, lembut, dan panjang sehingga siap diproses lebih lanjut menjadi bahan komposit.

Proses perendaman memanfaatkan aktivitas mikroorganisme (bakteri & jamur) yang hidup di dalam air. Mikroorganisme ini menghasilkan enzim (misalnya pektinase) yang akan menguraikan pektin serta sebagian hemiselulosa, sehingga ikatan antara serat dengan batang terlepas[6].

Langkah-Langkah untuk perendaman serat:

- Rendam daun dalam air selama beberapa jam hingga bisa mencapai sehari-hari tergantung suhu dan kualitas air seperti di gambar 2.
- Proses ini dapat menggunakan metode *water retting* di mana mikroorganisme memecah zat perekat tanpa merusak serat selulosa.
- Selama perendaman daun perlu dibalik secara berkala agar proses berlangsung merata.
- Serat juga dapat direndam dalam larutan alkali (NaOH) selama beberapa jam untuk Menghilangkan zat non-serat seperti lignin dan hemiselulosa, meningkatkan kualitas serat.
- Lama perendaman alkali Selama 2 Jam.

#### 2.2.4 Pencucian dan Pembersihan



**Gambar 5.** Pencucian Serat

Pencucian serat kenaf setelah dilakukan perlakuan alkali menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Setelah proses perendaman dalam larutan NaOH selesai, serat kenaf dicuci menggunakan air bersih secara berulang untuk menghilangkan sisa larutan alkali, lendir, lignin, hemiselulosa, getah, serta kotoran lain yang masih menempel pada permukaan serat. Pencucian dilakukan hingga kondisi serat benar-benar bersih dan tidak lagi mengandung sisa bahan kimia yang dapat mempengaruhi kualitas material komposit. Tahapan pencucian ini merupakan proses yang sangat penting karena sisa NaOH yang masih tertinggal pada serat dapat menyebabkan kerusakan struktur serat maupun menurunkan kualitas ikatan antara serat dan matriks resin. Selain itu, pencucian juga bertujuan untuk menetralkan kondisi permukaan serat setelah proses alkalisasi sehingga serat menjadi lebih siap untuk tahapan pengeringan dan proses fabrikasi komposit selanjutnya.

Diketahui bahwa perlakuan alkali dengan NaOH dapat menghilangkan lapisan yang kotor pada permukaan serat alami, sehingga serat permukaan menjadi lebih kasar. Keadaan ini dapat meningkatkan daya rekat antara serat kenaf dan matriks polimer yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan sifat mekanik komposit. Oleh karena itu, proses pencucian setelah perendaman NaOH harus dilakukan secara ideal agar hasil perlakuan alkali dapat dicapai secara optimal.

- Serat kenaf yang telah direndam dalam larutan NaOH dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan sisa larutan alkali, lendir, dan kotoran yang masih menempel pada permukaan serat.
- Proses pencucian dilakukan secara berulang hingga serat benar-benar bersih dan netral, sehingga serat siap digunakan pada proses pengeringan maupun pembuatan komposit selanjutnya[7].

#### 2.2.5 Pengeringan

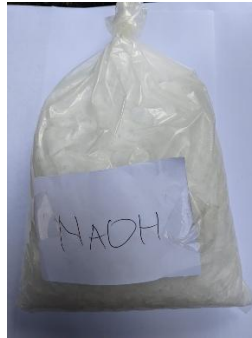


**Gambar 6.** Pengeringan serat Kenaf

Serat kenaf yang sedang dijemur setelah proses pencucian. Serat biasanya dijemur di tempat terbuka namun teduh, atau digantung agar aliran udara merata. Tujuannya adalah untuk menurunkan kadar air serat hingga mencapai 10–15%, sehingga serat stabil dan tidak cepat rusak. Pengerian alami dengan sinar matahari membutuhkan waktu 2–3 hari, tergantung kondisi cuaca. Pada skala industri atau penelitian yang membutuhkan kualitas terkontrol, pengerian juga bisa dilakukan dalam oven pada suhu 60–70 °C selama 2 jam.

- a. Serat dikeringkan dengan cara dijemur di tempat teduh lebih bagus daripada terkena sinar matahari langsung Karena untuk menghindari pemutihan dan kerusakan serat.
- b. Pengeriangannya biasanya berlangsung kurang lebih selama 1 hari tergantung suhu.

### 2.3 Perlakuan Alkali



**Gambar 7.** Natrium Hidroksida

Perlakuan alkali bertujuan untuk menghilangkan lignin yang mengikat serat elementer menjadi serat teknis sehingga menambah kekakuan serat dan menaikkan indeks kristalinitas sehingga menghilangkan serat kenaf. Menyatakan bahwa alkali NaOH mengubah karakteristik permukaan dan menyebabkan perbaikan permukaan, dibandingkan dengan jenis alkali lainnya seperti kalium hidroksida, maleat anhidrida, dan silana. Penelitian selanjutnya membuktikan bahwa perlakuan dengan NaOH memberikan hasil yang baik dibandingkan perlakuan peroksida[8].

Perlakuan alkali yang menggunakan NaOH dengan tingkat kemurnian 97%. serat diperlakukan dengan larutan NaOH pada gambar 5 dengan konsentrasi 5% berat untuk mencapai karakterisasi alkalisasi yang optimal di suhu kamar, Menentukan perlakuan alkali 5% berarti kita ingin menyiapkan larutan alkali (biasanya NaOH) dengan konsentrasi 5% b/v atau 5% w/v, lalu merendam serat dalam larutan itu untuk waktu tertentu agar terjadi modifikasi permukaan (misalnya pada serat kenaf, dll). Setelah merendam serat selama 2 jam, kandungan non-selulosa dihilangkan, dan kotoran dan alkali dihilangkan dari serat. Serat dinetralkan dengan asam aselan encer selama 2 menit dan dicuci dengan air suling, yang merupakan air murni yang bebas dari kotoran. Proses akhir dilakukan dalam mesin pengering pada suhu 70°C selama 2 jam untuk memastikan penghilangan kelembaban [9].

Penelitian ini dilakukan dengan metode *experimental* atau *True Experiment Research*, data yang dibutuhkan didapat dengan melakukan percobaan, menggunakan serat Kenaf sebagai penguat komposit menggunakan resin polyester. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay-up* menggunakan resin polyester sebagai matriks dan serat kenaf sebagai penguat. Fraksi berat serat ditentukan sebesar 30% dari total massa komposit, karena berdasarkan penelitian sebelumnya, konsentrasi ini memberikan keseimbangan antara kekuatan tarik, kekerasan, dan ketangguhan impact, Menentukan serat biasanya kita harus mendapatkan fraksi berat serat sebesar 30% dalam suatu komposit (misalnya serat dan matriks resin). dengan metode *hand lay-up* dengan tujuan mengetahui nilai optimal pada uji impact dan uji kekerasan Komposit adalah material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih bahan dasar yang disusun secara terlihat[10].

### 2.4 Fraksi Berat

Untuk komposit, salah satu cara paling umum dalam perhitungan adalah menggunakan fraksi berat (*weight fraction*, W). Rumus ini digunakan untuk menentukan seberapa besar kontribusi masing-masing komponen (serat dan matriks) dalam total massa komposit.

Untuk komposit dua fasa (serat dan matriks):

$$VF = \text{Fraksi Volume Serat (\%)} \\ m = \text{Massa (gr)} \\ v = \text{Volume (cm}^3\text{)}$$

Densitas Matriks ( $\rho_m$ ) = 1,15 gr/cm<sup>3</sup>

Berat Matriks ( $w_m$ ) = 100 gram

$W_f$  = Berat serat (gram)

#### 2.4.1 Fraksi Volume Serat Uji Impact

$$V_f = \frac{W_f / \rho_f}{W_f / \rho_f + W_m / \rho_m} = \frac{0,45 / 0,05}{0,45 / 0,05 + 23,2 / 1,15} = \frac{9}{9 + 20,17} = 0,308$$

Fraksi Berat Serat = 0,308 x 100% = 30%

#### 2.4.2 Fraksi Volume Uji Kekerasan

$$V_f = \frac{W_f / \rho_f}{W_f / \rho_f + W_m / \rho_m} = \frac{0,43 / 0,05}{0,43 / 0,05 + 23 / 1,15} = \frac{8,6}{8,6 + 20} = 0,300$$

Fraksi Berat Serat = 0,300 x 100% = 30%

### 2.5 Pembuatan Komposit *Hand lay-up*

*Hand lay-up* adalah salah satu metode paling sederhana dan dapat digunakan dalam pembuatan komposit berbasis resin. Metode ini dilakukan dengan meletakkan serat penguat secara manual ke dalam cetakan, lalu diresapi resin cair menggunakan kuas atau rol hingga serat terimpregnasi sempurna.

