ANALISA UJI IMPACT DAN UJI TARIK KOMPOSIT FRAKSI VOLUME SERAT KARBON SERBUK CANGKANG TELUR DENGAN METODE VACUUM INFUSION SEBAGAI BODY PERAHU

Hendra Saputra Pratama
S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: 24050754222@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Komposit adalah bahan yang diciptakan dari gabungan dua atau lebih material yang berbeda, untuk membentuk material baru dengan karakteristik yang lebih baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh variasi fraksi volume serat terhadap kekuatan impact dan kekuatan tarik dari komposit yang menggunakan serat karbon dan serbuk cangkang telur dengan matriks epoksi. Metode yang diterapkan adalah kuantitatif dan eksperimental, di mana proses pembuatannya dilakukan dengan teknik vacuum infusion untuk memastikan resin terdistribusi secara merata dan mengurangi cacat struktural yang ada. Pengujian impact mengacu pada standar ASTM D5942-96, dengan fraksi volume menggunakan komposisi 20%, 15%, dan 10% untuk serbuk cangkang telur, serat karbon merata 20% pada setiap sample, dan resin 60%, 65%, dan 70%. Sementara pengujian tarik mengikuti standar ASTM D3039, dengan fraksi volume menggunakan komposisi 20%, 15%, dan 10% untuk serbuk cangkang telur, serat karbon merata 8% pada setiap sample, dan resin 72%, 77%, dan 82%. Hasil yang diperoleh, yakni data kuantitatif berupa energi serap impact tertinggi dengan nilai 1,642 Joule dan kekuatan tarik tertinggi sebesar 62,01 MPa. Metode Vacuum Infusion menghasilkan komposit dengan porositas rendah, distribusi serat karbon, dan cangkang telur lebih homogen. Dengan demikian, dapat membuktikan bahwa limbah cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai material komposit berkelanjutan di bidang perkapalan kecil.

Kata Kunci: fraksi volume, serat karbon, serbuk cangkang telur, vacuum infusion, uji impact, uji tarik

Abstract

A composite is a material created by combining two or more distinct substances to form a new material with enhanced characteristics. This study aims to evaluate the influence of varying fiber volume fractions on the impact and tensile strength of composites consisting of carbon fiber and eggshell powder within an epoxy matrix. A quantitative, experimental approach was employed, utilizing the vacuum infusion technique to ensure uniform resin distribution and minimize structural defects. Impact testing was conducted in accordance with the ASTM D5942-96 standard, with volume fractions consisting of 20%, 15%, and 10% eggshell powder; a constant 20% carbon fiber content; and 60%, 65%, and 70% resin. Tensile testing followed the ASTM D3039 standard, with volume fractions consisting of 20%, 15%, and 10% eggshell powder; a constant 8% carbon fiber content; and 72%, 77%, and 82% resin. The results yielded quantitative data, with a maximum impact energy absorption of 1.642 Joules and a peak tensile strength of 62.01 MPa. The vacuum infusion method produced composites with low porosity and a more homogeneous distribution of carbon fibers and eggshell powder. Consequently, this demonstrates that eggshell waste can be effectively utilized as a sustainable composite material for small-scale marine vessel applications.

Keywords: *volume fraction, carbon fiber, eggshell powder, vacuum infusion, impact test, tensile test*

UNESA Universitas Negeri Surabaya

PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya teknologi, jumlah permintaan semakin meningkat sehingga, diperlukan material baru akibat permintaan bahan saat ini. Beberapa bahan baru telah dibuat untuk digunakan, salah satunya yang memenuhi kebutuhan saat ini yaitu komposit (Karim dkk., 2023). Komposit adalah kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda baik dari bentuknya, komposisi kimianya, dan antar materialnya tidak saling melarutkan dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur–unsurnya (Prihatno, 2020).

Penggunaan serat alam dalam aplikasi material komposit akan membuat lebih ekonomis dalam penghematan biaya bahan baku, karena ketersediaan serat alam di Indonesia yang melimpah serta dapat diperbarui (Yudha dkk., 2023). Manufaktur komposit hybrid adalah gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda disusun pada suatu urutan tertentu. Untuk mendapatkan kekuatan yang tinggi dilakukan penggabungan antara serat alam dan serat sintetis (Yudhistira, 2022).

