
ANALISA KEKUATAN MEKANIS KOMPOSIT HGM-EPOXY, SERAT RAMI DENGAN VARIASI ORIENTASI SERAT

Safroni Klayen Ari Wista¹, I Komang Astana Widi²

Program Studi Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, Kota Malang, Indonesia

Email: saftroniklayenariwista01@gmail.com

ABSTRAK

Komposit terbentuk melalui penggabungan dua atau lebih jenis material yang memiliki karakteristik yang berbeda. Pemanfaatan komposit bertujuan untuk mencapai sifat mekanik yang unggul jika dibandingkan dengan karakteristik material yang membentuknya. Pada penelitian ini menggunakan komposit yang terbuat dari *hollow glass microsphere-epoxy* sebagai matriks dengan penguat serat rami. Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengidentifikasi orientasi serat rami yang dipadukan dengan *hollow glass microsphere-epoxy* terhadap kekuatan mekanis. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian kekuatan tarik yang mengahsailkan kekuatan tarik terbesar ada pada orientasi serat lurus dengan nilai 1,89 Kgf/mm², sedangkan kekuatan tarik terendah pada orientasi serat anyaman yaitu dengan nilai 0.81 Kgf/mm². Dalam hal ini menandakan orientasi serat lurus mengindikasikan bahwa patahan yang terbentuk merupakan patahan getas atau tunggal, yang terjadi akibat adhesi kuat antara matriks dan serat, mengakibatkan nilai ketahanan tarik yang tinggi. Pada pengujian kekuatan impact didapatkan harga impact terbesar pada orientasi serat lurus dengan harga sebesar 0,0307 Joule/mm² dengan energi yang diserap sejumlah 3,066 Joule, sedangkan untuk harga impact terkecil ada pada orientasi serat acak dengan nilai sebesar 0,0168 Joule/mm² dengan jumlah energi yang diserap yaitu 1,687 Joule. Pada pengujian SEM orientasi serat lurus memiliki ikatan matriks paling teratur akan tetapi tampak ada rongga udara (void) dan patahan (crack) sedangkan analisis EDX menunjukkan kandungan Karbon (C) sebesar 67,495 %, Oksigen (O) yang mencapai 30,407% .

Kata kunci : Komposit, HGM-EPOXY, Orientasi, Uji Tarik, Uji Impact, SEM EDX

ABSTRACT

Composites are the result of combining two or more different types of materials. The use of composites aims to achieve superior mechanical properties when compared to the characteristics of the materials that make them up. In this study using a composite made of hollow glass microsphere-epoxy as a matrix with hemp fiber reinforcement. This research was conducted with the aim to determine the potential orientation of hemp fiber combined with hollow glass microsphere-epoxy on mechanical strength. The test carried out in this study was the tensile strength test which produced the greatest tensile strength in the straight fiber orientation with a value of 1.89 Kgf/mm², while the lowest traction strength was in the woven fiber orientation with a value of 0.81 Kgf/mm². In this case, indicating the orientation of the straight fibers indicates that the fracture that occurs is a brittle fracture or a single fracture, which is caused by the bond between the matrix and the fiber being strong and making the tensile strength value large. In the impact strength test, it was found that the largest impact value was in the straight fiber orientation with a price of 0.0307 Joule/mm² with absorbed energy of 3.066 Joules, while the smallest impact value was in the random fiber orientation with a value of 0.0168 Joule/mm² with a total the absorbed energy is 1.687 Joules. In the SEM test the fiber orientation has the most regular matrix bonds but there are voids and cracks, while the EDX analysis shows a Carbon (C) content of 67.495%, Oxygen (O) which reaches 30.407%.

Keywords : Composite, HGM-EPOXY, Orientation, Tensile Test, Impact Test, SEM EDX

PENDAHULUAN

Saat ini, keberadaan tren signifikan dalam kemajuan teknologi material yang berkaitan dengan pengembangan bahan komposit. Bahan komposit merupakan hasil gabungan beberapa jenis material yang memiliki karakteristik yang berbeda. Biasanya, salah satu jenis material berperan sebagai matriks atau pengisi, sementara jenis lain berfungsi sebagai penguat atau reinforcement. Fungsi utama dari material komposit yang diperkuat dengan serat adalah memberikan peningkatan kekuatan tarik (tensile strength) dari bahan komposit tersebut. Salah satu contoh serat yang sering digunakan serat rami dengan keunggulan yang terletak pada tingkat kekuatannya yang tinggi, berkisar antara 3-9 gr/denier.

Orientasi serat dalam komposit juga memiliki dampak yang penting terhadap sifat mekaniknya. Penelitian menunjukkan bahwa orientasi serat berpengaruh pada kekuatan tarik, dengan orientasi tertentu memberikan hasil terbaik. Penggunaan matriks epoxy dalam komposit juga merupakan pilihan yang umum karena memiliki kekuatan yang baik dan dapat diadaptasi sesuai kebutuhan. Hollow Glass Microspheres (HGM) adalah bahan pengisi ringan yang sering digunakan dalam pembuatan matriks komposit serat. Matriks komposit serat adalah jenis material yang terbuat dari serat yang diperkuat (seperti serat karbon, serat stek, atau serat aramid) yang terjalin dalam matriks yang lebih lemah, seperti polimer atau logam. Penggunaan HGM dalam matriks komposit serat dapat memberikan beberapa manfaat tertentu. Penggunaan HGM dalam matriks komposit serat juga dapat mempengaruhi sifat mekanis, termal, dan elektrik dari komposit tersebut.