#### 1. Persiapan Bahan dan Alat

##### a. Serat Kenaf



**Gambar 8.** Serat Kenaf

Serat penguat serat kenaf adalah serat alam yang berasal dari batang tanaman kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) yang digunakan sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dalam pembuatan komposit. Fungsinya adalah memberikan kekuatan tarik, kekakuan, dan stabilitas bentuk pada material komposit yang biasanya menggunakan resin sebagai matriksnya.

##### b. Resin (poliester atau epoksi)



**Gambar 9.** Resin Polyester (Epoksi)

Resin polyester Tioe 801 adalah salah satu jenis resin yang banyak digunakan dalam pembuatan komposit, termasuk komposit serat alam. Resin ini memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya sangat cocok untuk pembuatan komposit. Resin polyester adalah jenis resin termoset, yang berarti bahwa setelah proses pengeringan dan pengerasan, resin tidak dapat dilelehkan kembali. Ini memberikan kekuatan dan stabilitas yang baik pada komposit [11], yang diproduksi oleh PT Aneka Jaya Kimia Raya.

## c. Katalis Mexpo



**Gambar 10.** Katalis Mexpo

Proses pengerasan resin, katalis adalah bahan yang berfungsi untuk mempercepat reaksi pengeringan atau pengerasan pada suhu ruangan. Dalam proses curing pada resin cair ini, jenis katalis yang dimanfaatkan adalah mexpo. Dengan adanya katalis dalam tahapan ini, reaksi pengeringan atau curing berlangsung lebih cepat, mengubah resin dari keadaan cair menjadi solid dan keras dalam waktu yang lebih singkat, terutama untuk pembuatan komposit yang biasanya memerlukan waktu pengeringan lebih lama jika tanpa penggunaan katalis. Penggunaan katalis memungkinkan komposit selesai lebih cepat dan meningkatkan efisiensi proses pembuatan komposit. Namun, Jika digunakan secara berlebihan, katalis bisa menyebabkan suhu berlebih selama proses pengeringan. Suhu yang terlalu tinggi ini dapat merusak produk, yang berdampak pada penurunan kekuatan dan kualitas komposit[12]. Katalis berjenis mexpo ini di produksi oleh PT Aneka Jaya Kimia Raya.

## d. Amilum

Amilum adalah polisakarida yang tersusun dari rantai glukosa, dan merupakan bentuk cadangan makanan pada tumbuhan. Dalam bahasa sehari-hari, Banyak ditemukan di biji-bijian (beras, jagung, gandum) dan umbi-umbian (singkong, kentang).

e. Cetakan (*mould*)

Cetakan (*mould*) adalah alat atau wadah yang digunakan untuk membentuk suatu material cair, semi padat, pasta, maupun material plastis menjadi bentuk tertentu sehingga setelah mengalami proses pengerasan atau curing, material tersebut akan mempertahankan bentuk sesuai desain yang diinginkan. Dalam proses manufaktur komposit, logam, plastik, maupun produk kerajinan, cetakan memiliki peranan yang sangat penting karena berfungsi sebagai media pembentuk utama yang menentukan dimensi, ketebalan, kerapian permukaan, serta kualitas akhir spesimen atau produk yang dihasilkan.

Pada proses pembuatan material komposit, penggunaan cetakan bertujuan agar campuran resin dan bahan penguat dapat tersusun secara rapi dan seragam selama proses pengerasan berlangsung. Cetakan juga membantu menjaga kestabilan ukuran spesimen sehingga hasil pengujian mekanik terbuat dari bahan silicon rubber dapat dilakukan secara lebih akurat dan sesuai standar. Selain itu, penggunaan cetakan yang baik dapat meminimalkan terjadinya cacat produk seperti porositas, ketidakteraturan bentuk, gelembung udara, maupun ketidaksamaan ketebalan spesimen. Alat-alatnya Sarung tangan, Timbangan digital, gelas ukur, Gunting, penggaris, kertas gosok Dll.

## 2.6 Metode Percetakan Pencampuran Fraksi Persiapan Bahan:

Kumpulkan serat kenaf yang telah diproses dan dibersihkan. Siapkan bahan pengikat, seperti resin Poliyester atau polimer, yang akan digunakan untuk mencampur dengan serat.

## 1. Pencampuran:

Campurkan serat kenaf dengan Resin dalam cetakan yang sesuai. Dengan menggunakan variasi penambahan Amilum 1%, 2%, 3%, 4%, 5%. Gunakan alat pencampur untuk memastikan distribusi serat yang merata dalam bahan pengikat.

## 2. Pencetakan:

Setelah pencampuran, masukkan campuran ke dalam cetakan yang telah disiapkan. Gunakan teknik pencetakan yang sesuai, seperti pencetakan injeksi atau pencetakan kompresi, untuk membentuk material komposit[13].

## 3. Pengeringan dan Pengawetan:

Biarkan material yang dicetak mengering dan mengeras sesuai dengan instruksi bahan pengikat yang digunakan. Lakukan proses pengawetan jika diperlukan untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan material.

## 4. Pengujian:

Lakukan pengujian untuk mengevaluasi sifat mekanik, seperti kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan ketahanan terhadap kelembapan.

## 2.7 Metode Pengujian

### UJI IMPAK

Uji Impact adalah metode pengujian untuk mengukur ketangguhan atau kemampuan material dalam menyerap energi saat terkena benturan jumlah spesimen uji impact 24 tiap variasi terdapat 4 Sampel. Uji Impact ini dilakukan dengan memberi beban secara tiba-tiba pada material untuk melihat seberapa banyak energi yang dapat Oleh karena itu, pengujian sering digunakan dalam bidang evaluasi karakteristik mekanis suatu material[14]. Alat uji impact tipe Promes Charpy Impact Test yang digunakan untuk melakukan pengujian ketangguhan material dengan metode Charpy Alatnya pada Gambar 3. Alat ini merupakan salah satu peralatan pengujian mekanik yang dilakukan di Politeknik Negeri Malang untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap energi akibat beban kejut atau benturan secara tiba-tiba hingga material mengalami patah. Pengujian *impact* sangat penting dilakukan untuk mengetahui karakteristik ketangguhan material, khususnya pada material komposit, logam, maupun polimer. Secara umum, alat uji impact Charpy bekerja menggunakan sistem ayunan bandul (pendulum). Bandul dilepaskan dari ketinggian tertentu sehingga menghasilkan energi kinetik yang kemudian digunakan untuk memukul spesimen uji yang diletakkan pada dudukan (anvil). Energi yang terserap oleh spesimen saat mengalami patah akan ditunjukkan pada skala indikator yang terdapat pada alat. Semakin besar energi yang mampu diserap oleh material, maka semakin tinggi nilai ketangguhan impact material tersebut.

Alat uji pada gambar merupakan tipe Promes *Charpy Impact Test* dengan kapasitas maksimum energi sebesar 200 Joule. Dengan berat pendulum 8,3 kg dan memiliki sudut alfa 120°, Kapasitas tersebut menunjukkan besarnya energi maksimum yang dapat digunakan alat untuk melakukan pengujian. Alat ini umumnya digunakan untuk pengujian material logam maupun komposit dengan standar pengujian tertentu seperti ASTM maupun ISO[15].

Metode *Charpy* dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, seperti proses pengujian yang relatif sederhana, waktu pengujian yang singkat, serta mampu memberikan informasi mengenai ketangguhan material terhadap pembebanan dinamis. Lengan pendulum memiliki panjang 0,62 meter dan memungkinkan pendulum bergerak dengan kecepatan antara 3 hingga 6 m/s. Selain itu, metode ini juga banyak digunakan dalam penelitian material komposit untuk mengevaluasi kualitas ikatan antara matriks dan serat penguat[16].



**Gambar 11.** Alat Uji Impak *Charpy Test*

Prinsip dasar pengujian impact adalah dengan mengayunkan beban dan menghantamkannya pada sampel yang diuji. Agar sampel dapat patah dengan tepat, dibuat takikan pada benda uji. Hasil pengujian impact suatu material diungkapkan sebagai energi yang diterima per unit luas penampang sampel.

