

Analisis Kekuatan Komposit *HGM-Epoxy* Serat Karbon dan Serat Kapas Menggunakan Variasi Laminasi dengan Metode *Hand Lay-Up*

Laurenso Gabriel Amnunuh¹, I Komang Astana Widi¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang, Jawa Timur, Indonesia

Kata kunci

Composite
HGM-Epoxy
Carbon Fiber
Cotton Fiber
Denim Jeans
Tensile Strength
Stress-Strain
Young's Modulus
SEM Tests

ABSTRAK

Composites are a combination of two or more materials intended to produce materials that have better characteristics. Composites are mostly used because they can outperform other materials. The purpose of making composites is to get new materials whose mechanical properties can be improved better than before. Composites are generally composed of two parts, namely matrix and reinforcement. The matrix is a constituent element that functions as a connector for the reinforcement, and as an element that distributes the stress given to the composite material. This research aims to determine the mechanical properties, the value of tensile strength, stress-strain, Young's modulus, impact energy, and impact price of HGM- epoxy composites reinforcing carbon fiber and denim jeans. The process of analyzing and processing the research results using quantitative methods is carried out by compiling the data obtained in the form of tables and graphs. The test results show a significant increase in the tensile strength and impact strength of HGM-epoxy composites with carbon fiber and jeans denim in each variation. SEM test results show the presence of voids, cracks between fibers and matrix, and the density of the structure between matrices that affect the mechanical properties of the composite. The more the number of laminations, the smaller the Young's Modulus price because the strain acting on the specimen is greater. The strength of the material is influenced by how tightly the fibers are bonded to the matrix. The better the bond between the fibers and the matrix, the higher the strength of the material. The lack of density between the fibers and the matrix can cause the formation of voids between the fibers and the matrix it can reduce the quality of the bond between the fibers and the matrix.

* Corresponding author:

Laurenso Gabriel Amnunuh (email: laurenzoamnunuh@gmail.com)

Diterima: 11 September 2023

Disetujui: 29 Maret 2026

Dipublikasikan: 31 Maret 2026

1 Pendahuluan

Komposit merupakan gabungan antara dua atau lebih material dengan maksud untuk menghasilkan material yang memiliki karakteristik yang lebih baik. Komposit banyak digunakan karena bisa mengungguli material lain.

Hollow Glass Microsphere (HGM) dapat digunakan sebagai pengisi atau penguat dalam matriks polimer, logam, atau keramik untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, ketahanan termal, dan sifat lainnya dari komposit. (Fahmi, 2013) dalam penelitiannya mengindikasikan bahwa komposit epoxy yang diperkuat oleh partikel HGM memiliki kepadatan yang minim dan kemampuan menahan tekanan yang unggul.

Jeans denim adalah bahan tekstil terbuat dari serat kapas yang ditenun dengan pola tertentu. Tanaman kapas merupakan tanaman penghasil serat yang memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi, mudah didapatkan dan tidak beracun (Nur Muhammad Triant et al., 2015). Serat kapas mempunyai sifat mekanik yang baik dengan tensile strength 287-800 Mpa, Young's Modulus 5,5-12,6 Gpa dan elongation 7-8% (Ramamoorthy et al., 2015). Pada penelitian ini menggunakan *jeans denim* sebagai serat penguat komposit yang dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan (Bledzki & Gassan, 1999).

Kombinasi serat karbon dan serat jeans pada komposit dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekakuan komposit. Serat karbon memiliki sifat mekanik yang unggul, tetapi biayanya tinggi. Serat jeans merupakan limbah tekstil yang murah dan ramah lingkungan, namun memiliki sifat mekanik yang rendah. Dengan menggabungkan kedua jenis serat tersebut, dapat diperoleh komposit yang memiliki keseimbangan antara kinerja dan biaya.

Penelitian mengenai komposit bermatriks epoxy dengan penguat serat karbon sudah banyak dilakukan. (Wulandari et al., 2023) melakukan penelitian tentang “Analisa Sifat Mekanis Pada Material Komposit Serat Karbon dan Resin Epoxy Dengan Variasi Laminasi”. (Alfarizi, 2022) melakukan penelitian mengenai “Studi Eksperimen Pengaruh Material Komposit HGM, Epoxy dan Serat Daun Nanas Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak”. Aplikasi penggunaan HGM pada komposit sangat berkontribusi untuk meningkatkan sifat mekanis pada material komposit. Namun pada penelitian mengenai analisis kekuatan komposit dengan menggunakan material komposit HGM resin epoxy penguat serat karbon dan jeans denim belum pernah dilakukan. Oleh karena itu perlu adanya penelitian untuk mengetahui kekuatan komposit HGM- epoxy dengan penguat serat karbon dan jeans denim untuk menahan beban tarik dan beban kejut.