Dalam penelitian ini, tujuannya adalah untuk menguji kekuatan bahan komposit Hollow Glass Microsphere-Epoxy yang diperkuat dengan serat rami. Akan ada variasi orientasi serat yang diuji untuk mengevaluasi kemampuan bahan komposit dalam menahan beban tarik dan kejut. Metode pengujian akan melibatkan pengujian kekuatan tarik dan kekuatan impact, serta pemanfaatan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk analisis lebih mendalam.

Tempat dan Waktu Penelitian

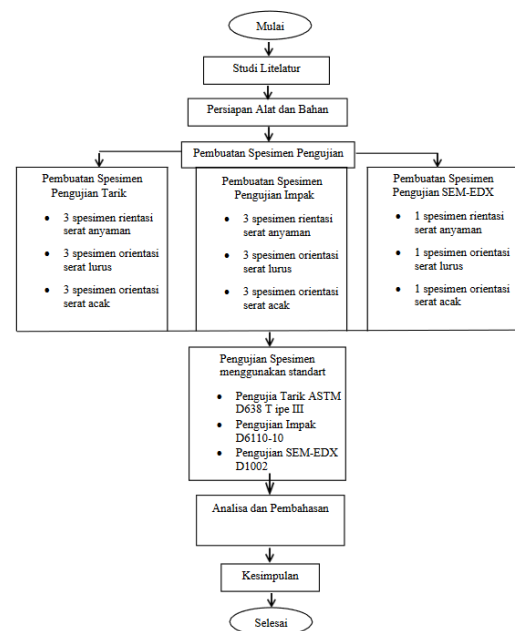
- **Tempat Penelitian**
Pembuatan spesimen uji dilaksanakan di bengkel pungkas komposit. Untuk pengujian kekuatan tarik dan impact dilakukan di Laboratorium Material Institut Teknologi Nasional Malang, Sedangkan untuk pengujian SEM/EDX dilakukan di laboratorium bio sains Universitas Brawijaya.
- **Waktu Penelitian**
Pada penelitian ini dimulai pada bulan maret sampai agustus 2023.

Variabel Penelitian

- **Variabel Bebas**
 - Orientasi Serat Anyaman
 - Orientasi Serat Lurus
 - Orientasi Serat Acak
- **Variabel Terikat**
 - Uji Kekuatan Tarik
 - Uji Kekuatan Impact
 - Uji scanning electron microscope (SEM)
- **Variabel Terkontrol**
 - HGM IM30K, Epoxy dan Hardener
 - Serat Rami

METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir



Prosedur Pengujian

- **Pengujian Kekuatan Tarik**
Pengujian tarik digunakan untuk mengungkapkan karakteristik mekanis suatu bahan dalam merespons gaya tarik. Parameter mekanis yang diidentifikasi meliputi batas elastis, kekuatan tarik, modulus elastisitas. Standar yang digunakan dalam pengujian ini yaitu ASTM D638 Tipe III



Gambar 1. Mesin Uji Tarik

- **Pengujian Kekuatan Impact**
Pengujian kekuatan impact adalah suatu metode uji yang digunakan untuk mengevaluasi sejauh

mana sebuah bahan dapat menahan gaya tumbukan atau benturan. Standar yang digunakan adalah ASTM D1001-01.



Gambar 2. Mesin Uji Impak

- **Pengujian SEM/EDX**
 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilaksanakan dengan tujuan memahami struktur mikro atau morfologi sebuah bahan dalam skala mikro/nano dan untuk mengukur komposisi unsur bahan secara kuantitatif. Standar yang digunakan yaitu ASTM D1002.



Gambar 3. Mesin Uji SEM/EDX

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

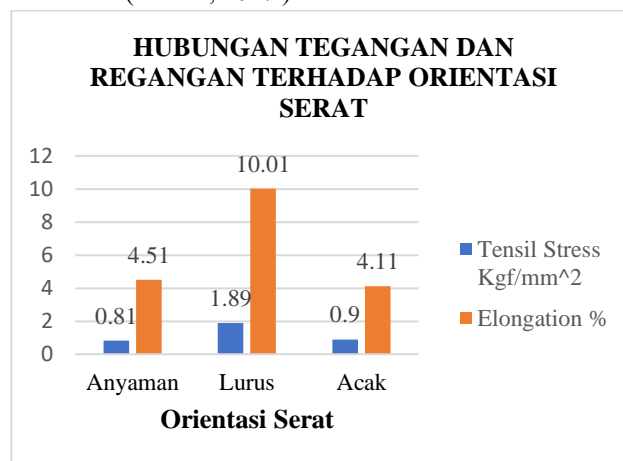
Berikut ini adalah informasi tentang hasil pengujian kekuatan tarik yang telah dilaksanakan di laboratorium pengujian material Institut Teknologi Nasional Malang.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