Energi yang diserap oleh material dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$E_{srp} = m \cdot g \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (1)$$

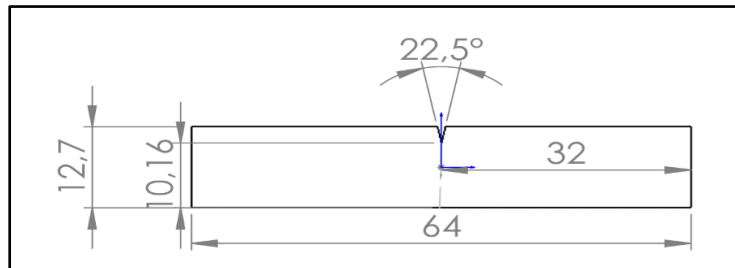
$$HI = \frac{E_{srp}}{A} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- $E_{srp}$  = Energi Serap (J)
- $m$  = Massa pendulum (kg)
- $g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
- $r$  = Panjang lengan pendulum (m)
- $\alpha$  = Sudut awal sebelum ayunan ( $^\circ$ )
- $\beta$  = Sudut akhir setelah ayunan ( $^\circ$ )
- $HI$  = Ketangguhan *impact* ( $J/mm^2$ )

A = Luas Penampang ( $\text{mm}^2$ )

Pada penelitian ini akan Menggunakan Alat Uji Impact Charpy Dengan Standar ASTM 5942-96. Ukuran spesimen pada gambar 4 Standar ASTM 5942-96 Memiliki Panjang 64 mm, Lebar 12,7 mm, Tinggi 12,7 mm. Bentuk spesimen Uji impact dapat dilihat Pada Gambar 4.



**Gambar 12.** Bentuk cetakan uji impact metode *charpy* ASTM D 5942-96 ( $\text{joule}/\text{mm}^2$ )

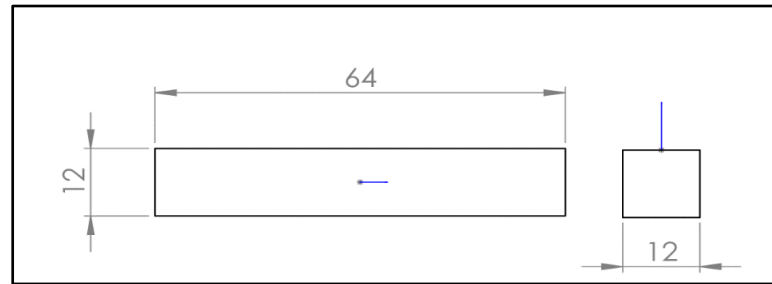
### UJI KEKERASAN

Pengujian kedua pada spesimen komposit polimer ini menggunakan uji kekerasan Shore D jumlah spesimen uji kekerasan ada 6 tiap variasi 1 sampel terdapat 5 titik. Pengujian kekerasan Shore D bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu benda uji terhadap penetrasi benda yang lebih keras dengan gaya tertentu. Proses ini dilakukan dengan cara menekan jarum atau alat penetrasi lainnya ke permukaan material dengan gaya tertentu Menggunakan Alat durometer shore D pada Gambar 5, dan kedalaman penetrasi yang terjadi akan menentukan nilai kekerasan material tersebut[17].



**Gambar 13.** Alat Uji Kekerasan Durometer *Shore D*

Jenis alat yang digunakan untuk uji kekerasan Shore D disebut durometer *Shore D*. Alat ini dirancang mampu untuk mengukur nilai kekerasan. alat ukur kekerasan digital tipe *Shore D* Durometer yang digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan permukaan material non-logam, terutama material yang memiliki sifat relatif keras seperti plastik, resin polyester, polimer, komposit serat, dan karet keras. Dalam penelitian ini, alat tersebut digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan komposit polimer yang diperkuat serat kenaf dengan variasi penambahan amilum sebagai bahan filler alami. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan amilum terhadap karakteristik mekanik komposit, khususnya terhadap ketahanan permukaan material terhadap penetrasi atau deformasi[18]. Berdasarkan spesifikasinya, *Shore D* Durometer pada gambar 5 memiliki rentang pengukuran 0–100 SHD dengan ketelitian 0,5 SHD sehingga mampu digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan material polimer dan komposit dari kategori lunak hingga keras. Alat ini dilengkapi layar digital (LCD display) yang memudahkan pembacaan hasil pengujian secara lebih cepat dan akurat. Pada bagian bawah alat terdapat indenter berbentuk kerucut runcing dari baja keras yang dirancang khusus untuk pengujian material keras sesuai standar *Shore D*. Pengujian menggunakan Shore D Durometer memiliki kelebihan berupa proses pengukuran yang mudah, cepat, dan tidak merusak spesimen secara signifikan. Nilai kekerasan yang diperoleh dipengaruhi oleh kualitas ikatan antara matriks resin, serat kenaf, dan filler amilum. Distribusi filler yang homogen serta adhesi yang baik antara serat dan matriks dapat meningkatkan kekerasan material, sedangkan terbentuknya void atau aglomerasi filler dapat menurunkan nilai kekerasan komposit. [19].



**Gambar 14.** Bentuk cetakan uji kekerasan *shore D* ASTM D 2240 (SHD)

Pengujian Shore D pada penelitian ini mengacu pada standar internasional ASTM D2240 bentuk cetakan pada gambar 6 tentang pengujian kekerasan durometer serta standar ISO 868 mengenai pengukuran kekerasan material plastik menggunakan metode Shore hardness. Standar tersebut digunakan untuk memastikan bahwa prosedur pengujian dilakukan secara sistematis dan hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

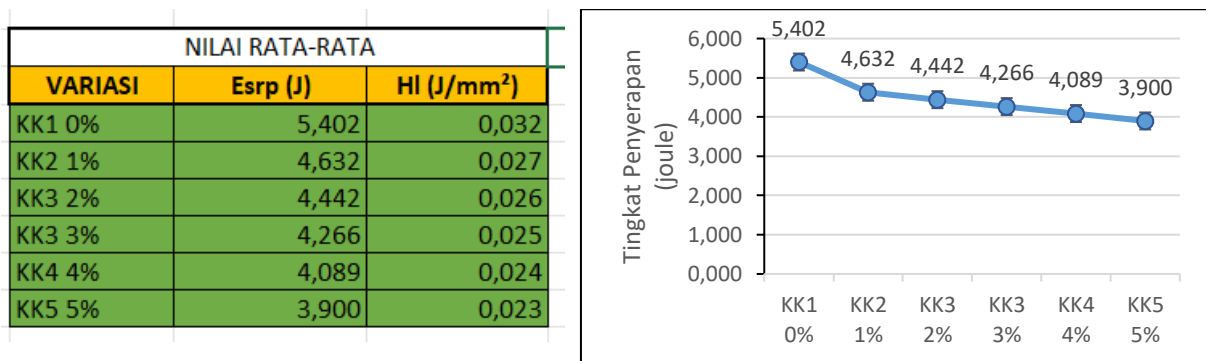
Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji karakteristik material polimer komposit yang dihasilkan dengan menggunakan serat kenaf melalui perlakuan alkali kimia. Proses alkali dilakukan dengan menambahkan sedikit kenaf ke dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 5% selama dua jam. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan jumlah kotoran, lignin, dan hemiselulosa yang terdapat pada permukaan serat. Hal ini akan meningkatkan kekasaran permukaan serat dan meningkatkan adhesi antara serat dan matriks dalam komposisi.[20].

Pada tahap pembuatan komposit, fraksi volume serat kenaf ditentukan sebesar 30% dari keseluruhan volume material yang digunakan. Serat kenaf dipotong dengan panjang 6 cm guna memperoleh penyebaran serat yang lebih merata di dalam matriks, sekaligus memudahkan tahapan pencampuran dan proses pencetakan spesimen. Matriks yang digunakan dalam penelitian ini berupa resin polyester bening karena memiliki karakteristik mekanik yang baik, mudah diaplikasikan, serta mampu memberikan ikatan yang cukup optimal dengan material penguat. Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan pengisi terhadap sifat komposit, dilakukan variasi penambahan amilum ke dalam matriks dengan konsentrasi bertingkat, yaitu sebesar 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Penambahan amilum ini bertujuan untuk melihat perannya sebagai filler alami yang berpotensi meningkatkan sifat tertentu dari komposit, seperti kekuatan mekanik atau karakteristik biodegradabilitas. Seluruh proses pembuatan spesimen dilakukan dengan memperhatikan komposisi yang telah ditentukan agar diperoleh hasil yang konsisten dan dapat dibandingkan secara objektif.