Tempat dan Waktu Penelitian

– Tempat Penelitian

Proses manufaktur spesimen komposit di Bengkel Pamungkas Komposit Tasikmadu. Pengujian tarik dan impak dilakukan di Lab. Material Teknilk Mesin S-1 ITN Malang. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Mikroskop Institut Biosains Universitas Brawijaya. Tempat tersebut dipilih karena telah memenuhi standar penelitian, sehingga hasilnya dapat dipertanggung jawabkan.

– Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari tanggal 20 Maret sampai 2 Agustus sampai bulan Mei 2023.

2 Metode Penelitian

Dibawah ini menunjukan gambar diagram alir penelitian



Gambar 1 Diagram Alir

Berikut Ini Merupakan Alat Dan Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian Ini Adalah:

2.1 *Alat Yang Digunakan*

- Cetakan
- Gelas Ukur
- Kuas
- Gunting
- Gerinda
- Kikir
- Jangka Sorong Pompa Vakum
- Amplas
- Timbangan Digital

2.2 *Bahan Yang Digunakan*

- *Hollow Glass Microspheres*
- *Epoxy*
- Katalis
- Serat Karbon
- *Wax*
- *Jeans Denim*

2.3 *Variabel Penelitian*

- a. Variabel Bebas
 - Variasi penyusunan Serat
- b. Variabel Tetap
 - Uji Tarik, Uji Impak
 - *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
- c. Variabel Terkontrol
 - *Hollow Glass Microsphere*
 - *Epoxy*
 - Serat Karbon, *Jeans Denim*

2.4 *Proses Pengujian*

a) *Tensile Test*

Proses pengujian tarik dilakukan di Lab. Material Teknik Mesin S-1 ITN Malang dengan menggunakan standar ASTM D638 tipe III. Terdapat 4 variasi yang diuji yaitu matriks 100 %, 4 layer, 6 layer, dan 8 layer. Berikut merupakan prosedur pengujian tarik komposit HGM epoxy penguat serat karbon dan jeans denim:



Gambar 2 Pengujian Tarik

1. Catat dimensi awal masing-masing benda uji yaitu: Panjang awal (L_0), tebal (t) dan lebar
2. Benda uji dipasang pada mesin uji Tarik
3. Benda uji mulai ditarik dan perhatikan perkembangannya yaitu: penambahan beban (P), penambahan panjang benda uji (ΔL) dan pengurangan luas penampang (A) sampai benda uji putus.
4. Pengujian dilanjutkan pada spesimen uji komposit berikutnya (spesimen uji b sampai spesimen uji c) yaitu dengan perlakuan sama seperti pada spesimen uji a.

b) Impact Test

Impact Test (Uji Impak) bertujuan untuk mengetahui keuletan (toughness) komposit yang diberikan beban secara tiba-tiba (kejut). Spesimen uji impak pada penelitian ini menggunakan standart (ASTM D6110- 10). Berikut merupakan prosedur pengujian impak komposit *HGM- epoxy* penguat serat karbon dan jeans denim:



Gambar 3 Pengujian Impak

1. Ukur benda uji sebelum dibentur dengan alat uji impak
2. Naikan pengangkat pembentur sesuai sudut yang telah ditentukan dengan memutar *handle* pembentur, kemudian kunci pembentur
3. Lepaskan pengunci pembentur setelah beban berada tahanan pemberat benda uji (sudut α)
4. Setelah kembali dari puncak ayunan tersebut dapat dihentikan perlahan-lahan dengan rem.
5. Amati dan catat jarum yang terdorong, berapa derajat pemberat sudut ayunan tanpa benda uji.
6. Pasang pembentur dengan baik dan benar sehingga tidak membahayakan.