NO	Orientasi	Spesimen	Area (mm ²)	Max Force (Kgf)	0.2 Y.S (Kgf/mm ²)	Tensile Strength (Kgf/mm ²)	Elongation
1	Anyaman	A	190	194	0,3	1,02	6,48
2		B	190	161	0,85	0,85	3,70
3		C	190	107	0,3	0,56	3,35
Rata-Rata				154	0,48	0,81	4,51
1	Lurus	A	190	388	1,37	2,04	10,75
2		B	190	333	1,40	1,76	8,5
3		C	190	357	1,45	1,88	10,80
Rata-Rata				359,33	1,40	1,89	10,01
1	Acak	A	190	139	0,23	0,73	3,4
2		B	190	181	0,95	0,95	4,6
3		C	190	195	1,02	1,02	4,35
Rata-Rata				171,66	0,73	0,9	4,11

Hasil dari analisis data uji kekuatan tarik material komposit HGM-Epoxy dengan serat rami dan variasi formasi orientasi serat, yaitu anyaman, lurus, dan acak,

menunjukkan bahwa nilai mekanik material untuk setiap formasi filler serat menghasilkan karakteristik mekanik yang berbeda. Perbedaan ini disebabkan oleh sifat unik dari masing-masing orientasi serat. Meskipun fraksi massa serat yang digunakan memiliki perbandingan yang serupa, variasi dalam orientasi serat pada tiap spesimen menyebabkan perubahan dalam nilai sifat mekanik. Selain itu, ikatan antara matriks dan serat juga dapat mempengaruhi nilai sifat mekanik, namun perbedaan dalam orientasi serat pada setiap spesimen mengakibatkan variasi dalam kekuatan ikatan tersebut. Grafik perbandingan rata-rata Tensile Strength yang ditampilkan dalam Gambar 4.4 merupakan hasil dari pengujian tarik ini. Tensile Strength adalah berat atau beban maksimal dalam suatu tegangan yang dapat ditahan oleh material sampai akhirnya patah atau terjadi deformasi (I Ketut, 2017.)



Gambar 2. Grafik hubungan rata-rata tensile strength dan Elongation terhadap Orientasi Serat

Berdasarkan informasi yang terdapat dalam gambar grafik 4.2 mengenai hubungan antara kekuatan tarik rata-rata dan elongasi terhadap orientasi serat, dapat disimpulkan bahwa orientasi serat anyaman memiliki kekuatan tarik paling rendah dibandingkan dengan orientasi serat lainnya. Pada orientasi serat anyaman, kekuatannya mencapai 0,81 Kgf/mm² dengan elongasi sebesar 4,51%. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan oksigen (O) dalam serat anyaman, yaitu sebanyak 37,801%, yang mempengaruhi kekuatan mekaniknya. Kandungan oksigen yang tinggi ini menyebabkan adanya cacat seperti rongga udara (void) dan retakan (crack) pada matriks. Patahan yang terjadi adalah getas, karena spesimen uji orientasi serat anyaman patah dan terbagi menjadi dua bagian yang disebabkan oleh kurangnya ikatan antara matriks dan serat. Pada saat komposit dikenai tegangan tarik, matriks mengalami retakan dan serat terlepas dari matriks. Hal inilah yang mengakibatkan kekuatan tarik bernilai rendah sementara nilai regangan menjadi tinggi.

Di sisi lain, orientasi serat lurus memiliki kekuatan tarik tertinggi di antara semua orientasi serat, yaitu sebesar 1,89 Kgf/mm², dengan elongasi sebesar 10,01% orientasi serat lurus juga memiliki kandungan oksigen

yang lebih rendah, yakni sekitar 30,407%, dan kandungan karbon yang tinggi, yaitu sekitar 67,495%. Dalam hal ini menandakan orientasi serat lurus menunjukkan bahwa patahan yang terjadi adalah patahan getas atau patah tunggal, yang diakibatkan karena ikatan antara matriks dan serat kuat dan menjadikan nilai kekuatan tariknya besar (Paundra., 2022).

Sementara itu, orientasi serat acak memiliki kekuatan tarik sekitar 0,9 Kgf/mm² dengan elongasi sebesar 4,11%. Pada orientasi acak terjadi *fiber pull out* atau *debonding* yang disebabkan oleh kurangnya ikatan antara matriks dan serat. Ketika komposit dikenai tegangan tarik, matriks mengalami retakan dan serat terlepas dari matriks. Hal inilah yang mengakibatkan rendahnya nilai kekuatan tarik sementara nilai regangannya tinggi

2 Hasil Pengujian Kekuatan Impact

Di bawah ini terdapat data yang berasal dari pengujian kekuatan impact yang dilaksanakan di laboratorium pengujian material Institut Teknologi Nasional Malang..