#### 3.1 Hasil Pengujian *Impact Metode Charpy*

Pengujian sifat mekanik dalam penelitian ini difokuskan pada uji ketangguhan impact menggunakan metode Charpy. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan alat uji impact tipe Promes Charpy Impact Test yang memiliki kapasitas maksimum energi serap sebesar 200 Joule. Alat tersebut merupakan fasilitas yang tersedia di laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang dan telah memenuhi standar untuk pengujian material komposit[21]. Uji impact Charpy digunakan untuk mengetahui kemampuan material komposit dalam menyerap energi akibat beban kejut atau benturan secara tiba-tiba. Parameter ini sangat penting untuk mengevaluasi ketahanan material terhadap kegagalan getas (brittle fracture), khususnya pada komposit berbasis polimer yang diperkuat serat alami seperti serat kenaf[22].

Pada bagian ini disajikan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi konsentrasi tepung pati (Amilum manihot esculenta) terhadap kekuatan impact komposit polimer berpenguat serat kenaf. Variasi penambahan amilum dilakukan untuk mengetahui pengaruh filler alami terhadap kemampuan material komposit dalam menyerap energi benturan atau beban kejut. Penggunaan amilum diharapkan dapat memberikan perubahan terhadap karakteristik mekanik komposit, khususnya pada sifat ketangguhan impact. Melalui variasi konsentrasi amilum yang digunakan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kandungan amilum dengan kemampuan serap energi material sehingga dapat diketahui komposisi optimum yang menghasilkan sifat mekanik terbaik. Data hasil pengujian impact metode Charpy kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar perubahan nilai kekuatan impact pada setiap variasi dapat diamati dan dianalisis secara lebih sistematis. Berdasarkan grafik hasil pengujian, terlihat adanya hubungan antara penambahan amilum dengan karakteristik mekanik komposit. Perubahan nilai impact pada masing-masing spesimen menunjukkan bahwa konsentrasi amilum mempengaruhi kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan. Oleh karena itu, hasil pengujian tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan pengaruh filler amilum terhadap ketangguhan komposit polimer berpenguat serat kenaf.[23].



**Gambar 15.** Grafik Hasil Perhitungan Nilai Rata-Rata Energi Serap (*Joule*)

Berdasarkan grafik nilai rata-rata energi serap yang diperoleh dari hasil pengujian impact metode Charpy, terlihat adanya kecenderungan penurunan kemampuan material komposit dalam menyerap energi benturan seiring dengan meningkatnya variasi penambahan amilum pada matriks komposit. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa penambahan amilum memberikan pengaruh terhadap karakteristik mekanik material, khususnya terhadap tingkat ketangguhan komposit saat menerima beban kejut.

Energi serap merupakan besarnya energi yang mampu diterima dan diserap oleh spesimen sebelum material mengalami kegagalan, seperti retak maupun patah, akibat pembebanan impact. Nilai energi serap diperoleh dari selisih energi awal dan energi akhir pada proses pengujian *Charpy*. Semakin besar nilai energi serap yang dihasilkan, maka material memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan benturan, deformasi, maupun propagasi retak. Sebaliknya, apabila nilai energi serap menurun, maka material cenderung bersifat lebih rapuh dan lebih mudah mengalami kerusakan saat menerima.

Pada spesimen pertama dengan kode KK\_1, diperoleh nilai rata-rata energi serap tertinggi sebesar 5,402 Joule. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komposit dengan kandungan amilum paling rendah atau tanpa penambahan amilum memiliki tingkat ketangguhan yang lebih baik dibandingkan variasi spesimen lainnya. Kondisi ini mengindikasikan bahwa ikatan antara matriks resin polyester dan serat kenaf masih terbentuk secara optimal sehingga distribusi beban benturan dapat berlangsung lebih merata ke seluruh bagian material komposit. Ikatan antarmuka yang baik antara serat dan matriks memungkinkan material menyerap energi benturan lebih besar sebelum mengalami kegagalan.

Pada spesimen kedua, yaitu KK\_2, nilai rata-rata energi serap mengalami penurunan menjadi 4,632 Joule. Penurunan nilai tersebut terus berlanjut pada spesimen KK\_3 dengan nilai energi serap sebesar 4,442 Joule dan KK\_4 sebesar 4,266 Joule. Menurunnya nilai energi serap pada setiap variasi menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi amilum memberikan pengaruh terhadap struktur internal dan sifat mekanik komposit. Penambahan amilum dalam jumlah yang semakin besar dapat menyebabkan distribusi filler di dalam matriks resin menjadi kurang homogen. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan terbentuknya rongga (void), aglomerasi partikel, maupun titik lemah pada material komposit. Keberadaan titik lemah tersebut menyebabkan tegangan akibat benturan lebih mudah terpusat pada area tertentu sehingga retakan dapat terbentuk dan menyebar lebih cepat ketika spesimen menerima beban impact. Akibatnya, kemampuan material dalam menyerap energi benturan menjadi menurun dan komposit cenderung bersifat lebih rapuh dibandingkan spesimen dengan kandungan amilum yang lebih rendah.

Pada spesimen KK\_5, nilai rata-rata energi serap kembali mengalami penurunan hingga mencapai 4,089 Joule. Penurunan terbesar terjadi pada spesimen KK\_6 dengan nilai energi serap terendah sebesar 3,900 Joule. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada variasi konsentrasi amilum tertinggi, material komposit memiliki kemampuan yang semakin rendah dalam menyerap energi benturan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa material cenderung menjadi lebih rapuh dan mudah mengalami kerusakan ketika menerima pembebanan impact.

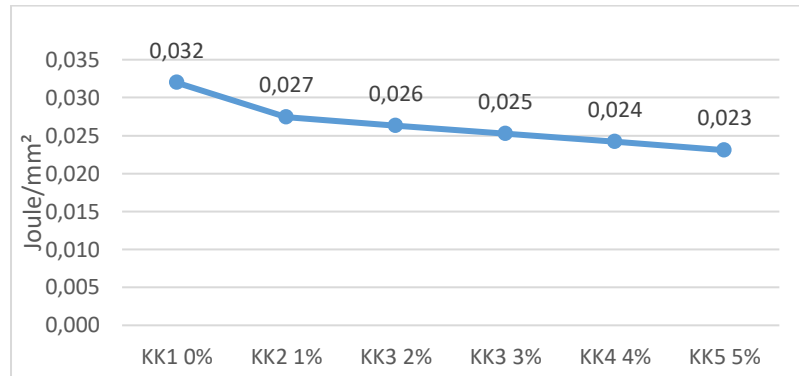
Menurunnya nilai energi serap pada variasi amilum yang lebih tinggi dipengaruhi oleh karakteristik amilum sebagai material polisakarida yang memiliki sifat relatif kaku dan mudah mengalami retakan apabila digunakan dalam jumlah berlebihan di dalam matriks komposit. Penambahan amilum yang terlalu tinggi dapat menyebabkan distribusi filler menjadi tidak merata serta meningkatkan kemungkinan terbentuknya aglomerasi partikel dan rongga (void) pada struktur material. Kondisi tersebut menyebabkan ikatan antar komponen penyusun komposit menjadi kurang optimal sehingga kemampuan material dalam mendistribusikan energi benturan mengalami penurunan.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara peningkatan konsentrasi amilum dengan nilai energi serap komposit polimer berpenguat serat kenaf. Semakin besar persentase amilum yang ditambahkan ke dalam matriks, maka nilai energi serap yang dihasilkan cenderung semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan filler alami dalam jumlah yang berlebihan dapat mengurangi kualitas adhesi antara matriks resin polyester dan serat kenaf, sehingga ketangguhan material terhadap beban kejut menjadi lebih rendah. Dengan demikian, diperlukan komposisi amilum yang optimum agar sifat mekanik komposit, khususnya ketahanan impact, tetap dapat dipertahankan dengan baik.

Penelitian ini yang menyatakan bahwa sifat mekanik komposit serat kenaf sangat dipengaruhi oleh kualitas adhesi antara serat penguat dan matriks polimer. Ikatan antarmuka yang baik mampu meningkatkan transfer tegangan pada material komposit, sedangkan distribusi filler yang tidak homogen dapat menyebabkan terbentuknya titik lemah yang berpengaruh terhadap penurunan sifat mekanik, termasuk ketangguhan impact material[24].