7. Pasang benda uji pada anvil tepatkanlah dengan penyenter dan lepas penyenter tersebut jika sudah benar, amati kedudukan/anvil jika kurang benar dan dapat disetel sesuai dengan petunjuk.
8. Pembentur dapat dinaikan perlahan-lahan dengan memutar handle tepat pada sudut yang ditentukan.
9. Lepas pengunci dengan menarik pengunci lengan.
10. Setelah pembentur berayun mengenai benda uji, maka pembentur yang berayun dapat diberhentikan dengan menggunakan mengerem secara perlahan.
11. Amati sudut pada dial yang ditunjukkan oleh jarum beban, dan diperoleh harga impak.
12. Hitung kekuatan impak.

c) *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Energy Dispersive X-Ray (EDX)*

Pengujian EDX memfokuskan pada titik atau spot yang diinginkan dalam hal ini adalah matriks dan serat. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati morfologi, struktur permukaan dan distribusi partikel sampel dengan detail yang sangat tinggi, skala mikro dan nanometer. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D1002. Berikut merupakan prosedur pengujian SEM komposit HGM epoxy penguat serat karbon dan jeans denim:



Gambar 4 Pengujian SEM-EDX

1) Tahap I

Yaitu tahap observasi atau pengujian, spesimen dilakukan pengujian scanning electron microscopy untuk mendapatkan data hasil topografi dari material.

2) Tahap II

Yaitu tahap entri data, data hasil pengujian yang berbentuk gambar hitam putih dan line analysis EDX.

3) Tahap III

Tahap ini adalah analisis data. Menggunakan hasil pengujian SEM untuk menentukan apakah ada unsur kimia penyusun pada spesimen, yang kemudian dimasukkan ke dalam grafik komposisi zat penyusun. Hasil pengujian SEM menunjukkan gambar bentuk topografi spesimen dalam bentuk hitam putih atau gelap terang, yang dipengaruhi oleh unsur penyusunnya.

4) Tahap IV

Tahap Interpretasi data, setelah data diolah dan dianalisis, selanjutnya diambil suatu kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

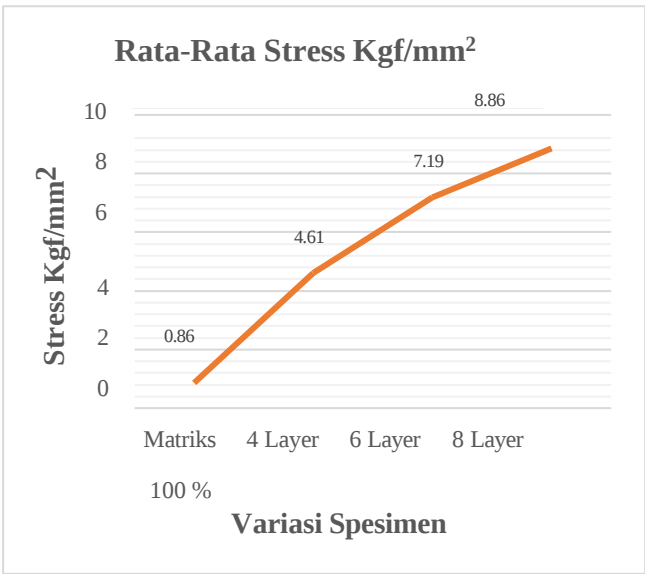
3 Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian tarik, uji impak dan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengetahui sifat mekanis komposit HGM-epoxy serat karbon dan jeans denim. Spesimen komposit HGM-epoxy serat karbon dan jeans denim menggunakan variasi laminasi meliputi komposit 100% matriks, komposit 4 layer, 6 layer dan 8 layer.