Tabel 2. Data Pengujian Impact

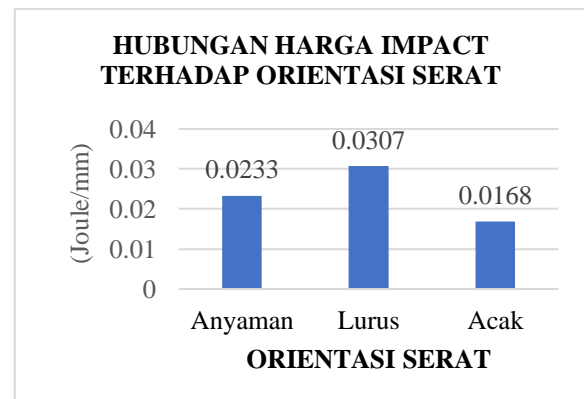
Spesimen Komposit Orientasi Serat Anyaman					
Spesimen	A° (mm ²)	α ($^{\circ}$)	β ($^{\circ}$)	Energi (Joule)	HI (Joule/mm)
A	100	45	39	2,2283	0,0222
B	100	45	39	2,2283	0,0222
C	100	45	38	2,5784	0,0257
Rata-rata				2,345	0,0233

Spesimen Komposit Orientasi Serat Lurus					
Spesimen	A° (mm ²)	α ($^{\circ}$)	β ($^{\circ}$)	Energi (Joule)	HI (Joule/mm)
A	100	45	36,5	3,0559	0,0309
B	100	45	36	3,2469	0,0324
C	100	45	37	2,8968	0,0289
Rata-rata				3,066	0,0307

Spesimen Komposit Orientasi Serat Acak					
Spesimen	A° (mm ²)	α ($^{\circ}$)	β ($^{\circ}$)	Energi (Joule)	HI (Joule/mm)
A	100	45	40	1,8781	0,0187
B	100	45	41	1,4961	0,0149
C	100	45	40,5	1,6871	0,0168
Rata-rata				1,687	0,0168

Hasil analisis data uji impact pada komposit HGM-Epoxy yang menggunakan serat rami sebagai penguat

dengan variasi orientasi filler serat telah diproses. Grafik perbandingan rata-rata nilai impact yang terdapat dalam Gambar 3 menampilkan hasilnya. Nilai impact (HI) mengukur perbandingan antara energi yang diperlukan untuk mematahkan bahan (E) dengan luas penampang retakan setelah pemberian takikan.



Gambar 3. Hubungan antara nilai rata-rata impact dengan orientasi serat

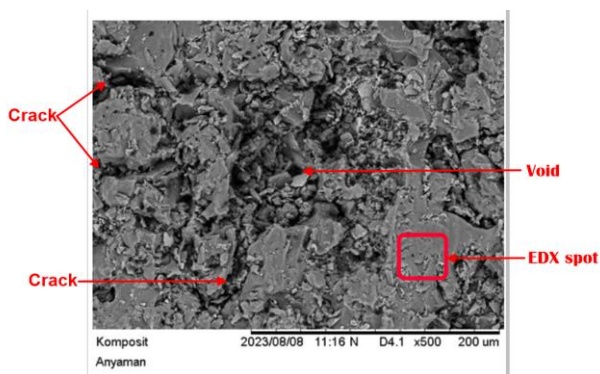
Gambar grafik 3 menggambarkan hubungan antara nilai rata-rata impact dengan orientasi serat. Pada spesimen orientasi serat anyaman nilai rata-rata impact adalah 0,0223 Joule/mm² dan energi yang diserap adalah 2,345 Joule, pengaruh orientasi yang mampu menyerap energi impact karena beban yang kejut yang dialirkan. Kemudian untuk orientasi serat lurus nilai rata-rata impact 0,0307 Joule/mm² dengan energi yang diserap mencapai 3,066 Joule. Ini didukung juga dengan kandungan karbon dalam matriks orientasi serat lurus yaitu sebesar 67,495%. Sedangkan pada orientasi serat acak nilai rata-rata impact sebesar 0,0017 Joule/mm² dengan energi yang diserap sebesar 1,687 Joule dimana ini berbanding terbalik dengan orientasi serat lurus dimana orientasi serat acak menyerap energi impact paling kecil sehingga menunjukkan orientasi serat acak kurang tangguh dalam menahan beban impact.

Pernyataan ini sesuai dengan teori yang ada yaitu Semakin tinggi energi yang diperlukan oleh sebuah bahan untuk mengalami kerusakan, semakin kuat ketangguhan bahan tersebut. (Achmad Syarifudin Anwar., 2022).

Perbedaan tegangan rata-rata dalam komposit bisa dijelaskan oleh beberapa faktor, seperti distribusi yang tidak merata baik dalam kekuatan komposit maupun distribusi serat yang tidak seragam. Akibatnya, energi yang diserap oleh komposit menjadi berkurang. Adapun jenis patahan yang terjadi dalam komposit ini adalah patahan getas, sesuai dengan penelitian sebelumnya (Pramuko I Purboputro, Juli 2006).