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Alfian Hudan Laksana dan Marhadi Budi Waluyo (2021) juga menunjukkan bahwa penambahan filler dalam jumlah yang terlalu tinggi pada komposit berbasis polyester dapat menurunkan sifat mekanik material. Kondisi tersebut disebabkan oleh meningkatnya kekakuan matriks serta munculnya cacat internal seperti void dan aglomerasi partikel yang menyebabkan material menjadi lebih rapuh saat menerima pembebanan[25].

Dengan demikian, penambahan amilum pada komposit polimer berpenguat serat kenaf perlu dilakukan pada konsentrasi yang optimum agar kualitas ikatan antara matriks, filler, dan serat penguat tetap terjaga. Komposisi yang tepat akan menghasilkan distribusi filler yang lebih homogen sehingga sifat mekanik komposit, khususnya kekuatan impact, dapat dipertahankan dengan baik.



**Gambar 16.** Grafik Hasil Perhitungan Nilai Rata-Rata Harga Impact joule/mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan grafik nilai rata-rata kekuatan impact yang diperoleh dari hasil pengujian Charpy, terlihat adanya kecenderungan penurunan nilai impact secara bertahap seiring meningkatnya konsentrasi penambahan amilum pada komposit polimer berpenguat serat kenaf. Nilai impact tertinggi diperoleh pada spesimen KK\_1 dengan nilai sebesar 0,032 Joule/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai impact terendah terdapat pada spesimen KK\_6 dengan nilai sebesar 0,023 Joule/mm<sup>2</sup>. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kandungan amilum di dalam matriks komposit berpengaruh terhadap menurunnya kemampuan material dalam menyerap energi benturan.

Penurunan nilai kekuatan impact tersebut mengindikasikan bahwa penambahan amilum mempengaruhi kualitas ikatan antar komponen penyusun komposit, yaitu matriks resin polyester, serat kenaf, dan filler amilum. Pada variasi konsentrasi yang rendah, amilum masih dapat terdistribusi secara cukup homogen di dalam matriks sehingga interaksi antara matriks dan serat penguat masih berlangsung dengan baik. Kondisi ini memungkinkan transfer tegangan saat pembebanan impact dapat tersebar lebih merata ke seluruh bagian material komposit.



**Gambar 17.** Patahan uji impact variasi penambahan amilum 0% dengan 5%

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada gambar 9 patahan spesimen uji impact, terlihat perbedaan karakteristik antara komposit tanpa amilum dan komposit dengan penambahan amilum 5%. Pada spesimen tanpa amilum, permukaan patahan terlihat lebih tidak beraturan dan menunjukkan adanya deformasi serta area putih akibat microcrack, deformasi plastis, dan fiber pull-out. Kondisi ini menandakan bahwa material masih bersifat lebih ulet (ductile fracture) sehingga mampu menyerap dan mendistribusikan energi benturan dengan lebih baik sebelum mengalami kegagalan.

Sebaliknya, spesimen dengan penambahan amilum 5% menunjukkan permukaan patahan yang lebih rata, tajam, dan lurus yang mengindikasikan patahan getas (*brittle fracture*). Pada permukaan patahan juga terlihat adanya void, tekstur kasar, dan area yang kurang homogen. Kondisi ini disebabkan oleh tingginya konsentrasi amilum yang menyebabkan distribusi filler kurang merata, meningkatkan viskositas campuran resin, serta menurunkan kualitas impregnasi dan adhesi antara matriks, filler, dan serat kenaf. Akibatnya, komposit menjadi lebih rapuh dan lebih mudah retak saat menerima beban impact.[26].

Keberadaan void pada spesimen dengan penambahan amilum 5% menjadi salah satu penyebab menurunnya kekuatan impact komposit. Rongga tersebut berperan sebagai pusat konsentrasi tegangan (*stress concentration*) sehingga retakan lebih mudah terbentuk dan berkembang cepat saat material menerima beban kejut, yang akhirnya menyebabkan patahan getas pada komposit. Sebaliknya, spesimen tanpa amilum memiliki struktur yang lebih padat dan homogen sehingga mampu menyerap energi benturan dengan lebih baik sebelum mengalami kegagalan material. Hasil pengamatan ini sejalan dengan penelitian Ng L. F. et al. (2024) yang menyatakan bahwa distribusi filler alami yang tidak merata dapat memicu konsentrasi tegangan dan mempercepat terjadinya patahan getas pada material komposit[27].

Grafik hasil pengujian menunjukkan pola penurunan nilai kekuatan impact yang relatif konsisten dari spesimen KK\_1 hingga KK\_6. Nilai impact mengalami penurunan dari 0,027 Joule/mm<sup>2</sup> pada KK\_2 menjadi 0,026 Joule/mm<sup>2</sup> pada KK\_3, kemudian terus menurun pada KK\_4 sebesar 0,025 Joule/mm<sup>2</sup>, KK\_5 sebesar 0,024 Joule/mm<sup>2</sup>, hingga mencapai nilai terendah pada KK\_6 sebesar 0,023 Joule/mm<sup>2</sup>. Tren penurunan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi amilum yang ditambahkan, maka ketangguhan komposit dalam menahan beban benturan cenderung menurun.

Penurunan nilai impact dipengaruhi oleh sifat dasar amilum yang lebih rapuh dan memiliki kemampuan deformasi lebih rendah dibandingkan matriks resin polyester. Kondisi ini menyebabkan material komposit menjadi kurang elastis ketika menerima pembebanan impact sehingga energi benturan tidak dapat diserap dan didistribusikan secara optimal. Akibatnya, retakan lebih mudah terbentuk dan berkembang menjadi patahan pada struktur komposit.[23].

Amilum memiliki keunggulan dari segi biodegradabilitas dan biaya produksi yang relatif rendah. Selain itu, amilum mampu mengurangi penggunaan filler sintetis sehingga lebih mendukung pengembangan material ramah lingkungan. Akan tetapi, sifat dasar amilum yang cenderung hidrofilik menyebabkan material lebih mudah menyerap kelembapan. Kondisi tersebut dapat menurunkan kualitas adhesi antara filler dan matriks resin serta menyebabkan material menjadi lebih rapuh pada konsentrasi tinggi. Penelitian mengenai komposit berbasis pati dan serat kenaf menunjukkan bahwa penambahan filler alami dapat meningkatkan kekakuan material hingga batas tertentu, namun distribusi filler yang tidak homogen dapat menyebabkan penurunan sifat impact akibat terbentuknya void dan aglomerasi partikel.

Berbeda dengan amilum, filler silika memiliki kemampuan yang lebih baik dalam meningkatkan kekerasan, kekuatan tekan, serta ketahanan aus material komposit. Penelitian mengenai komposit kenaf dengan penambahan nano silika menunjukkan bahwa penggunaan silika mampu meningkatkan nilai hardness dan impact karena partikel silika memiliki kekakuan tinggi dan mampu memperkuat struktur internal material. Akan tetapi, penggunaan silika memerlukan proses pencampuran yang lebih kompleks dan biaya yang lebih tinggi dibandingkan amilum.[28]

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan amilum dalam jumlah berlebihan dapat meningkatkan viskositas matriks sehingga proses impregnasi dan ikatan antara matriks dengan serat penguat menjadi kurang optimal. Kondisi tersebut menyebabkan penurunan sifat mekanik, khususnya kekuatan impact komposit. Selain itu, distribusi filler yang tidak homogen dapat menimbulkan konsentrasi tegangan pada material sehingga retakan lebih mudah terbentuk saat menerima beban benturan. Dengan demikian, variasi penambahan amilum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan impact komposit polimer berpenguat serat kenaf. Semakin tinggi konsentrasi amilum yang digunakan, maka nilai impact cenderung menurun akibat berkurangnya homogenitas campuran dan melemahnya ikatan antara matriks, filler, dan serat penguat. Oleh karena itu, diperlukan komposisi amilum yang optimum agar diperoleh keseimbangan antara sifat mekanik dan karakteristik komposit.



**Gambar 18.** Spesimen Setelah Di Uji Impact

Berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap spesimen setelah pengujian impact metode Charpy, seluruh spesimen mengalami kerusakan berupa retakan dan patahan akibat pembebanan kejut. Perbedaan pola patahan pada

variasi penambahan amilum 0% hingga 5% menunjukkan bahwa konsentrasi amilum mempengaruhi kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan serta tingkat ketangguhan material.