3.1 Pengujian Tarik

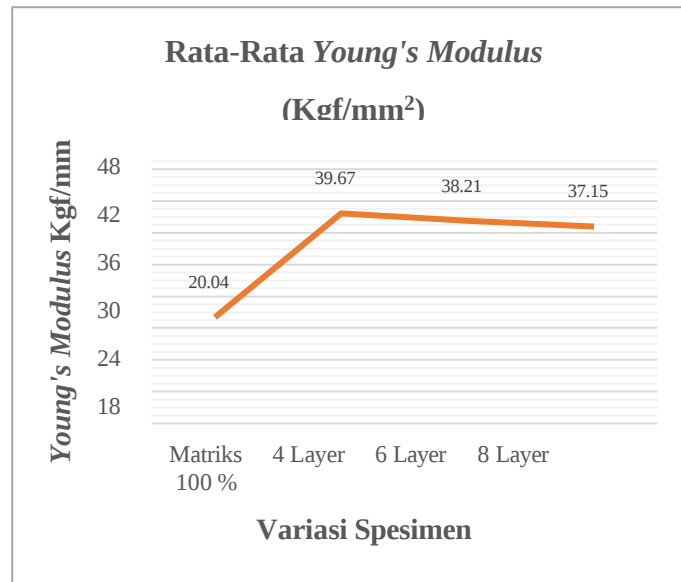
Tabel 1 Data Hasil Uji Tarik

Sample	Area mm ²	Max force Kgf	Tensile Stress Kgf/mm ²	Strain (%)	Young's Modulus Kgf/mm ²
I. Spesimen Komposit 100 % matriks					
A	190	164	0,865	4,15	20,70
B	190	153	0,806	3,03	26,67
C	190	175	0,923	7,2	12,77
Rata- Rata		164	0,86	4,79	20,04
II. Spesimen Komposit 4					
A	190	829	4,361	11,2	38,93
B	190	1135	5,973	11,34	52,67
C	190	669	3,522	12,85	27,41
Rata- Rata		877,66	4,61	11,79	39,67
III. Spesimen Komposit 6 Layer					
A	190	1262	6,642	14,25	46,61
B	190	1618	8,518	28,13	30,28
C	190	1219	6,414	16,99	37,75
Rata- Rata		1366,3	7,19	19,79	38,21
IV. Spesimen Komposit 8 Layer					
A	190	1875	9,871	23,78	41,50
B	190	1845	9,711	23,54	41,25
C	190	1333	7,013	24,43	28,70
Rata - Rata		1684,3	8,86	23,91	37,15



Gambar 5 Grafik Stress

Hasil analisis dari uji tarik material komposit yang menggunakan serat karbon dan jeans denim sebagai penguat dan HGM-epoxy sebagai matriks dengan variasi jumlah lapisan serat (4, 6, dan 8 lapisan) menghasilkan grafik perbandingan rata-rata Tensile Strength seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.3 Nilai rata-rata kekuatan tarik komposit HGM -epoxy mengalami peningkatan yang signifikan pada semua variasi. Rata-rata presentase peningkatan kekuatan tarik secara berturut- turut yaitu 100% matriks sebesar 9,7% dengan nilai 0,86 Kgf/mm², variasi komposit 4 layer sebesar 53% dengan nilai 4,61 Kgf/mm², variasi komposit 6 layer sebesar 83% dengan nilai 7,19 Kgf/mm² dan peresentase komposit 8 layer meningkat sebesar 18% menjadi 8,86 Kgf/mm².