Material komposit khususnya dengan penguatan serat alam seperti serbuk cangkang telur mulai dikembangkan karena meningkatnya kebutuhan akan material yang kuat, ringan, tahan korosi, murah dan ramah lingkungan.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan komposit. Beberapa dekade terakhir, proses vacuum infusion telah menjadi populer untuk manufaktur struktur komposit dengan matriks polimer. Proses vacuum

infusion merupakan alternatif teknik dengan biaya lebih rendah dibanding teknik manufaktur lainnya. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi suatu acuan pada pembuatan material komposit berpenguat serat karbon selanjutnya, dan bagi industri manufaktur akan memberikan data yang berguna pada saat melakukan produksi material menggunakan metode vacuum infusion (Utomo, 2020).

Pengujian yang dilakukan terhadap material komposit terdiri dari pengujian impact dan pengujian tarik. Pengujian impact bertujuan untuk menguji ketahanan suatu benda atau material terhadap beban kejut, besarnya nilai impact menunjukkan kemampuan material untuk menahan beban kejut (gaya) (Handoko, 2022). Sedangkan pengujian tarik yang dilakukan pada komposit ini menggunakan UTM (Universal Testing Machine), dimana tujuan dari pengujian ini untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis dan menentukan karakteristik mekanis penting.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggabungkan pendekatan kuantitatif dan eksperimental untuk menilai dampak variasi fraksi volume serbuk cangkang telur dan serat karbon terhadap uji impact dan kekuatan tarik komposit. Menurut Sugiyono, penelitian eksperimen kuantitatif bertujuan mengungkap akibat dari perlakuan tertentu pada subjek penelitian melalui perbandingan antar kelompok eksperimen dalam kondisi terkontrol, dengan pengumpulan data numerik yang kemudian dianalisis secara statistik (Sugiyono, 2019).

Tempat dan Waktu Penelitian

- Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengecoran, gedung A.8 lantai 1, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Waktu Penelitian
  Pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Januari 2026 - Juni 2026. Hingga seluruh data selesai dianalisis dan menghasilkan temuan yang valid.

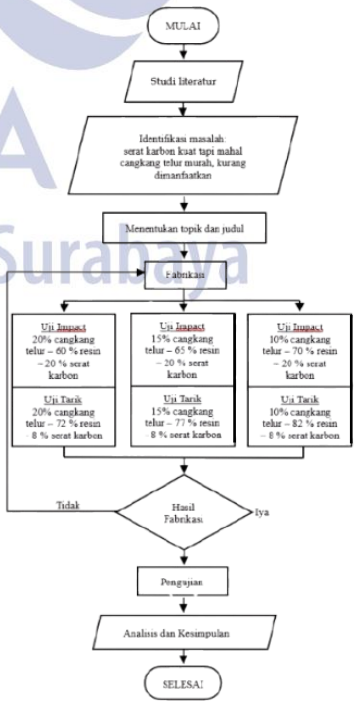
Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
  Penelitian ini menggunakan variasi fraksi volume sebagai variabel bebas, dimana volume serbuk cangkang telur: volume resin: volume serat karbon, perbandingan yang digunakan sebagai berikut:
  1. Uji Impact;
     1) Cangkang telur 20%: Resin 60%: Serat karbon 20%
     2) Cangkang telur 15%: Resin 65%: Serat karbon 20%
     3) Cangkang telur 10%: Resin 70%: Serat karbon 20%.
  2) Uji Tarik;
     1) Cangkang telur 20%: Resin 72%: Serat karbon 8%
     2) Cangkang telur 15%: Resin 77%: Serat karbon 8%
     3) Cangkang telur 10%: Resin 82%: Serat karbon 8%.
- Variabel Terikat
  Merujuk pada Sugiyono (2019), variabel terikat adalah variabel yang nilainya berubah sebagai akibat pengaruh variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel terikat yang dianalisis meliputi:
  1. Uji Impact
  2. Uji Tarik
- Variabel Kontrol
  Dalam penelitian ini, variabel kontrol yang diterapkan meliputi hal-hal berikut:
  1. Matriks yang digunakan adalah resin epoksi, yang berfungsi sebagai pengikat serat dan elemen struktural komposit.
  2. Susunan serat yang digunakan disusun secara berurutan, yaitu serbuk cangkang telur – resin – serat karbon.
  3. Spesimen memiliki ketebalan dengan diameter 32 mm, yang konsisten pada setiap pengujian.
  4. Proses pencetakan dilakukan menggunakan cetakan (mold) berbentuk balok dengan diameter yang seragam untuk seluruh spesimen.