Pada spesimen tanpa penambahan amilum, permukaan patahan terlihat tidak beraturan dan masih menunjukkan deformasi sebelum material mengalami kegagalan seperti gambar 10. Kondisi ini menandakan bahwa komposit memiliki sifat lebih ulet (*ductile*) sehingga mampu menyerap energi benturan lebih besar. Pola patahan yang tidak rata juga menunjukkan proses perambatan retak berlangsung lebih lambat karena ikatan antara resin polyester dan serat kenaf masih bekerja secara optimal. Hasil ini sesuai dengan data pengujian impact yang menunjukkan bahwa spesimen tanpa amilum memiliki nilai energi serap tertinggi.

Pada variasi amilum 1%, 2%, dan 3%, permukaan patahan mulai terlihat lebih rata dan menunjukkan karakteristik patahan getas (*brittle fracture*). Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan amilum mulai menurunkan sifat keuletan komposit. Selain itu, terlihat adanya bagian yang lebih gelap dan permukaan patahan yang kurang homogen akibat distribusi amilum yang tidak merata di dalam matriks. Ketidakhomogenan tersebut menyebabkan konsentrasi tegangan pada area tertentu sehingga retakan lebih mudah terbentuk dan berkembang saat spesimen menerima beban impact.[29].

Pada variasi amilum 4% dan 5%, pola patahan terlihat lebih tegas, lurus, dan menunjukkan karakteristik material yang semakin rapuh dibandingkan variasi sebelumnya. Permukaan patahan tampak lebih kasar serta ditemukan adanya rongga kecil (*void*) pada beberapa bagian spesimen. Terbentuknya void diduga disebabkan oleh meningkatnya viskositas campuran resin dan amilum pada konsentrasi filler yang tinggi. Kondisi tersebut menghambat proses impregnasi resin ke serat kenaf sehingga ikatan antara matriks, filler, dan serat penguat menjadi kurang optimal. Akibatnya, struktur komposit menjadi lebih getas dan mudah mengalami kegagalan saat menerima beban benturan karena energi impact tidak dapat diserap dan didistribusikan secara maksimal.

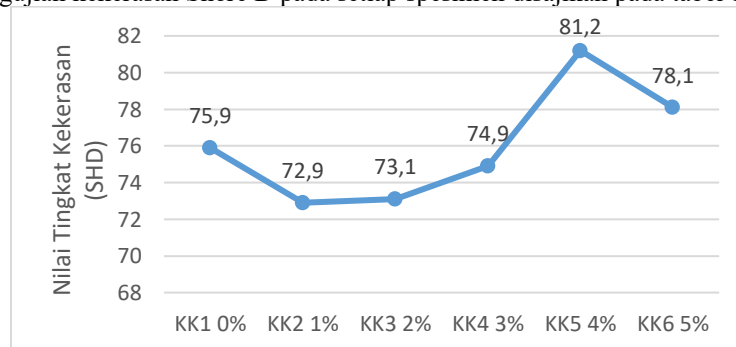
Selain itu, meskipun serat kenaf yang telah diberi perlakuan alkali mampu meningkatkan adhesi dengan matriks akibat permukaan serat menjadi lebih kasar setelah perlakuan NaOH, penambahan amilum yang terlalu tinggi tetap menyebabkan penurunan sifat mekanik komposit. Hal ini terjadi karena efek negatif dari aglomerasi filler dan terbentuknya *void* lebih dominan sehingga kualitas ikatan antarmuka pada komposit menjadi menurun[30].

Fenomena tersebut sejalan dengan penelitian Ng L. F. et al. (2024) yang menyatakan bahwa distribusi filler alami yang tidak homogen di dalam matriks komposit dapat menimbulkan konsentrasi tegangan pada area tertentu. Kondisi ini mempercepat terbentuknya retakan dan meningkatkan kecenderungan terjadinya patahan getas (*brittle fracture*) ketika material menerima beban benturan. Selain itu, penelitian Fajar Setiawan et al. (2023) juga menjelaskan bahwa kualitas adhesi atau ikatan antarmuka antara matriks resin dan serat penguat sangat mempengaruhi kemampuan komposit dalam menyerap energi impact. Ikatan yang baik antara matriks dan serat memungkinkan distribusi tegangan berlangsung lebih merata sehingga material memiliki ketangguhan yang lebih baik terhadap beban kejut.[27].

### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan Shore D

Pengujian kekerasan Shore D dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan permukaan material terhadap penetrasi beban tertentu. Pengujian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan material dalam menahan deformasi atau perubahan bentuk akibat tekanan pada permukaan. Semakin tinggi nilai Shore D (SHD) yang diperoleh, maka material memiliki karakteristik yang semakin keras. Metode *Shore D* banyak digunakan pada material polimer, resin, plastik teknik, dan komposit karena mampu memberikan hasil pengujian kekerasan permukaan secara cepat dan akurat.

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap enam spesimen dengan lima titik pengujian pada setiap spesimen dan jarak antar titik sebesar 1 cm. Pengukuran tersebut dilakukan untuk memperoleh nilai rata-rata kekerasan dari masing-masing sampel. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi material terhadap tingkat kekerasan komposit. Perbedaan nilai kekerasan pada setiap spesimen dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti homogenitas campuran, distribusi filler dan serat, tingkat porositas, serta proses manufaktur selama pembuatan komposit. Data hasil pengujian kekerasan Shore D pada setiap spesimen disajikan pada tabel berikut.[31].



**Gambar 19.** Grafik Hasil Perhitungan Nilai Kekerasan Keseluruhan Variasi Penambahan Amilum.

Berdasarkan grafik nilai rata-rata kekerasan pada Gambar 11, diperoleh hasil pengujian Shore D (*SHD*) pada enam spesimen secara berturut-turut sebesar 75,9 *SHD*; 72,9 *SHD*; 73,1 *SHD*; 74,9 *SHD*; 81,2 *SHD*; dan 78,1 *SHD*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan material mengalami fluktuasi pada setiap spesimen, namun secara umum masih berada pada kategori material polimer keras yang memiliki ketahanan cukup baik terhadap penetrasi.

Pengujian Shore D dilakukan untuk mengetahui kemampuan permukaan material dalam menahan deformasi akibat tekanan indenter. Semakin tinggi nilai Shore D yang diperoleh, maka semakin keras karakteristik permukaan material tersebut. Metode pengujian ini mengacu pada standar ASTM D2240 yang umum digunakan pada material plastik keras, resin, dan komposit polimer.

Pada spesimen pertama diperoleh nilai kekerasan sebesar 75,9 *SHD* yang menunjukkan bahwa material memiliki ketahanan permukaan yang cukup baik. Namun, pada spesimen kedua nilai kekerasan menurun menjadi 72,9 *SHD*. Penurunan tersebut diduga dipengaruhi oleh distribusi material yang kurang homogen, adanya porositas, serta perbedaan struktur internal selama proses pembuatan komposit. Kondisi tersebut menyebabkan permukaan material menjadi lebih lunak dibandingkan spesimen sebelumnya.

Pada spesimen ketiga terjadi sedikit peningkatan menjadi 73,1 *SHD*. Kenaikan ini menunjukkan bahwa struktur material mulai mengalami perbaikan sehingga ketahanan terhadap penetrasi meningkat kembali. Selanjutnya pada spesimen keempat nilai kekerasan meningkat lagi menjadi 74,9 *SHD*. Kenaikan bertahap ini menunjukkan bahwa material memiliki kestabilan struktur yang semakin baik sehingga kemampuan menahan deformasi juga meningkat[31].

Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen kelima yaitu sebesar 86 *SHD*. Nilai ini menunjukkan bahwa spesimen kelima memiliki struktur yang paling padat dan paling kuat dibandingkan spesimen lainnya. Tingginya nilai kekerasan dapat dipengaruhi oleh ikatan antarpartikel yang lebih rapat, tingkat kristalinitas material yang lebih tinggi, serta minimnya rongga atau cacat pada material. Selain itu, parameter proses seperti suhu, tekanan, waktu pendinginan, dan komposisi material sangat memengaruhi peningkatan nilai kekerasan tersebut. Penelitian sebelumnya juga menjelaskan bahwa perubahan parameter proses dan struktur mikro material dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai *Shore D hardness*.

Pada spesimen keenam terjadi sedikit penurunan nilai kekerasan menjadi 78,1 *SHD*. Meskipun mengalami penurunan dari spesimen kelima, nilai ini masih tergolong tinggi sehingga material tetap memiliki sifat mekanik yang baik. Penurunan kecil tersebut dapat terjadi akibat distribusi tegangan yang tidak merata, variasi ketebalan spesimen, atau adanya perubahan struktur mikro selama proses manufaktur. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa material memiliki rata-rata nilai kekerasan *Shore D* yang relatif tinggi dengan rentang nilai sekitar 64–86 *SHD*. Rentang ini menunjukkan bahwa material termasuk dalam kategori material keras yang memiliki daya tahan baik terhadap penetrasi dan deformasi. Nilai kekerasan yang cukup tinggi mengindikasikan bahwa material berpotensi digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan permukaan, ketahanan aus, serta stabilitas bentuk yang baik.



**Gambar 20.** Pengujian spesimen Kekerasan *shore D*

Selain itu, nilai *Shore D hardness* yang tinggi biasanya berhubungan dengan meningkatnya modulus elastisitas dan kekuatan tekan material pada gambar 12. Namun demikian, material yang terlalu keras juga dapat menjadi lebih getas sehingga perlu keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan material. Oleh sebab itu, pengujian kekerasan perlu dikombinasikan dengan pengujian mekanik lain seperti uji tarik, uji impak, atau uji tekan agar karakteristik material dapat dianalisis secara lebih menyeluruh. Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa peningkatan kepadatan struktur material dan pengaturan parameter proses dapat meningkatkan nilai *Shore D hardness* pada material polimer dan komposit. Pengujian *Shore D* juga dinilai efektif untuk mengevaluasi kualitas permukaan material serta mengetahui pengaruh perlakuan proses terhadap sifat mekanik material[32].

Pengujian kekerasan Shore D dilakukan untuk mengetahui kemampuan permukaan komposit dalam menahan penetrasi indenter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada setiap spesimen mengalami perubahan akibat variasi penambahan amilum. Nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh yaitu 75,9 SHD (KK\_1), 72,9 SHD (KK\_2), 73,1 SHD (KK\_3), 74,9 SHD (KK\_4), 81,2 SHD (KK\_5), dan 78,1 SHD (KK\_6). Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen KK\_5 karena distribusi filler dan serat lebih padat serta ikatan antar material lebih baik sehingga struktur komposit menjadi lebih keras dan tahan terhadap penetrasi. Sementara itu, penurunan nilai kekerasan pada beberapa spesimen dipengaruhi oleh distribusi filler yang kurang homogen, terbentuknya void, dan ikatan matriks yang kurang optimal. Secara umum, penambahan amilum dapat meningkatkan kekerasan komposit hingga konsentrasi tertentu, namun penambahan berlebih dapat menurunkan kualitas struktur material.[33].

Pada variasi amilum 3% dan 4%, distribusi serat lebih terlihat dan merata pada matriks resin sehingga meningkatkan kemampuan bahan dalam mencegah penetrasi. Penguat serat membantu mengurangi kualitas dan mendistribusikan beban tekan secara lebih merata. Ikatan yang lebih baik antara serat kenaf dan resin juga meningkatkan kepadatan komposisinya.

Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi 4%–5%, khususnya pada spesimen kelima dengan nilai mencapai 81,2 SHD. Hasil tersebut menunjukkan bahwa struktur komposit menjadi lebih rapat dan memiliki ketahanan permukaan yang lebih baik terhadap penetrasi indenter. Peningkatan kekerasan terjadi karena serat berfungsi sebagai penguat yang meningkatkan kekakuan dan ketahanan permukaan material. Fluktuasi nilai kekerasan antarspesimen menunjukkan bahwa proses fabrikasi masih mempengaruhi kualitas komposit. Faktor seperti homogenitas pencampuran, distribusi serat, suhu curing, dan keberadaan gelembung udara dapat mempengaruhi hasil pengujian. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kualitas ikatan antara matriks dan serat penguat mampu meningkatkan nilai kekerasan Shore D karena struktur material menjadi lebih padat dan homogen.

## VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi penambahan amilum (*Manihot esculenta*) memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik komposit polimer berpenguat serat kenaf, khususnya pada kekuatan impact dan kekerasan Shore D. Komposit dibuat menggunakan matriks resin polyester dengan penguat serat kenaf yang telah diberi perlakuan alkali NaOH 5% selama 2 jam untuk meningkatkan adhesi antara serat dan matriks.

Hasil pengujian impact metode Charpy menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi amilum yang ditambahkan, maka nilai energi serap dan kekuatan impact komposit cenderung menurun. Nilai energi serap tertinggi diperoleh pada spesimen tanpa amilum (KK\_1) sebesar 5,402 Joule, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi amilum 5% sebesar 3,900 Joule. Penurunan tersebut dipengaruhi oleh distribusi filler yang kurang homogen, terbentuknya void, aglomerasi partikel, serta melemahnya ikatan antara matriks, filler, dan serat penguat. Kondisi ini menyebabkan material menjadi lebih getas sehingga kemampuan menyerap energi benturan menurun.

Pengamatan visual pada spesimen setelah uji impact menunjukkan bahwa komposit tanpa amilum memiliki pola patahan tidak beraturan dan bersifat lebih ulet (*ductile fracture*), sedangkan pada variasi amilum tinggi permukaan patahan terlihat lebih rata, tajam, dan menunjukkan karakteristik patahan getas (*brittle fracture*). Hal ini membuktikan bahwa penambahan amilum berlebih menyebabkan kualitas ikatan antarmuka menurun sehingga retakan lebih mudah terbentuk dan berkembang saat menerima beban kejut.

Sementara itu, hasil pengujian kekerasan Shore D menunjukkan bahwa penambahan amilum mampu meningkatkan kekerasan komposit hingga konsentrasi tertentu. Nilai kekerasan yang diperoleh berturut-turut yaitu 75,9 SHD; 72,9 SHD; 73,1 SHD; 74,9 SHD; 81,2 SHD; dan 78,1 SHD. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen KK\_5 sebesar 81,2 SHD karena struktur komposit lebih padat, distribusi filler lebih baik, dan ikatan antar material lebih kuat. Namun, pada konsentrasi amilum yang terlalu tinggi terjadi penurunan kualitas struktur akibat munculnya void dan ketidakhomogenan campuran yang dapat menurunkan sifat mekanik material.

Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa amilum dapat digunakan sebagai filler alami ramah lingkungan untuk meningkatkan kekerasan komposit polimer berpenguat serat kenaf. Akan tetapi, penggunaan amilum dalam jumlah berlebihan dapat menurunkan ketangguhan impact material. Oleh karena itu, diperlukan komposisi amilum yang optimum agar diperoleh keseimbangan antara kekerasan, ketangguhan, dan homogenitas struktur komposit sehingga material dapat diaplikasikan pada komponen teknik yang membutuhkan kekuatan permukaan dan ketahanan benturan yang baik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Saya menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas segala ilmu, arahan, serta pengalaman berharga yang telah saya peroleh selama menempuh pendidikan hingga proses penyusunan penelitian ini. Semoga segala kebaikan, dukungan, dan kontribusi yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal serta menjadi amal yang bermanfaat bagi semua.

## REFERENSI

- [1] S. Hariyadi And B. Junipitoyo, "Pelatihan Basic Wet Lay Up Composite Repair System Untuk Sekolah Vokasi Penerbangan," Vol. 01, No. 02, Pp. 64–72, 2021.
- [2] T. H. Ningsih, A. Fiveriati, And F. W. Irfani, "Kekuatan Dan Momen Bending Serta Energi Impak Komposit Serat Kulit Kersen Akibat Variasi Fraksi Volume," *J. Inov. Teknol. Manufaktur, Energi, Dan Otomotif*, Vol. 1, No. 2, Pp. 95–104, 2023, [Online]. Available: <Http:Https://Jurnal.Poliwangi.Ac.Id/Index.Php/Jinggo/>
- [3] Nadya Ophelia, I.B Putra Jandhana, Jupriyanto, And George Royke Deksin, "Eksplorasi Penggunaan Bahan Material Komposit Dari Serat Alam Pada Drone: Jurnal Review," *J-Proteksion J. Kaji. Ilm. Dan Teknol. Tek. Mesin*, Vol. 9, No. 1, Pp. 46–55, 2024, Doi: 10.32528/Jp.V9i1.2033.
- [4] E. Widodo *Et Al.*, "Studi Kekuatan Kekerasan Dan Kekuatan Impact Pada Komposit Diperkuat Serat Sansevieria Dengan Variasi Penambahan Amilum 6 % -10 %," Vol. 20, No. 1, Pp. 164–174, 2025.
- [5] T. H. R. Side, R. Mastuti, And A. R. Widiyani, "Efektivitas Teknik Skarifikasi Untuk Mematahkan Dormansi Benih Kenaf (*Hibiscus Cannabinus L.*)," *J. Littri*, Vol. 27, No. 1, Pp. 34–3, 2021, [Online]. Available: <Http://Dx.Doi.Org/10.21082/Littri>.
- [6] A. M. K. Nisa And A. F. Rizki, "Optimasi Metode Degumming Pada Serat Daun Nipah Menggunakan Enzim Pektinase Dan Natrium Bikarbonat," Pp. 1–73, 2023.
- [7] R. Wanti, H. Dzulfikar, And R. Rudy, "Ekstraksi Dan Karakterisasi Serat Alam Dari Daun Sansevieria Laurenti Dan Sansevieria Zeylinic," *Texere*, Vol. 18, No. 2, Pp. 88–104, 2020, Doi: 10.53298/Texere.V18i2.59.
- [8] E. Widodo, *Buku Ajar Mekanika Komposit Dan Bio-Komposit Penulis.*
- [9] E. Widodo, Pratikto, Sugiarto, And T. D. Widodo, "Comprehensive Investigation Of Raw And Naoh Alkalized Sansevieria Fiber For Enhancing Composite Reinforcement," *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, Vol. 9, No. August 2023, P. 100546, 2024, Doi: 10.1016/J.Cscee.2023.100546.
- [10] A. Abdirullah And M. Bayu Prakoso, "Implementasi Analisis Karakteristik Komposit Serat Knaf Menggunakan Metode Uji Impak Untuk Beberapa Jenis Rincian Ukuran Kecil Implementation Of Knaf Fiber Composite Characteristics Analysis Using The Impact Test Method For Several Types Of Small Size Det," *Jmemme*, Vol. 4, No. 2, Pp. 94–101, 2020, [Online]. Available: <Http://Ojs.Uma.Ac.Id/Index.Php/Jmemme>
- [11] T. Manurung, "Analisis Perbandingan Kekuatan Bahan Komposit Dengan Variasi Susunan Acak Dan Lurus Memanjang Berbasis Serat Bambu Dan Resin Polyester," *J. Kolaborasi Sains Dan Ilmu Terap.*, Vol. 1, No. 1, Pp. 19–23, 2022, Doi: 10.69688/Juksit.V1i1.5.
- [12] K. Boimau, "Efek Temperatur Terhadap Sifat Tarik Komposit Poliester Berpenguat Serat Daun Gwang," *Jmpm (Jurnal Mater. Dan Proses Manufaktur)*, Vol. 6, No. 1, Pp. 11–18, 2022, Doi: 10.18196/Jmpm.V6i1.14806.
- [13] S. Pangan, R. Aristyarini, And S. Yasni, "Peningkatan Serat Pangan Larut Dari Ampas Tahu Dan Sifat Fungsionalnya Dengan Perlakuan Fisik: Tinjauan Literatur," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, Vol. 32, No. 1, Pp. 84–95, 2022, Doi: 10.24961/J.Tek.Ind.Pert.2022.32.1.84.
- [14] J. T. Mesin, F. T. Industri, And U. I. Indonesia, "Pembuatan Produk Komposit Hand Guard Sepeda Motor Touring Berpenguat Woven Carbon Fiber Menggunakan Metode Compression Molding," 2025.
- [15] A. Wahyu And M. Mutawally, "Rancang Bangun Alat Uji Impak Charpy Untuk Material Komposit Sebagai Media Pembelajaran Di Laboratorium Mekanik," 2021.
- [16] J. Fery And W. Siadari, "Otomatis Dengan Maksimum Energi Impak 300 Joule Skripsi Oleh : Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan Otomatis Dengan Maksimum Energi Impak 300 Joule Skripsi Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik Univer," 2023.
- [17] I. P. Putra, "Analisa Uji Tarik Dan Impak Penguat Karbon, Campuran Epoxy-Karet Silikon 30%,40%,50%, Rami, Dan Kapas Matrik Epoxy," *Itenas Malang*, Pp. 4–31, 2020.
- [18] K. K. Nikel, "Sifat Tarik , Kekerasan , Dan Kemagnetan," 2025.
- [19] A. C. Ararya And D. Oktavia, "J-Teta : Jurnal Teknik Terapan," Vol. 3, No. 2, Pp. 2–7, 2024.
- [20] M. L. S. Fikri *Et Al.*, "Pengaruh Variasi Fraksi Massa Bio-Fiber Dengan Perlakuan," Vol. 8, No. 3, Pp. 146–153, 2025.
- [21] U. M. Area, "Pembuatan Mesin Uji Impak Charpy Semi Otomatis Dengan Maksimum Energi Impak 300 Joule Skripsi Oleh : Albet Juanda Purba Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan Otomatis Dengan Maksimum Energi Impak 300 Joule Skripsi Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik Universitas Medan Area Oleh : Albert Juanda Purba Fakultas Teknik Medan," 2024.
- [22] S. F. Materials, "Jee : Journal Of Educational Engineering And Environment," Vol. 4, No. April, Pp. 20–26, 2025.
- [23] D. Sebagai, S. Memperoleh, G. Sarjana, P. Studi, T. Material, And U. Malikussaleh, "Pemanfaatan Limbah

- Hdpe Sebagai Matrik Pada Komposit Diperkuat Serat Ijuk Untuk Produk Otomotif Disusun Sebagai Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Material Universitas Malikussaleh,” 2024.
- [24] R. Arjmandi *Et Al.*, “Kenaf Fibers Reinforced Unsaturated Polyester Composites : A Review,” 2021, Doi: 10.1177/15589250211040184.
- [25] P. Komposisi, S. Kenaf, D. A. N. Serbuk, A. H. Laksana, And M. B. Waluyo, “Terhadap Kekuatan Tekuk Dan Water Absorption Komposit Hybrid -Poliester,” Vol. 1, No. 2, 2021.
- [26] A. Sivasamy, H. Soo, J. Kim, S. Lee, And T. June, “Nanostructured Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> @ Nitrogen-Doped Multiwalled Nanotube / Cellulose Nanocrystal Composite Material Electrodes For High-Performance Supercapacitor Applications,” *Integr. Med. Res.*, Vol. 9, No. 4, Pp. 7615–7627, 2020, Doi: 10.1016/J.Jmrt.2020.05.058.
- [27] A. N. Aina *Et Al.*, “Fiber - Reinforced Thermoplastic Composites For Future Use In Aircraft Radomes : Biomimetic Design Approaches And Its Performances,” *Fibers Polym.*, Vol. 25, No. 12, Pp. 4503–4527, 2024, Doi: 10.1007/S12221-024-00776-1.
- [28] N. Parthipan, S. Gowsik, S. N. Kumar, And M. P. Kumar, “Investigation Of Hardness And Impact Test In Silane Treated Silicon Added Kenaf Hybrid Composite Material,” Vol. 12, No. 11, Pp. 5592–5598, 2021.
- [29] O. V Arzhakova, A. A. Dolgova, A. Y. Yarysheva, And A. A. Zezin, “Controlled Green Synthesis Of Hybrid Organo-Inorganic Nanomaterials Based On Poly ( Ethylene Terephthalate ) And Silver Nanoparticles By X-Ray Radiolysis,” Vol. 15, No. 6, Pp. 531–540, 2021.
- [30] B. B. Dasar, “Review : Produksi Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Tongkol Jagung Sebagai Bahan Kemasan,” Vol. 11, No. 1, Pp. 177–194, 2025.
- [31] P. Lanyo, G. S. Lubis, And M. Ivanto, “Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Perubahan Nilai Kekerasan Baja Karbon Aisi 1045,” Vol. 6, No. 2, Pp. 63–70, 2025.
- [32] K. Agama, L. Penelitian, D. A. N. Pengabdian, U. Islam, N. Maulana, And M. Ibrahim, “Studi Pengaruh Variasi Fraksi Volume Filler Partikel Cangkang Kerang Hijau,” 2021.
- [33] V. N. Juli *Et Al.*, “Karakterisasi Sifat Mekanik Dan Mikrostruktur Komposit Berbasis Serat Kulit Lantung Dan Eceng Gondok Menggunakan Resin Polyester Lingkungan Karena Penyebarannya Yang Tak Terkendali . Namun , Batang Eceng Gondok,” Vol. 1, Pp. 67–81, 2022, Doi: 10.63891/Impak.V1i2.70.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*