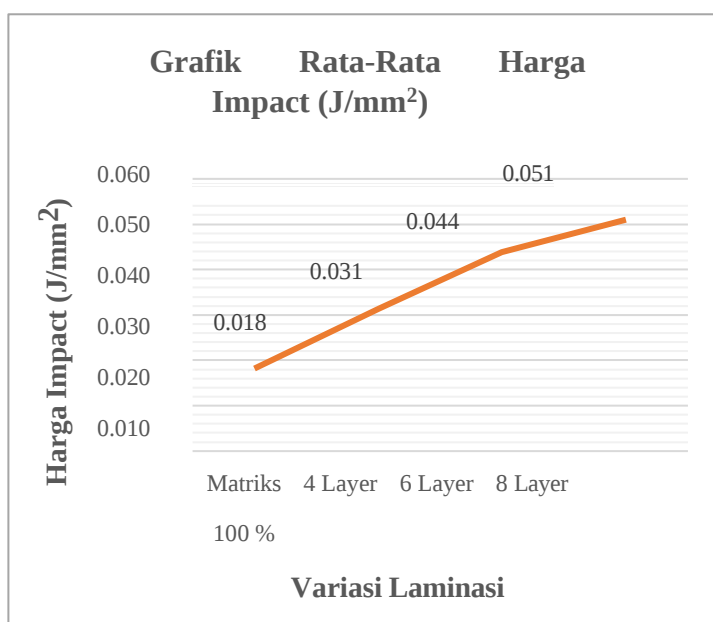
Gambar 6 Grafik Young's Modulus

Berikut adalah presentase naik dan turunnya grafik Young's Modulus yaitu mula-mula pada variasi komposit 100% matriks sebesar 50,51%, kemudian grafik meningkat sebesar 49% pada variasi komposit 4 layer, pada komposit 6 layer presentase grafik turun sebesar 3,7% menjadi 96,3%, dan presentase akhir pada variasi komposit 8 layer grafik mengalami penurunan sebesar 6,35% menjadi 93,65%. Ini mengindikasikan bahwa komposit HGM-epoxy penguat serat karbon dan jeans denim 4 layer memiliki modulus elastisitas tertinggi dibandingkan dengan variasi laminasi lainnya. Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa variasi laminasi jumlah serat berdampak terhadap nilai modulus elastisitas komposit HGM- epoxy serat karbon dan jeans denim. Semakin banyak jumlah serat maka semakin kecil nilai modulus elastisitas sebab regangan yang bekerja pada spesimen semakin besar.

3.2 Pengujian Impak

Tabel 1. 2 Data Hasil Uji Impak

Variasi	Nomor Sampel	Luas (mm ²)	α (°)	β (°)	Energi (Joule)	HI (J/mm)
Matriks 100 %	A	100	45	40	1.8762	0.0188
	B	100	45	39.5	2.0538	0.0205
	C	100	45	41	1.5154	0.0152
	Rata-Rata				1.8151	0.0182
4 Layer	A	100	45	38	2.5755	0.0258
	B	100	45	35	3.5668	0.0357
	C	100	45	36	3.2442	0.0324
	Rata-Rata				3.1288	0.0313
6 Layer	A	100	45	34	3.8815	0.0388
	B	100	45	31	4.7769	0.0478
	C	100	45	32	4.4866	0.0449
	Rata-Rata				4.3817	0.0438
8 Layer	A	100	45	28	5.5976	0.0560
	B	100	45	30.5	4.9190	0.0492
	C	100	45	30	5.0589	0.0506
	Rata-Rata				5.1918	0.0519

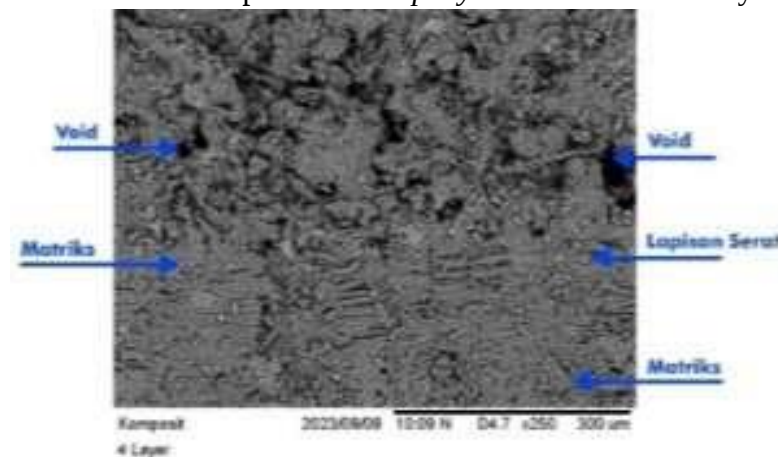


Gambar 7 Grafik Harga Impact

Gambar 1.5 diatas menunjukan grafik rata- rata harga impak dari komposit *HGM- epoxy* dengan penguat serat karbon dan *jeans denim*. Presentase peningkatan komposit pada variasi 100% matriks sebesar 35% mengalami peningkatan setelah divariasikan komposit 4 layer sebesar 25% menjadi 60%, kemudian grafik meningkat sebesar 26% menjadi 86% pada komposit 6 layer, dan terakhir presensase peningkatan komposit 8 layer sebesar 14%. Dimana nilai rata-rata kekuatan maksimum yang didapat yaitu 0,051 J/mm² pada komposit dengan variasi serat karbon dan jeans denim 8 layer serta diikuti oleh komposit dengan variasi 6 dan 4 layer berturut-turut yaitu 0,044 J/mm² dan 0,031 J/mm². Untuk nilai rata-rata kekuatan impak minimum yaitu 0,018 J/mm² pada spesimen dengan variasi matriks *HGM- epoxy* 100%.