Teknik Pengumpulan Data

- *Pre-Processing*
  - Studi literatur dan identifikasi variabel
  - Pengumpulan data serat dan spesifikasi serat
- *Processing*
  - Simulasi fabrikasi *vacuum infusion*
  - Analisis hasil simulasi dan penentuan ketebalan
  - Uji eksperimen fraksi volume
- *Post Processing*
  - Validasi hasil

Flow Chart Penelitian



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh melalui metode ini dianggap memiliki tingkat keakuratan yang tinggi. Proses analisis data sangat berguna untuk menghasilkan kesimpulan yang akurat serta menilai keberhasilan dari penelitian yang dilakukan.

Data yang diperoleh setelah pengujian dihitung menurut persamaan sesuai dengan standart ASTM.

1. Uji Impact
   1. Rumus energi yang diserap

      $$W = GxR\ (cos\beta - cos\alpha)$$

      Dimana:

      W = energi yang diserap spesimen (Joule)

      G = berat pendulum (Newton), yaitu $G = m \times g$

      R = jari-jari atau panjang lengan pendulum (m)

      α = sudut awal pendulum sebelum dilepas (°)

      β = sudut maksimum pendulum setelah mematahkan spesimen (°)
   2. Rumus kekuatan impact

      $$IS = \frac{w}{b_i\ x\ h_i}$$

      Dimana:

      IS = Kekuatan Impact (J/mm)

      w = energi terserap benda uji (J)

      b_i = lebar benda uji impact (mm)

      h_i = tebal benda uji impact (mm)
2. Uji Tarik
   1. Rumus tegangan uji tarik

      $$\sigma = \frac{P}{A}$$

      Dimana:

      σ = Kekuatan tarik (Mpa)

      P = Beban yang diberikan (N)

      A = Luas penampang (mm^2)
   2. Rumus regangan uji tarik

      $$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell 0} \text{ x } 100\%$$

      $$\varepsilon = \frac{\ell 1 - \ell 0}{\ell 0} \text{ x } 100\%$$

      Dimana:

      ε = Regangan (%)

      $\Delta \ell$ = Pertambahan Panjang (mm)

      $\ell 0$ = Panjang mula (mm)

      $\ell 1$ = Panjang sesudah patah (mm)
   3. Rumus modulus elastisitas uji tarik

      $$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

      Dimana:

      E = Elastisitas (MPa)

      σ = Tegangan tarik maksimum (N/mm2)

      Ɛ = Regangan (%)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Impact

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik

No	Komposisi	Spesimen	Sudut Awal	Sudut Akhir	Energi Serap (Joule)	Rata-rata Kekuatan Impact (J/mm²)	Rata-rata
1	60% Resin 20% Serat Karbon 20% Cangkang Telur	1a	120	119,2	0,593	0,01086	0,0104
2		1b	120	119,1	0,668	0,01223	
3		1c	120	119,4	0,444	0,00813	
4	65% Resin 20% Serat Karbon 15% Cangkang Telur	2a	120	118,6	1,041	0,01906	0,0204
5		2b	120	118,3	1,266	0,02318	
6		2c	120	118,6	1,041	0,01906	
7	70% Resin 20% Serat Karbon 10% Cangkang Telur	3a	120	118,1	1,416	0,02593	0,0273
8		3b	120	118,1	1,416	0,02593	
9		3c	120	117,8	1,642	0,03007	

Berdasarkan data hasil pengujian terhadap 9 spesimen pada tabel 1 terlihat bahwa terdapat tren peningkatan kemampuan serap energi dari spesimen 1 hingga ke spesimen 3. Hal ini menunjukkan bahwa parameter yang membedakan setiap kategori (yang dapat berupa fraksi volume serat, orientasi serat, atau metode fabrikasi) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat impact komposit (Andrew dkk., 2019). Peningkatan nilai Δθ secara konsisten mengindikasikan bahwa struktur material menjadi lebih mampu mendistribusikan dan menyerap energi kejut.