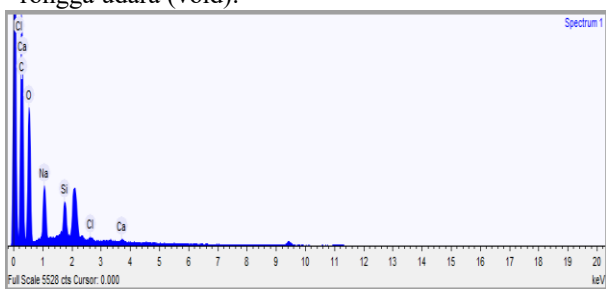
Hasil Pengujian SEM EDX

- **Data hasil SEM Orientasi serat anyaman**



Gambar 4. Hasil pengujian SEM orientasi serat anyaman

Hasil pengujian SEM pada komposit dengan orientasi serat anyaman HGM-Epoxy dengan penguat serat rami dapat dilihat pada Gambar 4 dengan menggunakan perbesaran 500x, gambar di atas menggambarkan struktur ikatan matriks. Dari hasil pengujian SEM tersebut, terlihat bahwa ikatan antara matriks tidak terbentuk dengan sempurna. Hal ini terlihat dari adanya cacat yang berupa rongga udara (void) dan retakan (crack) pada matriks. Penyebab dari kondisi ini adalah karena proses pencampuran Resin Epoxy dengan Hollow Glass Microsphere (matriks) dilakukan terlalu cepat, sehingga distribusi campuran antara matriksnya tidak merata. Akibatnya, Hollow Glass Microsphere belum sempurna tercampur dengan resin epoxy, yang menyebabkan adanya gelembung yang kemudian mengakibatkan terbentuknya rongga udara (void) dan retakan (crack) dalam ikatan matriks. Dalam gambar 4.9 terlihat bahwa retakan (crack) lebih dominan daripada rongga udara (void).



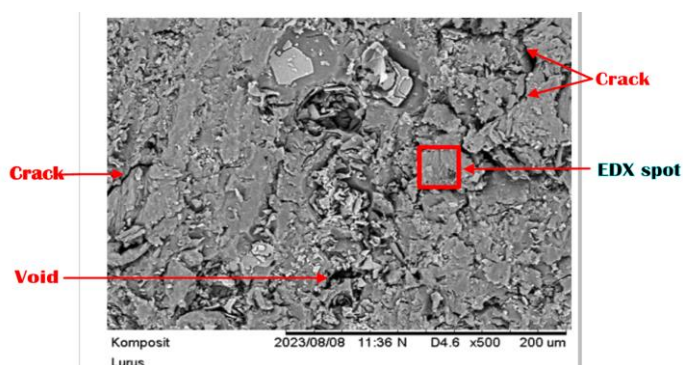
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	49.803	0.378	58.206
Oxygen	43.083	0.370	37.801
Sodium	4.506	0.086	2.751
Silicon	2.117	0.052	1.058
Chlorine	0.245	0.038	0.097
Calcium	0.246	0.041	0.086

Gambar 5. Grafik hasil pengujian EDX orientasi serat anyaman

Pada gambar 5 menggambarkan hasil dari tahap analisis garis EDX yang dilakukan selama proses pengujian berlangsung. Analisis garis ini difokuskan pada deteksi atom-atom butiran yang telah terdifusi ke wilayah substrat dari komposit. Seperti yang dicatat dalam tabel hasil analisis garis EDX, butiran yang mengalami difusi menunjukkan kandungan karbon sebesar 58.026%. Struktur atom ini berinteraksi dengan distribusi elektron graphene, yang menghasilkan sifat mekanik yang sangat kuat dan kestabilan kimia yang tinggi (Slepičková Kasálková ., 2021).

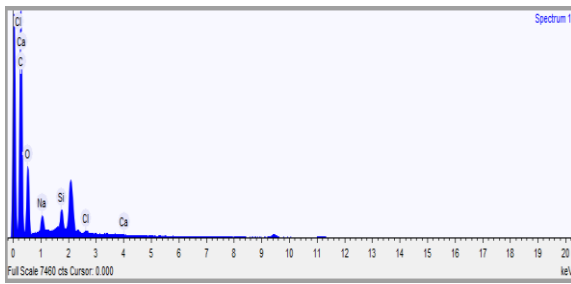
Adanya kandungan oksigen yang signifikan dalam orientasi anyaman yang mencapai 37.801%, adalah penyebab terbentuknya banyak retakan (crack) dan rongga udara (void) yang pada akhirnya mempengaruhi kekuatan mekanik dari komposit ini (Said., 2017)..

- **Data hasil SEM EDX Orientasi serat lurus**



Gambar 6. Hasil pengujian SEM orientasi serat lurus

Pada gambar 6 terdapat hasil uji SEM pada komposit orientasi serat anyaman HGM-Epoxy dengan penguat serat rami, yang diperbesar hingga 500x. gambar ini menunjukkan ikatan struktur matriks. Dalam hasil uji SEM komposit orientasi serat lurus tersebut menunjukan ikatan matriks teratur. Akan tetapi, tampak adanya titik-titik hitam yang menunjukkan adanya rongga udara (void) yang terbentuk dalam matriks. Dapat diamati bahwa terdapat ruang-ruang udara dan patahan (crack) yang terbentuk, dan hal ini memiliki dampak pada kekuatan komposit. Rongga udara (void) ini muncul akibat pada proses pembuatan spesimen yang dilakukan di ruang terbuka. Faktor ini, yang tidak bisa diabaikan karena menyebabkan adanya udara yang masuk selama proses laminasi antara matriks dan serat, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi nilai kekuatan mekanik dari komposit.