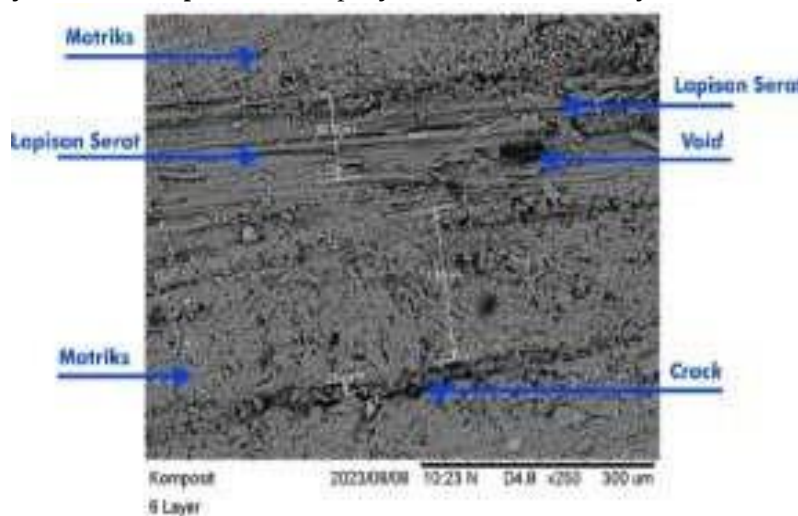
3.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Data hasil pengujian SEM EDX komposit *HGM-epoxy* variasi laminasi 4 layer



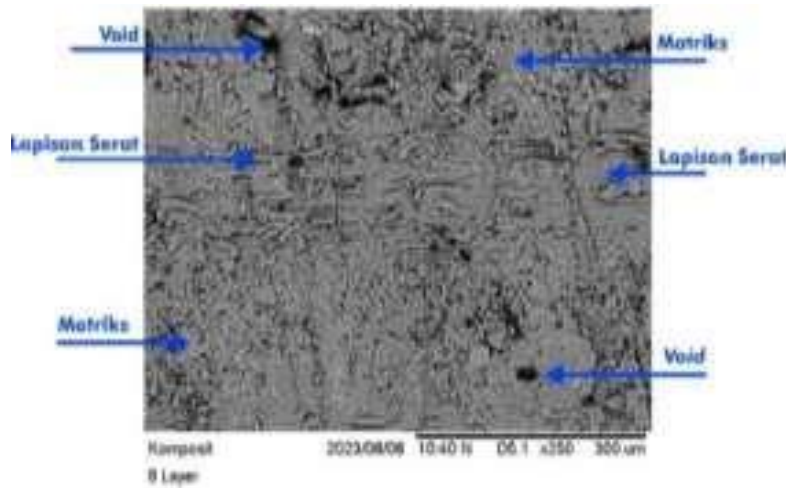
Gambar 8 Hasil Foto Uji SEM Komposit 4 Layer

Data hasil pengujian SEM komposit *HGM-epoxy* variasi laminasi 6 layer



Gambar 9 Hasil Uji SEM Komposit 6 Layer

Data hasil pengujian SEM komposit *HGM-epoxy* variasi laminasi 8 layer



Gambar 10 Hasil Uji SEM Komposit 8 Layer

Gambar diatas menunjukkan hasil pengujian *Scanning Electron Microscopy* komposit 4 layer, 6 layer dan 8 layer dengan menggunakan perbesaran 250x terlihat kerapatan struktur matriks, rongga udara, *crack* dan lapisan serat. *Void* (rongga udara) adalah area di dalam struktur komposit dimana material yang seharusnya diisi dengan serat atau resin, namun terisi atau tergantikan oleh udara atau ruang kosong. Pada gambar hasil SEM di atas terlihat bahwa terdapat rongga udara di antara matriks dan serat yang dapat mempengaruhi kekuatan ikatan antar layer sehingga transfer tegangan oleh matrik ke serat menjadi berkurang. Salah satu faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dan fisik dari struktur komposit adalah adanya void atau rongga udara di dalamnya. Void dapat terbentuk akibat proses fabrikasi, perubahan suhu, atau beban eksternal yang diberikan pada komposit. (Susila, D.J.P et al., 2021). Dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa kekuatan material dipengaruhi oleh seberapa rapat serat dengan matriksnya. Semakin baik ikatan antara serat dan matriks, semakin tinggi kekuatan material tersebut. Pada gambar di atas terlihat dengan jelas bahwa terdapat crack pada komposit 6 layer. Crack dapat mempengaruhi sifat mekanik, kekuatan, dan ketangguhan struktur komposit. Crack dapat terbentuk akibat beban statis, beban dinamis, atau faktor lingkungan. Adanya crack dapat mengurangi modulus elastisitas, kekuatan tarik, dan kekuatan lentur struktur komposit (A. K. Kaw, 2006).

a) *Line Analysis Energi Dispersive X-Ray (EDX)*

- Data hasil Line analysis Energy Dispersive X-Ray (EDX) Komposit 4 Layer

Tabel 3 Data hasil Line analysis Energy EDX Komposit 4 Layer

<i>Element</i>	<i>Weight %</i>	<i>Weight % σ</i>	<i>Atomic %</i>
<i>Carbon</i>	63.039	0.553	70.840
<i>Oxygen</i>	31.049	0.512	26.194
<i>Sodium</i>	2.270	0.076	1.332
<i>Silicon</i>	2.444	0.064	1.175
<i>Sulfur</i>	0.262	0.046	0.110
<i>Chlorine</i>	0.713	0.050	0.271
<i>Potassium</i>	0.223	0.044	0.077

- Data hasil Line analysis *Energy Dispersive X-Ray (EDX)* Komposit 6 Layer

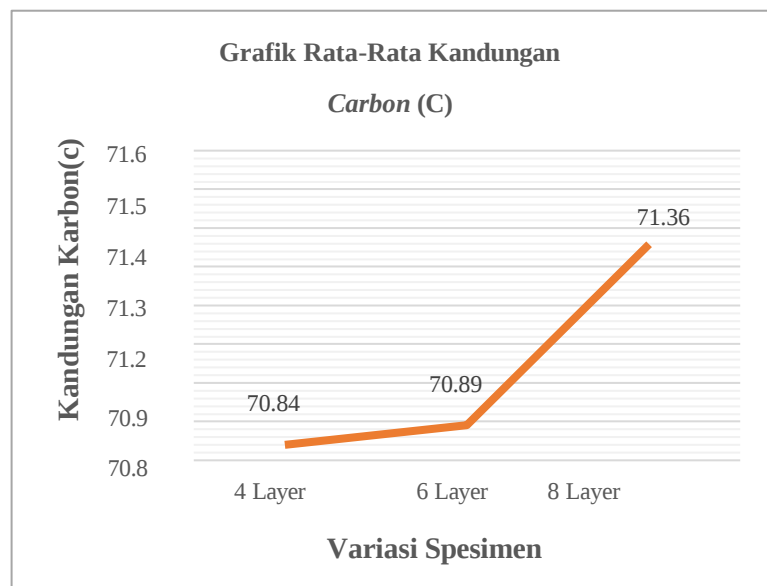
Tabel 4 Data hasil Line analysis Energy EDX Komposit 6 Layer

<i>Element</i>	<i>Weight %</i>	<i>Weight % σ</i>	<i>Atomic %</i>
<i>Carbon</i>	63.998	0.575	70.894
<i>Oxygen</i>	33.595	0.562	27.938
<i>Sodium</i>	0.817	0.077	0.473
<i>Silicon</i>	1.150	0.062	0.545
<i>Potassium</i>	0.440	0.058	0.150

- Data hasil Line analysis *Energy Dispersive X-Ray (EDX)* Komposit 8 Layer

Tabel 5 Data hasil Line analysis Energy EDX Komposit 8 Layer

<i>Element</i>	<i>Weight %</i>	<i>Weight % σ</i>	<i>Atomic %</i>
<i>Carbon</i>	63.710	0.558	71.358
<i>Oxygen</i>	30.865	0.523	25.953
<i>Sodium</i>	2.076	0.077	1.215
<i>Silicon</i>	2.050	0.062	0.982
<i>Sulfur</i>	0.276	0.049	0.116
<i>Chlorine</i>	0.699	0.052	0.265
<i>Potassium</i>	0.324	0.047	0.112



Gambar 11 Grafik Rata-Rata Kandungan Karbon

Berdasarkan grafik pada gambar 1.9 menunjukkan rata-rata kandungan atom karbon pada komposit yang mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah layer. Pada komposit dengan variasi 4 layer presentase kandungan karbon sebesar 99,27%, kemudian grafik kandungan karbon mengalami peningkatan pada variasi komposit 6 layer sebesar 0,07% menjadi 99,34% dan pada variasi komposit 8 layer grafik kandungan karbon naik sebesar 0,66%. Jadi rata-rata kandungan karbon tertinggi adalah pada variasi komposit 8 layer. Carbon memiliki peran penting terhadap struktur dan sifat mekanik pada komposit. Carbon dapat berbentuk serat,

partikel, atau nanotube yang ditanamkan ke dalam matriks polimer, logam, atau keramik yang dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, ketahanan aus, dan konduktivitas termal komposit (M. S. Sreekala, 2019).

4 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- A. Tensile strength pada komposit *HGM- epoxy* serat karbon dan *jeans denim* terjadi peningkatan secara signifikan pada setiap variasi. Kekuatan tarik tertinggi pada variasi komposit 8 layer sebesar 8,86 Kgf/mm² sedangkan kekuatan tarik terendah pada variasi matriks 100% sebesar 4,79 Kgf/mm². Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah laminasi maka harga tensile strength semakin tinggi.
- B. *Young's Modulus* pada penelitian ini tertinggi pada variasi komposit 4 layer sebesar 39,67 Kgf/mm² sedangkan *Young's Modulus* pada penelitian ini tertinggi pada variasi komposit 100% matriks sebesar 20,04 Kgf/mm². Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah laminasi maka semakin kecil harga *Young's Modulus* sebab regangan yang bekerja pada spesimen semakin besar.
- C. Harga Impak berdasarkan variasi komposit berturut turut dari komposit 100% matriks ke komposit 8 layer adalah 0,018 J/mm², 0,031 J/mm², 0,044 J/mm², dan 0,051 J/mm² J/mm², dengan nilai paling rendah pada variasi komposit 100% matriks dan nilai paling tinggi pada variasi komposit 8 layer.
- D. Kekuatan material dipengaruhi oleh seberapa rapat serat terikat dengan matriksnya. Semakin baik ikatan antara serat dan matriks, semakin tinggi kekuatan material tersebut.
- E. Ketidakrapatan antara serat dan matriks dapat menyebabkan terbentuknya *void* di antara serat dan matriks sehingga dapat mengurangi kualitas ikatan antara serat dan matriks.

5 Referensi

- [1] A. K. Kaw, *Mechanics of Composite Materials*, 2nd ed., Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [2] Bledzki, A. K., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibers. *Progress in polymer science*, 24(2), 221-274.
- [3] M. S. Sreekala et al., "Carbon - A review of its role in composite materials," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 38, no. 8, pp. 359-378, 2019.
- [4] Muhamad, A. (2022). Studi Eksperimen Pengaruh Material Komposit Hgm, Epoxy Dan Serat Daun Nanas Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- [5] Ott, E, Spurlin, H & Graffin M, 1954, *Cellulose and Cellulose Derivatives*, New York: Intersci. Pub.
- [6] Pulungan, Muhammad Anhar, (2017). "Analisis Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat ari Komposit Hgm-Epoxy dan Serat Karbon dalam Menyerap Energi Akibat Impact Peluru". *Teknik Mesin FTI-ITS*. Surabaya.
- [7] Ramamoorthy, S. K., Skrifvars, M., & Persson, A. (2015). A review of natural fibers used in biocomposites: Plant, animal and regenerated cellulose fibers. *Polymer reviews*, 55(1), 107-162.
- [8] Susila, D. J. P., Yuliyanto, Y., & Masdani, M. (2021). Pengaruh Serat Karbon Terhadap Sifat Mekanik dan Topografi pada Komposit Bermatriks Polyester BQTN 157. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(7), 1219-1236.
- [9] Triant, M., Nur, W., Purnamaningsih, S. L., Respatijarti, R., & Sulistyowati, E. (2015). Uji Daya Hasil Pendahuluan Delapan Galur F6 Kapas (*Gossypium Hirsutum* L.) Serat Warna Coklat (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- [10] Wulandari, F. (2023). Analisa Sifat Mekanis Pada Material Komposit Serat Karbon Dan Resin Epoxy Dengan Variasi Laminasi (Doctoral dissertation, ITN MALANG).