Selain itu, variasi hasil antar spesimen juga dipengaruhi oleh ketidakhomogenan dalam proses manufaktur, seperti komposisi kandungan, distribusi serat yang tidak merata, adanya cracking, debonding, pull out, dan void (rongga udara). Faktor-faktor ini dapat mempengaruhi performa mekanik material secara keseluruhan.

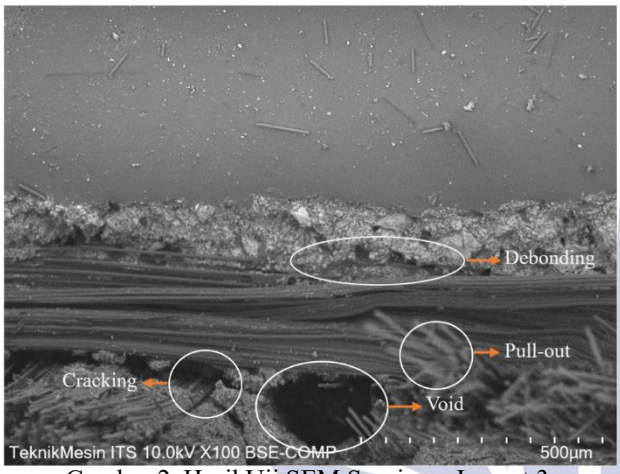
Secara umum, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa komposit dengan parameter pada kategori spesimen 3 memiliki performa terbaik dalam uji impact, sehingga lebih direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap beban kejut atau tumbukan seperti body perahu.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kualitas struktur internal komposit secara langsung berbanding lurus dengan peningkatan ketangguhan material terhadap beban impact. Hasil ini sejalan dengan teori bahwa kemampuan material dalam menyerap energi sangat dipengaruhi oleh mekanisme deformasi internal dan kualitas ikatan antar komponennya (Shah dkk., 2019).

Kemudian diperkuat dengan hasil pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM) pada perbesaran 100× menunjukkan adanya perbedaan morfologi permukaan patahan antara spesimen impact 3c (terbaik) dan impact 1c (terburuk). Pada spesimen impact 3c,

UNESA Universitas Negeri Surabaya

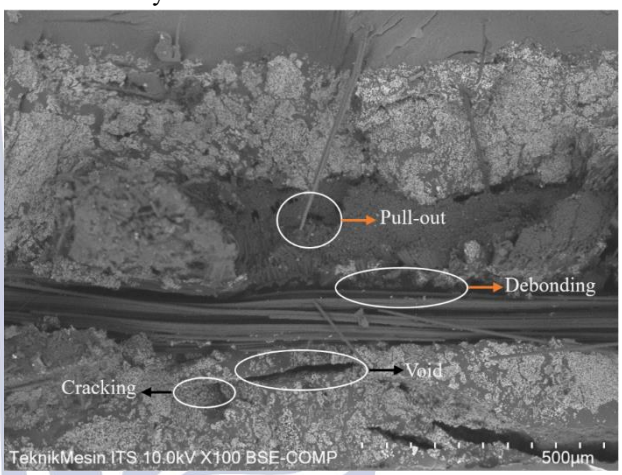
struktur komposit terlihat relatif lebih kompak dengan distribusi komponen penguat yang lebih merata. Serat karbon terlihat memanjang dan masih relatif menyatu dengan matriks (Demchuk dkk., 2022), sedangkan partikel pengisi terlihat tersebar pada daerah matriks. Meskipun masih ditemukan beberapa rongga atau void, jumlah dan ukuran rongga yang terlihat relatif terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses pembentukan komposit menghasilkan struktur yang relatif baik sehingga transfer beban antara matriks dan penguat dapat berlangsung secara lebih efektif (Demchuk dkk., 2022).



Gambar 2. Hasil Uji SEM Spesimen Impact 3c

Analisis cacat mikrostruktur pada hasil uji SEM pada spesimen 3c, yakni pada kumpulan serat karbon terlihat jelas sebagai struktur memanjang yang tersusun horizontal di bagian tengah gambar. Di sekitar serat tersebut terdapat matriks epoxy yang relatif lebih halus, sedangkan daerah dengan tekstur granular dan kontras lebih terang dapat diinterpretasikan sebagai serbuk cangkang telur yang berada di dalam matriks.

1. Cracking: terutama terjadi pada matriks resin epoxy, terlihat sebagai celah/retakan pada daerah matriks dan sekitar batas antara matriks dengan partikel cangkang telur. Retakan dapat berkembang menuju antarmuka serat karbon–resin. Dengan adanya void, tegangan lokal dapat meningkat sehingga retak lebih mudah berkembang.
2. Debonding: terutama terjadi pada daerah antarmuka serat karbon–resin epoxy, indikasinya terlihat sebagai celah antara permukaan kumpulan serat karbon horizontal dengan material matriks di sekitarnya. Artinya, pada saat menerima beban impak, ikatan antara serat karbon dan resin sebagian mengalami pelepasan. Pada daerah cangkang telur–resin, juga terdapat indikasi debonding pada antarmuka partikel resin dengan beberapa batas partikel yang tampak tidak sepenuhnya menyatu dengan matriks.
3. Pull Out: terdapat pada serat-serat memanjang yang tampak keluar/terlepas dari daerah matriks. Kondisi ini menunjukkan indikasi fiber pull-out, yaitu serat karbon tidak patah tepat pada bidang patahan tetapi tertarik keluar dari matriks epoxy. Mekanismenya menunjukkan bahwa ikatan antarmuka serat karbon–epoxy mengalami kegagalan sehingga serat dapat tertarik keluar ketika terjadi pembebanan impak.
4. Void: terdapat rongga gelap yang cukup besar di bawah kumpulan serat karbon, terutama pada bagian bawah-tengah gambar. Void tersebut berada pada matriks epoxy, bukan merupakan bagian dari serat karbon maupun cangkang telur. Void dapat menjadi konsentrasi tegangan dan menjadi lokasi awal terbentuknya retak.



Gambar 3. Hasil Uji SEM Spesimen Impact 1c

Analisis cacat mikrostruktur pada hasil uji SEM pada spesimen 1c, yakni kumpulan serat karbon horizontal terlihat lebih jelas pada bagian tengah gambar. Di bagian atas dan bawahnya terdapat daerah dengan struktur granular yang dapat diinterpretasikan sebagai serbuk cangkang telur yang berada dalam matriks resin.

1. Cracking: terutama dapat dikaitkan dengan matriks resin epoxy. Retakan terlihat sebagai garis/celah yang memanjang pada daerah matriks dan beberapa bagian di sekitar partikel cangkang telur. Retakan juga dapat berkembang sepanjang antarmuka serat karbon–resin atau cangkang telur–resin, sehingga setelah retak terbentuk dapat diikuti oleh debonding.
2. Debonding: indikasi debonding paling jelas dapat dikaitkan dengan antarmuka serat karbon–resin epoxy. Terlihat adanya daerah seperti celah antara kumpulan serat karbon horizontal dengan material di atas dan bawahnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian ikatan adhesi antara serat karbon dan resin mengalami pelepasan akibat pembebanan impak. Selain itu, pada beberapa partikel cangkang telur-resin epoxy terdapat indikasi debonding dengan terlihatnya batas yang kurang menyatu dengan matriks.
3. Pull Out: terdapat beberapa serat karbon yang tampak memanjang keluar dari matriks, termasuk serat yang terlihat memanjang secara diagonal dari bagian atas

UNESA Universitas Negeri Surabaya

menuju kumpulan serat di tengah. Hal ini merupakan indikasi dari fiber pull out.

4. Void: terdapat beberapa rongga gelap di sekitar kumpulan serat karbon, khususnya pada daerah antara serat karbon dan material granular di sekitarnya. Rongga tersebut merupakan indikasi void/porositas yang berada pada matriks komposit.

2. Hasil Pengujian Tarik

Pada beberapa data hasil uji tarik dibawah, untuk mengontrol data yang diperoleh berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka tidak keseluruhan data pengujian dapat dimasukkan. Karena variasi yang terlalu beragam dari hasil penyusunan material yang telah dilakukan dan inkonsistensi untuk mendapatkan data yang seragam.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik

No	Komposisi	Spesimen	Beban Maksimal	Displacement	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
1	72% Resin 8% Serat Karbon 20% Cangkang Telur	1a	2937,1 N	0,55 mm	52,54	0,333	157,77
2		1b	-	-	-	-	-
3		1c	2556,4 N	0,08 mm	45,73	0,048	952,70
4	77% Resin 8% Serat Karbon 15% Cangkang Telur	2a	1620,6 N	0,58 mm	28,99	0,351	82,59
5		2b	1856,0 N	0,28 mm	31,72	0,169	187,69
6		2c	-	-	-	-	-
7	82% Resin 8% Serat Karbon 10% Cangkang Telur	3a	-	-	-	-	-
8		3b	3282,4 N	0,64 mm	56,10	0,387	144,96
9		3c	3547,2 N	0,40 mm	62,01	0,242	256,23

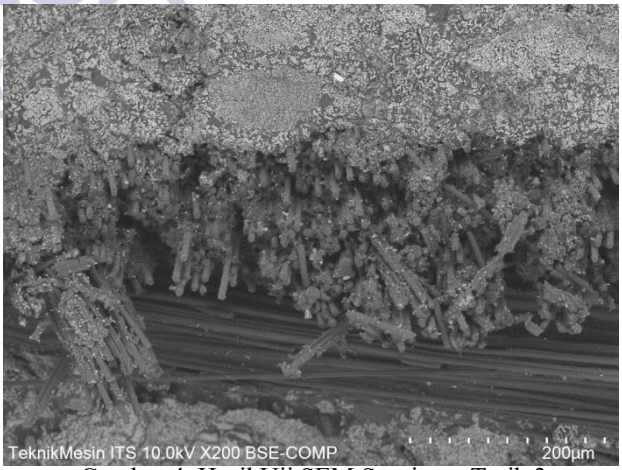
Kelompok spesimen 1 memiliki rata-rata modulus elastisitas tertinggi, yaitu sekitar 555 MPa, dengan regangan 0,19%, dan tegangan tarik 49,13 MPa. Hal ini menunjukkan kombinasi terbaik antara kekuatan tarik dan kemampuan deformasi. Walaupun rata-rata beban maksimum lebih rendah dibanding kelompok 3, spesimen 1 memiliki performa tertinggi dengan kestabilan deformasi yang baik sebelum patah. Hal ini menunjukkan bahwa material pada kelompok ini memiliki distribusi tegangan yang lebih merata dan ikatan matriks–serat yang lebih optimal (Huang dkk., 2021).

Kelompok spesimen 2 menunjukkan rata-rata tegangan tarik terendah dengan nilai 30,35 MPa, dengan rata-rata regangan berada dititik tengah dengan nilai 0,26%, dan modulus elastisitas 135 MPa. Pola penurunan beban yang relatif mendadak setelah mencapai beban maksimum, disertai deformasi yang relatif kecil, mengindikasikan kecenderungan perilaku kegagalan yang lebih getas (Fu dkk., 2022). Selain itu, variasi antar spesimen cukup besar sehingga menunjukkan homogenitas material dan stabilitas deformasi yang kurang baik.

Kelompok spesimen 3 memiliki kemampuan deformasi yang paling baik dengan ketangguhan material yang lebih tinggi dan ulet, karena rata-rata tertinggi untuk tegangan tarik dengan nilai 59,05 MPa dan regangan mencapai 0,31%, meskipun modulus elastisitas berada pada nilai tengah rata-rata sebesar 200 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa material mampu menyerap energi lebih besar sebelum mengalami kegagalan (Farley, 1986). Terutama pada spesimen 3c yang menunjukkan performa terbaik dengan kekompakkan struktur terlihat lebih baik, artinya susunan bagian-bagian komposit terlihat lebih rapat, dengan celah atau rongga yang lebih sedikit pada area yang diamati. Homogenitas terlihat baik, dengan serat karbon dan serbuk cangkang telur tersebar relatif merata didalam resin.

Hal diatas sesuai dengan pengamatan morfologi permukaan patahan spesimen hasil uji tarik yang dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dengan perbesaran 100×. Pengamatan SEM bertujuan untuk mengetahui kondisi mikrostruktur pada daerah patahan serta mengidentifikasi karakteristik kerusakan yang terjadi pada komposit setelah diberikan pembebanan tarik. Parameter yang diamati meliputi kondisi permukaan patahan, keberadaan void, homogenitas struktur, serta indikasi pemisahan antara matriks dan material penguat (Hernandez dkk., 2017).

Berdasarkan hasil pengamatan SEM pada spesimen terbaik uji tarik 3, terlihat bahwa struktur permukaan patahan relatif lebih kompak dan homogen. Bagian permukaan spesimen menunjukkan daerah matriks yang masih relatif kontinu, sedangkan pada daerah patahan terlihat permukaan yang lebih kasar dan tidak beraturan. Kondisi permukaan patahan yang kasar menunjukkan bahwa proses propagasi retak tidak berlangsung pada satu bidang patahan yang rata (Fu dkk., 2005). Pada beberapa bagian juga terlihat adanya rongga atau area kosong yang diduga merupakan void serta indikasi terjadinya pemisahan pada daerah antarmuka antara matriks dan material penguat. Meskipun demikian, keberadaan void pada spesimen uji tarik 3 relatif tidak dominan sehingga struktur komposit masih menunjukkan kondisi yang cukup kompak.



Gambar 4. Hasil Uji SEM Spesimen Tarik 3

Analisis cacat mikrostruktur pada hasil uji SEM pada spesimen 3, interpretasi lokasi kerusakan dapat dijelaskan

dengan mengacu pada karakteristik morfologi permukaan patahan. Dengan indikasi jenis material pada setiap titik hanya berdasarkan tingkat kecerahan/warna citra.

1. Cracking: terjadi pada matriks resin epoxy kemudian dapat berkembang menuju antarmuka serat atau partikel, terlihat garis/retakan memanjang pada daerah matriks. Menunjukkan propagasi retak akibat pembebanan tarik; retak dapat berinteraksi dengan serat karbon dan partikel cangkang telur.
2. Debonding: terutama terjadi pada daerah antarmuka serat karbon–resin dan cangkang telur–resin, indikasinya terlihat celah/ruang di sekitar permukaan serat atau partikel yang tidak lagi melekat rapat dengan matriks. Artinya, menunjukkan kegagalan ikatan antarmuka sehingga transfer beban dari resin ke penguat menjadi kurang efektif.
3. Pull Out: terutama terdapat pada serat karbon–resin. Kondisi ini menunjukkan indikasi serat karbon tampak keluar/tercabut dari matriks dan meninggalkan ruang atau lubang memanjang. Mekanismenya menunjukkan serat mengalami pelepasan dari resin sebelum atau saat patah; biasanya berkaitan dengan ikatan antarmuka yang kurang kuat.
4. Void: terdapat pada resin/matriks termasuk ruang di sekitar cangkang telur. Terutama pada bagian area kosong/gelap yang relatif tidak memiliki material. Void tersebut berasal dari udara yang terperangkap, proses pencampuran, atau kurang sempurnanya pembasahan matriks terhadap penguat; dapat menjadi konsentrator tegangan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil uji impact komposit cangkang telur, serat karbon, dan resin dengan standar ASTM D5942-96, fraksi volume berpengaruh terhadap kekuatan impact komposit. Spesimen 3 menunjukkan performa terbaik dengan nilai energi serap tertinggi mencapai 1,642 Joule, yang menunjukkan kemampuan menyerap energi tumbukan lebih tinggi. Performa tersebut dipengaruhi oleh resin epoksi yang mengikat serat karbon dan serbuk cangkang telur, mentransfer beban secara efektif, serta melalui metode vacuum infusion membantu mengurangi void sehingga meningkatkan ketangguhan impak.

Sedangkan hasil uji tarik berdasarkan ASTM D3039, fraksi volume berpengaruh terhadap kekuatan tarik komposit. Spesimen 3 memiliki performa mekanik paling seimbang dan paling direkomendasikan untuk aplikasi struktural seperti body perahu, serta menunjukkan karakteristik mekanik terbaik dikarenakan kombinasi kekuatan tarik yang tinggi dan kemampuan mengalami deformasi paling baik karena mampu menahan tegangan tarik maksimum sebesar 62,01 MPa. Struktur permukaan patahan yang relatif lebih kompak dan homogen dapat mendukung distribusi beban yang lebih merata antara serbuk cangkang telur, karbon, dan resin, sehingga tegangan dapat diteruskan dengan lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Andrew, J. J., Srinivasan, S. M., Arockiarajan, A., & Dhakal, H. N. (2019). Parameters influencing the impact response of fiber-reinforced polymer matrix composite materials: A critical review. Composite Structures, 15 September 2019. Article: 111007. Volume 224. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111007

Demchuk, Z., Zhu, J., Li, B., Zhao, X., Islam, N. M., Bocharova, V., Yang, G., Zhou, H., Jiang, Y., Choi, W., Advincula, R., & Cao, P.-F. (2022). Unravelling the Influence of Surface Modification on the Ultimate Performance of Carbon Fiber/Epoxy Composites. ACS Applied Materials & Interfaces Journal, 14(40), 45775–45787. https://doi.org/10.1021/acsami.2c11281

Farley, G. L. (1986). Effect of Fiber and Matrix Maximum Strain on the Energy Absorption of Composite Materials. Journal of Composite Materials. Volume 20, Issue 4. https://doi.org/10.1177/002199838602000401

Fu, S, Y., Lauke, B., Zhang, Y, H., Mai, Y-W. (2005). On the post-mortem fracture surface morphology of short fiber reinforced thermoplastics. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 36, Issue 7, July 2005, Pages 987-994. doi: 10.3390/polym14102129

Fu, Y., Yao, X. (2022). A review on manufacturing defects and their detection of fiber reinforced resin matrix composites. Polymers (Basel). May 23;14(10):2129. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.11.005

Handoko, D. (2022). Perancangan Uji Impact Charpy Dengan Akuisisi Data Berbasis Microcontroller Arduino. Jurnal Suara teknik, Vol. 12, No. 2 (page: 39-44). https://doi.org/10.58466/injection.v2i2.531

Hernandez, D, A., Soufen, C, A., & Orlandi, M, O. (2017). Carbon Fiber Reinforced Polymer and Epoxy Adhesive Tensile Test Failure Analysis Using Scanning Electron Microscopy. Scielo, Brasil, Mat. Res. 20 (4) • Jul-Aug 2017. https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0229.

Huang, S., Fu, Q., Yan, L., & Kasal, B (2021). Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials – A critical review. Journal of Materials Research and Technology. Volume 13, July–August 2021, Pages 1441-1484. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.076

Karim, Z., Basjir, M., & Yazirin, C. (2023). Pengaruh Ketebalan Skin Komposit Sandwich Karbon Fiber Dengan Bahan Nilon Sebagai Core Terhadap Uji Bending Menggunakan Metode Vacuum Infusion. Jurnal Teknik Mesin, Jurnal Sains dan Teknologi Teknik Mesin Unisma Vol 20, No 3. https://jim.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/22245

Prihatno, A. (2021). Analisa Pengaruh Letak Susunan Serat Ampas Tebu (Baggase) terhadap Kekuatan Tarik

Menggunakan Epoxy. Jurnal Teknik Mesin, 9(3), 173–179. https://doi.org/10.22441/jtm.v9i3.9792

Shah, S. Z. H., Karuppanan, S., Megat-Yussof, P. S. M., Sajid, Z. (2019). Impact resistance and damage tolerance of fiber reinforced composites: A review. Composite Structures, 1 June 2019, Pages: 100-121, Volume 217. https://doi.org/ 10.1016/j.compstruct.2019.03.021.

Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Penerbit: Alfabeta, Bandung. ISBN: 978-602-289-533-6.

Utomo, S. W. E. (2020). Analisis Pengaruh Tekanan Vacuum Pada Proses Pembuatan Komposit Carbon Fiber Menggunakan Metode Vacuum Infusion. Machine : Jurnal Teknik Mesin, 6(2), 6–11. https://doi.org/10.33019/jm.v6i2.1438

Yudha, V., Ferriawan Yudhanto., & Joko Waluyo. (2023). Analisa Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Hibrid Serat Jute/Karbon Yang Dibuat Dengan Metode Vacuum Infusion Sebagai Alternatif Bahan Helm. Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika, 8(1), 25–35. https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v8i1.248

Yudhistira, D. (2022). Analisis Perbandingan Kekuatan Komposit Hybrid Sandwich Serat Rami-E-Glass/Epoxy Berdasarkan Variasi Ketebalan Core Kayu Balsa Terhadap Kemampuan Uji Bending. Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta, 7, 69–78. https://doi.org/10.28989/senatik.v7i0.465

UNESA
Universitas Negeri Surabaya