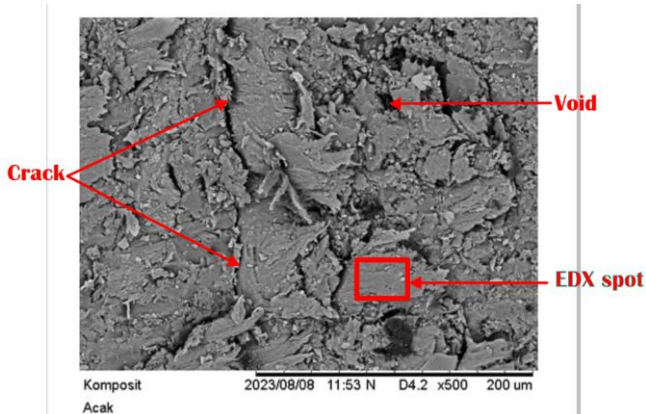


Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	59.960	0.383	67.495
Oxygen	35.981	0.383	30.407
Sodium	1.900	0.068	1.117
Silicon	1.658	0.051	0.798
Chlorine	0.313	0.041	0.119
Calcium	0.187	0.042	0.063

Gambar 7. Grafik hasil pengujian EDX orientasi serat lurus

Gambar 7 menggambarkan hasil dari tahap analisis garis EDX yang dilakukan selama proses pengujian berlangsung. Analisis garis ini difokuskan pada deteksi atom-atom butiran yang telah terdifusi ke wilayah substrat dari komposit. Seperti yang tertera dalam tabel hasil analisis garis EDX, butiran yang mengalami difusi menunjukkan kandungan karbon sebesar 67.495%. Dalam pengujian EDX orientasi serat lurus memiliki kadar oksigen (O) yang mencapai 30.407% merupakan persentase paling sedikit untuk kandungan oksigen dibandingkan dengan orientasi serat yang lain. Menjadikan pada ikatan matriks pada orientasi serat lurus terikat dengan sempurna dibandingkan ikatan matriks orientasi serat yang lain.

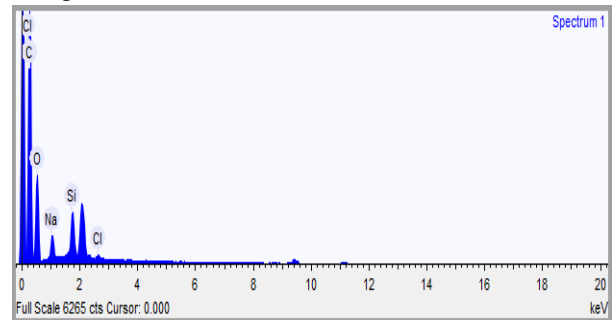
- **Data hasil SEM EDX Orientasi serat acak**



Gambar 8. Hasil pengujian SEM orientasi serat acak

Pada gambar 4.8 mengilustrasikan hasil uji SEM pada komposit orientasi serat acak HGM-Epoxy yang

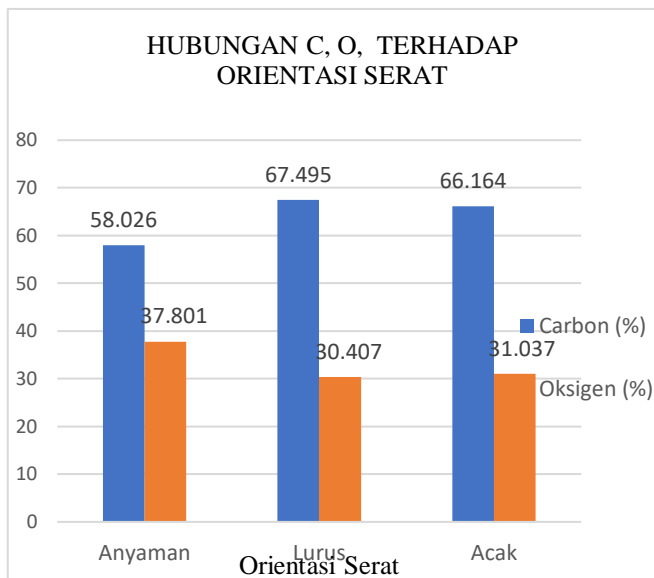
menggunakan serat rami sebagai penguat dengan perbesaran 500x, gambar tersebut menunjukkan ikatan struktur matriks. Dalam hasil uji SEM komposit orientasi serat lurus tersebut menunjukkan ikatan antar matriks rapat walaupun demikian tampak adanya patahan (crack) yang terbentuk dalam matriks dan titik-titik hitam yang menunjukkan adanya rongga udara (void) yang terbentuk dalam matriks. Hal ini yang menjadi salah satu faktor pada nilai kekuatannya. Terbentuknya patahan (crack) dan rongga udara (void) ini diakibatkan oleh adanya udara yang masuk kedalam matriks pada saat proses laminasi, dimana udara terperangkap dalam laminasi dan tidak mampu untuk dikeluarkan dan mempengaruhi dari sifat mekanik komposit.



Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	58.244	0.391	66.164
Oxygen	36.394	0.388	31.037
Sodium	2.121	0.068	1.259
Silicon	2.904	0.061	1.411
Chlorine	0.337	0.042	0.130

Gambar 9. Grafik hasil pengujian EDX orientasi serat acak

Gambar 9 menggambarkan hasil dari tahap analisis garis EDX yang dilakukan selama proses pengujian berlangsung. Analisis garis ini difokuskan pada deteksi atom-atom butiran yang telah terdifusi ke wilayah substrat dari komposit. Seperti yang tertera dalam tabel hasil analisis garis EDX, butiran yang mengalami difusi menunjukkan kandungan karbon (C) sebesar 66.164%. Dalam pengujian EDX orientasi serat acak memiliki kadar oksigen (O) yang mencapai 31.037% itu ditunjukkan pada gambar 4.14 dengan adanya patahan (crack) pada ikatan matriks dimana menjadikan ikatan matriks pada orientasi serat acak tidak terikat dengan sempurna.



Gambar 10. Grafik hubungan senyawa dalam matriks terhadap orientasi serat

Pada gambar grafik diatas, menampilkan hubungan antara senyawa di dalam suatu matriks dan orientasi serat. Yang pertama ada kandungan karbon, Karbon memiliki peran utama sebagai pengikat karena adanya unsur graphene dalam komposisinya yang memiliki sifat pengikatan. Semakin besar kandungan karbon (C) dalam matriks, semakin kuat pula ikatan matriksnya. Hal ini berlaku sebaliknya, jika kandungan karbon berkurang, kekuatan ikatan matriks juga akan menurun. Kandungan unsur karbon berasal dari komposisi dari matriksnya sendiri yaitu resin epoxy dan unsur senyawa selulosa, yang umumnya terdapat dalam serat rami. Pada orientasi serat anyaman, kadar karbon memiliki persentase sebesar 58,206%. Adanya kadar karbon ini menyebabkan ikatan antar matriks pada orientasi anyaman lemah. Pada orientasi serat lurus, kandungan karbon mencapai 67,495%, ini menunjukkan persentase tertinggi dari semua orientasi serat. Oleh karena itu, orientasi serat lurus memiliki ikatan matriks paling kuat. Sedangkan mengenai orientasi serat acak, kandungan karbon dalam matriksnya mencapai 66,164%, ini berarti meskipun terdapat retakan (crack) pada matriks, ikatan matriks pada orientasi serat acak tetap cukup kuat.

Dalam matriks komposit HGM-Epoxy dengan serat rami, terdapat juga kandungan oksigen (O) yang menjadi penyebab terbentuknya cacat pada komposit, seperti rongga udara (void) atau retakan (crack). Kandungan oksigen ini berasal dari proses pencetakan maupun proses pencampuran HGM-Epoxy (Matriks) kurang sempurna yang mengakibatkan terdapat udara berupa gelembung. Pada orientasi serat anyaman, terdapat kandungan oksigen dengan persentase sekitar 37,801%. Ini mengakibatkan munculnya titik-titik hitam yang merupakan rongga udara (void) dan retakan (crack). Kadar oksigen pada orientasi serat anyaman ini merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan orientasi serat lainnya. Kemudian, persentase kadar oksigen pada

orientasi serat lurus sekitar 30,407%. Ini berarti bahwa cacat berupa rongga udara (void) dan retakan (crack) pada orientasi serat lurus tidak terlalu banyak, karena kadar oksigen pada orientasi ini paling rendah dibandingkan orientasi lainnya. Di orientasi serat acak, cacat yang terbentuk pada ikatan matriks cukup banyak, meskipun terdapat retakan (crack). Kandungan oksigen dalam orientasi ini mencapai sekitar 31,037. Variabilitas ini menciptakan rongga udara (void) di antara serat dan matriks. Dimensi (void) yang lebih kecil mengindikasikan adanya ikatan yang lebih kuat antara serat dan matriks, hal ini diperkuat oleh tingginya kekuatan spesimen. Di sisi lain, patahan yang lebih besar mengindikasikan ikatan yang lebih lemah, yang berakibat pada penurunan kekuatan spesimen. Hal tersebut yang mengakibatkan variasi dalam kekuatan setiap komposit.

KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian kekuatan tarik, terlihat bahwa orientasi serat memiliki dampak signifikan pada kekuatan tarik. Orientasi serat lurus komposit menghasilkan nilai kekuatan tarik paling tinggi, yakni $1,89 \text{ kgf/mm}^2$, dengan mampu menahan beban maksimal hingga $359,33 \text{ kgf}$ dan mengalami regangan sebesar 10,01%. Pada orientasi ini, terdapat pula kandungan karbon (C) paling tinggi, mencapai 67,495%. Sebaliknya, orientasi serat anyaman menghasilkan kekuatan tarik terendah, yakni sekitar $0,81 \text{ kgf/mm}^2$, dengan elongasi sebesar 4,51% dan kandungan oksigen (O) mencapai 37,801%. Beban maksimal yang dapat ditangani adalah sekitar 154 Kgf. Dalam pengujian kekuatan tarik komposit dengan berbagai orientasi serat, juga teramati bahwa Hollow Glass Microsphere memiliki dampak terhadap kekuatan tarik dari komposit penguat serat rami.
2. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tahan dampak, diperoleh nilai impact orientasi serat lurus sekitar $0,0307 \text{ Joule/mm}^2$ dengan kemampuan energi penyerapan mencapai $3,066 \text{ Joule}$. Semakin besar energi yang diperlukan oleh sebuah bahan untuk mengalami patah, semakin tinggi tingkat ketangguhan materi tersebut. Faktor ini diperkuat oleh kandungan karbon (C) dalam matriks orientasi serat lurus yang mencapai 67,495%. Sementara itu, pada orientasi serat acak, nilai rata-rata impactnya sekitar $0,0017 \text{ Joule/mm}^2$ dengan energi penyerapan sekitar $1,687 \text{ Joule}$. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa pada orientasi serat acak tidak mampu mentransfer beban impact secara efisien karena hanya ada satu titik tumpuan untuk menerima beban tersebut.
3. Berdasarkan hasil pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) pada perbesaran 500x, terlihat bahwa ikatan matriks pada orientasi serat lurus memiliki susunan yang paling kuat.

Namun, terlihat juga bintik-bintik hitam yang mengindikasikan adanya rongga udara (void). Hasil analisis garis Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) menunjukkan komposisi bahan dengan kandungan karbon (C) sekitar 67,495%, oksigen (O) mencapai 30,407%,

SARAN

Adapun saran dari peneliti ini untuk menyempurnakan penelitian yang akan datang sebagai berikut:

1. Pada saat pencampuran HGM-Epoxy usahakan dengan sempurna sehingga tidak menimbulkan gelembung yang bisa menyebabkan adanya void.
2. Penelitian berikutnya diharapkan dapat Penting untuk memperhatikan selama tahap pembuatan spesimen bahwa proses laminasi harus dilakukan dengan cermat dan rapat, sehingga menghindari terbentuknya ruang-ruang udara (void).
3. Penelitian berikutnya diharapkan dapat menggabungkan penggunaan komposit berbahan serat rami dengan komposit lain yang memiliki kekuatan lebih tinggi, serta mengadopsi metode yang lebih canggih guna menghasilkan komposit yang memiliki kualitas lebih unggul.

DAFTAR PUSTAKA

i ketut. (n.d.).

Paundra, F., Setiawan, A. D., Muhyi, A., Qalbina, F., Mesin, T., Teknologi, I., Alamat, S., Ryacudu, J. T., Huwi, W., Agung, K. J., Kabupaten, L., & Selatan, L. 35365. (2022). ANALISIS KEKUATAN TARIK KOMPOSIT HYBRID BERPENGUAT SERAT BATANG PISANG KEPOK DAN SERAT PINANG. *Journal Mechanical Engineering (NJME)*, 11(1).

Said, M., Fita, M. S., & Sugiarti, R. A. (2017). Sintesis senyawa poliol melalui reaksi hidroksilasi senyawa epoksi minyak jagung. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(3), 183–190.

Slepičková Kasálková, N., Slepička, P., & Švorčík, V. (2021). Carbon nanostructures, nanolayers, and their composites. In *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nano11092368>

ASTMD638,2005, Standard Test Methode for Tensile Properties of Plastics, American Society for Testing Materials, Philadelphia, PA

Kurniawan Robiansyah., Mochammad Arif Irfa'i. 2021. *Pengaruh Orientasi Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Serat Karbon Dengan Matriks Epoxy*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 09 No. 03 Universitas Negri Surabaya.

Ainur Rosyidin. 2021. *Pengaruh Jumlah Lapisan Dengan Penguat Serat Karbon Fiber Dan Resin 1011 Dengan Proses Vacuum Infusion*. (Skripsi Sarjana Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang).

Setyani, K., & Aryanti, N. (2019, September). Ramie, cotton, and rayon double ply combination composite for bullet proof vests body armor. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1295, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.

Saidah, A., Sri Endah, S., & Yos, N. (2018, November). Pengaruh Fraksi Volume Dan Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berbahan Serat Rami Epoxy Sebagai Bahan Alternatif Komponen Otomotif. In *Seminar Nasional Teknik Mesin* (Vol. 3, pp. 191-197).

Fahrizal Farikhin. 2016. *Analisa Scanning Electron Microscope Komposit Polyester Dengan Filler Karbon Aktif Dan Karbon Non Aktif* (Skripsi Sarjana Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta).