



Pengaruh Panjang Serat terhadap Kekuatan Tarik Fiber Metal *Laminate Composite*

Hanif Arsalan Dani Subekti^{1*}, Hilmi Iman Firmansyah²

^{1,2}Politeknik Negeri Malang, Indonesia

hanifarsalan17@gmail.com

Alamat: Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang,
Jawa Timur 65141

Korespondensi penulis: hanifarsalan17@email.com*

Abstract: *This study aims to evaluate the effect of ramie fiber length on the tensile strength of Fiber Metal Laminate (FML) hybrid composites. The background of this research is the saturation with the use of synthetic composite materials, which encourages the search for renewable materials to replace synthetic fibers. In this study, ramie fibers were immersed in a 6% NaOH solution before use, and the composite manufacturing process was carried out using the hand lay-up method. Annealed Aluminum 1100 was used as the laminating layer. The results of the study showed that the highest tensile strength was obtained in composites with a ramie fiber length of 5 cm, with a tensile strength of approximately 105 MPa. These findings indicate the potential of using ramie fibers as a sustainable and efficient alternative in FML hybrid composite applications.*

Keywords: *Fiber Metal Laminate; Hybrid Composite; Ramie*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh panjang serat rami terhadap kekuatan tarik material komposit hibrida Fiber Metal Laminate (FML). Latar belakang penelitian ini adalah tingkat kejenuhan dengan penggunaan material komposit sintetis yang mendorong pencarian material yang dapat diperbarui sebagai pengganti serat sintetis. Dalam penelitian ini, serat rami direndam dalam larutan NaOH 6% sebelum digunakan, dan proses pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode hand lay-up. Aluminium 1100 yang telah melalui proses annealing digunakan sebagai lapisan laminasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada komposit dengan panjang serat rami 5 cm, dengan kekuatan tarik sekitar 105 MPa. Temuan ini menunjukkan potensi penggunaan serat rami sebagai alternatif yang berkelanjutan dan efisien dalam aplikasi komposit hibrida FML.

Kata kunci: Fiber Metal Laminate; Hybrid Komposit; Rami

1. LATAR BELAKANG

Kejenuhan terhadap material logam merupakan hasil dari sejumlah keterbatasan yang telah lama menjadi perhatian dalam berbagai industri. Meskipun memiliki kekuatan mekanis yang baik, logam juga memiliki sejumlah keterbatasan signifikan, seperti densitas tinggi yang membuatnya cenderung berat. Dorongan untuk mencari solusi alternatif terhadap material logam ini telah mendorong pengembangan dan penelitian dalam material komposit, yang menawarkan keunggulan seperti kekuatan yang tinggi, ringan, ketahanan terhadap korosi, dan kemampuan pembentukan yang lebih baik. Komposit terbentuk dari gabungan dua atau lebih komponen yang berbeda secara fisik atau kimia untuk menghasilkan material dengan sifat unggul dibandingkan logam. Struktur komposit terdiri dari dua elemen utama: matriks, yang berfungsi sebagai media pengikat, dan penguat, yang menambahkan sifat mekanis tertentu pada komposit (Rokki et al., 2020).

Keunggulan utama dari komposit terletak pada kemampuannya menggabungkan berbagai sifat bahan untuk menciptakan material yang tidak mungkin dicapai oleh logam. Misalnya, kuat, ringan, tahan korosi, ekonomis dan sebagainya (Sujita, 2021). Terdapat berbagai jenis komposit, termasuk komposit sintetis seperti Carbon Fiber Reinforced Composite (CFRP) dan Glass Fiber Reinforced Composite (GFRP), serta komposit alami yang menggunakan bahan serat tanaman seperti rami, kapas, dan bambu (Sudirman et al., 2021).

Salah satu inovasi dalam material komposit adalah Fiber Metal Laminate (FML), yang menggabungkan serat yang diperkuat dengan logam untuk menciptakan struktur yang kuat dan ringan (Firmansyah et al., 2022). Penelitian ini berfokus pada penggabungan FML dengan komposit hibrid untuk menghasilkan material yang tidak hanya kuat dan ringan tetapi juga ramah lingkungan. Proses pembuatan FML melibatkan beberapa parameter kritis seperti kadar presentase NaOH, sudut serat, kekasaran permukaan logam, dan fraksi volume, yang mempengaruhi sifat mekanis material. Uji tarik dilakukan untuk menentukan ultimate tensile strength, yang merupakan informasi kunci dalam verifikasi desain dan pengembangan material FML, serta perbaikan berkelanjutan pada konstruksi

Dengan fokus pada pengaruh panjang serat rami terhadap kekuatan mekanis komposit, penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap yang ada dalam literatur mengenai optimasi parameter pembuatan FML dan komposit hibrida. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana panjang serat goni mempengaruhi kekuatan mekanis dari komposit, memberikan wawasan baru dalam desain material komposit yang lebih efisien dan inovatif.

2. KAJIAN TEORITIS

Daiane et al. (2012) melakukan penelitian yang mengevaluasi pengaruh perbandingan serat kaca dan rami serta panjang serat terhadap sifat mekanis komposit. Pengujian bending dan impact dilakukan untuk mengetahui bagaimana panjang serat dan rasio serat rami terhadap kaca mempengaruhi hasilnya. Hasil menunjukkan bahwa pada uji bending dengan rasio 75:25, tegangan tertinggi yang dicapai adalah sekitar 170 MPa, dan hal serupa juga diamati pada uji impact dengan nilai sebesar 1200 J/m untuk rasio yang sama.

Harun et al. (2016) meneliti pengaruh panjang serat terhadap kekuatan tarik pada komposit widuri polyester. Dalam penelitian ini, panjang serat yang diuji adalah 1 cm, 3 cm, dan 5 cm, dengan resin polyester sebagai matriksnya. Hasilnya menunjukkan bahwa

serat dengan panjang 5 cm menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 43,8 MPa, sedangkan kekuatan bending tertinggi dicapai pada serat dengan panjang 3 cm, yaitu sebesar 62,8 MPa.

Andi et al. (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh fraksi volume dan orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit. Dalam studinya, fraksi volume yang digunakan adalah 30%, 40%, dan 50% dengan orientasi serat pada sudut 0° dan 90° . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi terbaik diperoleh dengan orientasi serat pada sudut 0° dan fraksi volume 50%, menghasilkan tegangan tarik sebesar 248,677 MPa dan modulus elastisitas 8,3 GPa.

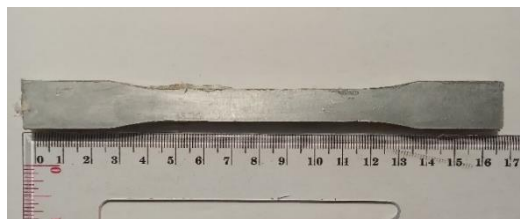
Cacat pada material komposit adalah ketidaksempurnaan atau kerusakan yang terjadi selama proses produksi, penggunaan, atau akibat paparan lingkungan, yang dapat mempengaruhi sifat mekanis dan performa keseluruhan material. Berikut adalah beberapa jenis cacat yang umum terjadi pada komposit:

1. Delaminasi adalah kondisi di mana terjadi kegagalan pada material komposit berstruktur lapisan akibat kurangnya ikatan antara serat dan matriks dalam komposit (Firmansyah et al. 2022). Kelemahan ikatan ini dapat mengakibatkan penurunan kekuatan komposit secara keseluruhan.
2. Void merupakan salah satu cacat yang umum dalam material komposit, berupa ruang kosong atau gelembung udara yang terperangkap dalam matriks selama proses manufaktur. Void terbentuk ketika udara atau gas tidak sepenuhnya keluar dari matriks resin selama proses impregnasi atau curing. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan terbentuknya void meliputi ketidakseimbangan suhu dan tekanan selama proses curing, kesalahan dalam penerapan resin, atau penggunaan teknik manufaktur yang kurang optimal, seperti laminasi manual atau infusi resin yang tidak terkendali dengan baik (Suresha, 2020).

Void dalam komposit memiliki dampak signifikan terhadap sifat mekanis dan fungsional material. Kehadiran void mengurangi luas penampang efektif yang dapat menahan beban, yang pada gilirannya mengurangi kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan kekakuan komposit. Sebagai contoh, ketika material komposit mengalami beban mekanis, area dengan void tidak dapat mendistribusikan tegangan secara merata, yang mengakibatkan konsentrasi tegangan di sekitar void dan dapat memicu timbulnya keretakan atau kegagalan material.

Material komposit dapat mengalami berbagai jenis kerusakan atau patahan (damage) akibat beban mekanis dan cacat manufaktur. Berikut adalah beberapa jenis kerusakan umum yang dapat terjadi pada komposit (Afzal, 2020):

1. Debonding adalah kondisi di mana terjadi pemisahan antara serat dan matriks dalam material komposit (Afzal, 2020). Dalam struktur komposit, serat bertanggung jawab untuk menahan beban utama, sementara matriks mendistribusikan beban tersebut ke serat dan melindunginya dari kerusakan mekanis serta lingkungan. Ketika debonding terjadi, ikatan antara serat dan matriks melemah atau terputus, mengakibatkan serat tidak lagi efektif dalam menahan beban. Ini dapat mengurangi kekuatan komposit secara keseluruhan dan meningkatkan risiko kegagalan struktural.
2. Matrix crack merujuk pada retakan yang terjadi di dalam matriks komposit. Matriks berfungsi mengikat serat-serat bersama, dan retakan pada matriks dapat timbul akibat tegangan berlebihan atau benturan (Afzal, 2020). Retakan ini bisa mulai dari permukaan komposit dan menyebar ke dalam, atau bisa juga muncul di dalam matriks dan berkembang seiring waktu. Matrix crack dapat mengurangi kemampuan komposit untuk menahan beban karena retakan ini mengganggu distribusi tegangan yang seharusnya dialihkan ke serat. Selain itu, matrix crack juga dapat menjadi jalur masuk bagi kelembapan atau bahan korosif, yang dapat mempercepat degradasi material.
3. Fiber pullout terjadi ketika serat dalam komposit terlepas dari matriksnya selama proses kegagalan material. Ini biasanya disebabkan oleh ikatan yang tidak cukup kuat antara serat dan matriks saat material menghadapi beban tarik atau geser yang tinggi (Rachmanto, 2019). Ketika serat terlepas, material kehilangan kemampuannya untuk menahan beban pada area tersebut, mengurangi kekuatan dan kekakuan komposit secara keseluruhan. Fiber pullout sering kali merupakan hasil dari kombinasi antara debonding dan matrix crack, di mana serat kehilangan dukungan dari matriks dan akhirnya tertarik keluar. Fenomena ini sering terlihat dalam pengujian tarik pada komposit dan menunjukkan kegagalan adhesi antara serat dan matriks.



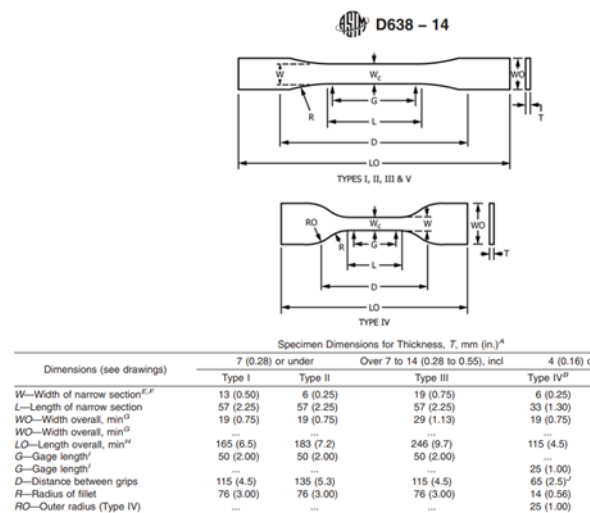
Gambar 1. Spesimen uji tarik komposit FML

Pengujian tarik adalah metode penting untuk menentukan kekuatan dan keuletan material komposit. Uji tarik dilakukan dengan menarik spesimen material sampai putus untuk mengukur kekuatan tarik dan regangan maksimum (Andretta, 2021). Kekuatan tarik (σ) dihitung dengan membagi beban maksimum (F) yang diterima oleh luas penampang awal (A) spesimen, dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad 1.1$$

Regangan (ϵ) dihitung sebagai perubahan panjang (ΔL) dibagi dengan panjang awal (L_0) spesimen:

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad 1.2$$



Gambar 2. Standar ASTM D638 untuk uji tarik

Pada Gambar 2, ditunjukkan bentuk spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASTM D638. Spesimen ini memiliki bentuk dogbone untuk memastikan kegagalan terjadi di bagian tengah, yang mengeliminasi efek dari pengaruh pegangannya. Standar ASTM D638 mengatur dimensi spesimen dan metode pengujian untuk memastikan konsistensi dan keakuratan hasil uji tarik.

3. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilaksanakan adalah penelitian kuantitatif dengan fokus pada uji tarik untuk menganalisis kekuatan tarik material.

Alat dan bahan penelitian yang digunakan meliputi serat ramie, fiber glass, plat aluminium 1100, NaOH 6%, epoxy, hardener, air aquades, mirror glaze, serta kertas amplas grit 80, 100, dan 120. Alat yang digunakan mencakup mold ASTM D638, gelas

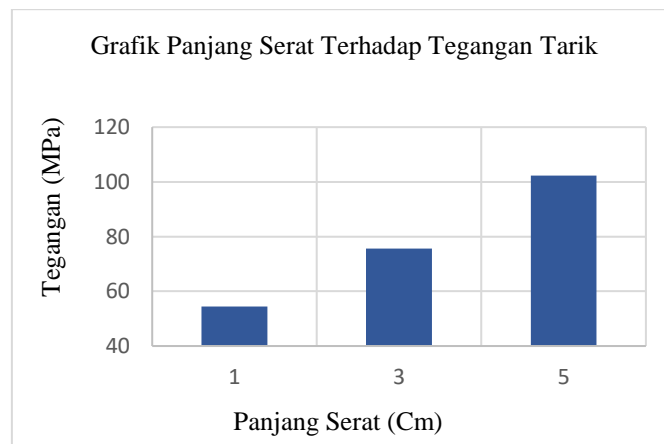
ukur, vernier kaliper, kuas, timbangan digital, gunting, mesin uji tarik, mesin poles, dan obeng.

Kerangka konsep penelitian menggambarkan hubungan antara variabel-variabel penelitian. Dalam setting peralatan penelitian, spesimen komposit dipasang pada mesin uji tarik dengan memastikan bahwa spesimen sesuai dengan standar. Penjepit yang sesuai digunakan untuk memastikan spesimen tercengkeram dengan kuat tanpa merusaknya. Selama proses uji tarik, beban yang sesuai dengan standar atau desain digunakan, sambil mencatat data deformasi, beban, dan tegangan tertinggi untuk dicatat dalam penelitian.

Metode pengambilan data dilakukan dengan mencatat hasil pengujian tarik berdasarkan panjang serat dan tingkat kekasaran permukaan. Data akan dicatat dalam tabel yang menunjukkan panjang serat, tingkat kekasaran permukaan, hasil pengujian tarik (ultimate tensile strength), dan regangan. Setelah pengujian, data dianalisis menggunakan perangkat lunak Minitab untuk mengetahui kekuatan tarik yang dipengaruhi oleh kekasaran permukaan dan fraksi volume. Semua data yang dikumpulkan akan dibahas dalam pembahasan dan lampiran.

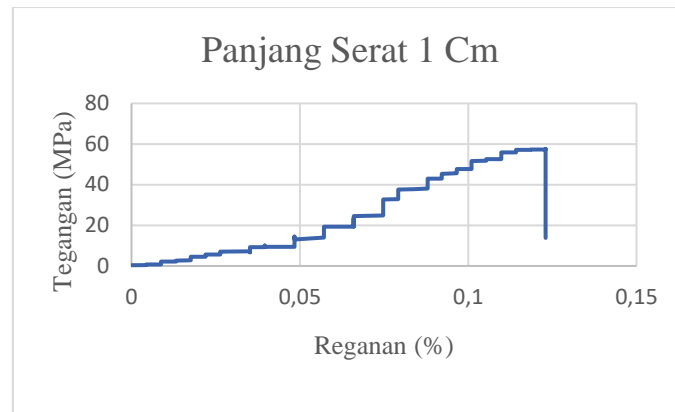
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengujian tarik dari komposit fiber metal laminate didapat hasil seperti gambar berikut:



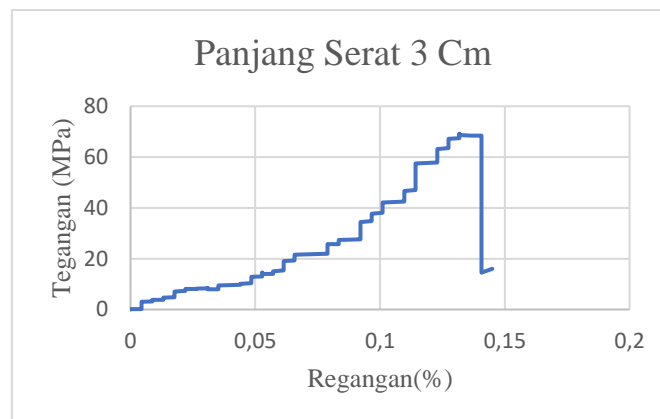
Gambar 3. Diagram panjang serat terhadap tegangan tarik

Panjang serat dalam komposit memainkan peran penting dalam menentukan kekuatan tarik material. Dalam penelitian ini, serat rami dipotong menjadi tiga panjang berbeda—1 cm, 3 cm, dan 5 cm—untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kekuatan tarik komposit hibrida Fiber Metal Laminate (FML).



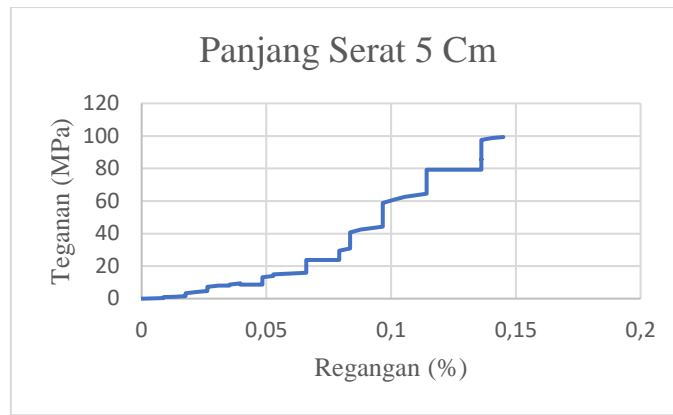
Gambar 4. Tegangan dan Regangan Panjang Serat 1 cm

Serat dengan panjang 1 cm biasanya memberikan adhesi yang baik dengan matriks resin, tetapi karena jumlah serat yang terlibat dalam penyerapan beban relatif kecil, kekuatan tarik cenderung lebih rendah. Serat pendek mungkin tidak mampu mendistribusikan beban secara efektif, mengakibatkan fraktur lebih awal dan penguatan yang kurang optimal.



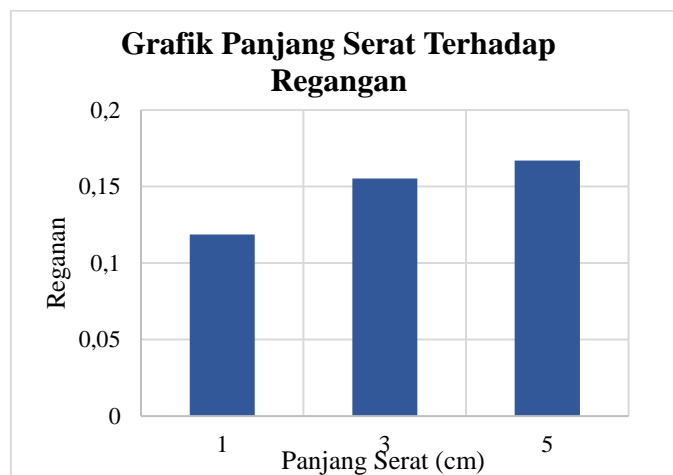
Gambar 5. Tegangan dan Regangan Panjang Serat 3 cm

Serat dengan panjang 3 cm memberikan keseimbangan antara kekuatan dan distribusi beban. Panjang ini memungkinkan beban didistribusikan secara merata di seluruh komposit, mengurangi konsentrasi tegangan dan meningkatkan kekuatan tarik material. Serat dengan panjang 3 cm memberikan peningkatan kekuatan tarik yang signifikan dibandingkan dengan serat 1 cm, tetapi tidak seoptimal serat 5 cm.



Gambar 6. Tegangan dan Regangan Panjang Serat 5 cm

Serat dengan panjang 5 cm memberikan kekuatan tarik tertinggi. Panjang serat yang lebih besar memungkinkan distribusi beban yang lebih baik dan mengurangi konsentrasi tegangan. panjang ini cenderung meningkatkan kekuatan tarik secara keseluruhan.



Gambar 7. Regangan terhadap panjang serat

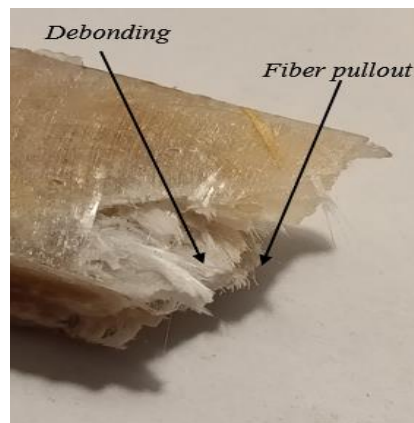
Gambar di atas menunjukkan hasil pengujian tarik komposit Fiber Metal Laminate (FML) dengan variasi panjang serat rami—1 cm, 3 cm, dan 5 cm—terkait dengan regangan maksimum yang dicapai oleh masing-masing sampel.

Data dan grafik pada gambar 4 mengindikasikan bahwa komposit dengan panjang serat 1 cm memiliki regangan maksimum yang relatif rendah dengan nilai sebesar 0,12. Serat yang lebih pendek cenderung tidak dapat menyebarkan beban secara efisien, mengakibatkan material mengalami fraktur lebih awal pada regangan yang lebih rendah. Hal ini mengurangi kemampuan komposit untuk mengalami deformasi sebelum mencapai kegagalan.

Pada grafik pada gambar 5, komposit dengan panjang serat 3 cm menunjukkan peningkatan regangan maksimum menjadi 0,14. Panjang serat ini memungkinkan distribusi beban yang lebih merata dan meningkatkan fleksibilitas komposit, yang mengarah pada regangan yang lebih besar sebelum material mengalami fraktur. Peningkatan regangan ini menunjukkan bahwa panjang serat menengah memberikan keseimbangan yang lebih baik antara kekuatan tarik dan kapasitas deformasi material.

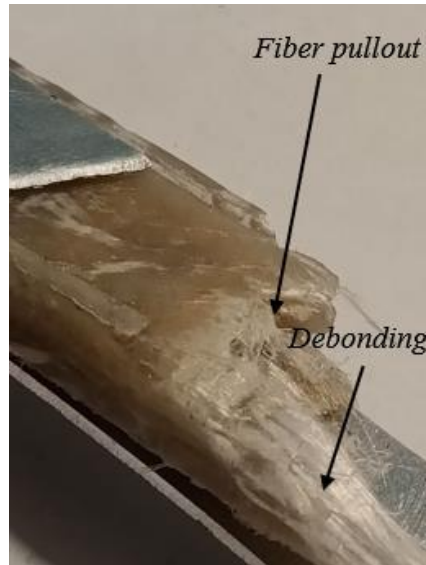
Pada grafik pada gambar 6, komposit dengan panjang serat 5 cm menunjukkan regangan maksimum tertinggi yaitu sebesar 0,16. Serat yang lebih panjang memberikan kekuatan tarik yang lebih besar dan kemampuan deformasi yang lebih tinggi, memungkinkan material menahan lebih banyak regangan sebelum mencapai kegagalan. Hal ini disebabkan oleh distribusi beban yang lebih efektif dan pengurangan konsentrasi tegangan.

Pada komposit dengan panjang serat 1 cm pada gambar 8 terdapat patahan fiber pullout dan debonding. Debonding pada komposit ini dapat menyebabkan lepasnya antara ikatan antara serat dan matrix yang mengakibatkan turunnya kekuatan dari komposit.



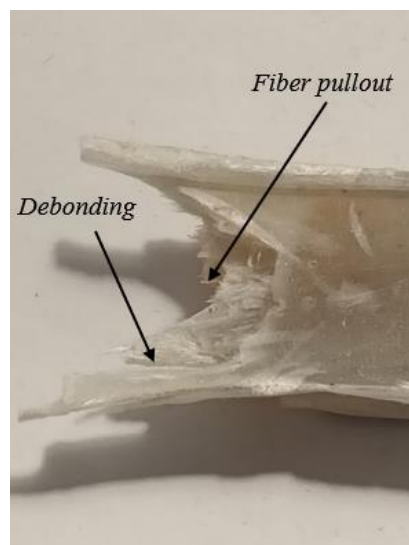
Gambar 8. Patahan specimen dengan panjang serat 1 cm

Pada komposit dengan panjang serat 3 cm pada gambar 9 terdapat patahan fiber pullout dan debonding. Debonding pada komposit ini dapat menyebabkan lepasnya antara ikatan antara serat dan matrix yang mengakibatkan turunnya kekuatan dari komposit.



Gambar 9. Patahan specimen dengan panjang serat 3 cm

Pada komposit dengan panjang serat 5 cm pada gambar 10 terdapat patahan fiber pullout dan debonding. Debonding pada komposit ini dapat menyebabkan lepasnya antara ikatan antara serat dan matrix yang mengakibatkan turunnya kekuatan dari komposit.



Gambar 10. Patahan specimen dengan panjang serat 5 cm

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang serat rami berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik komposit, dengan serat 5 cm menghasilkan kekuatan tarik tertinggi, sekitar 105 MPa. Ini menunjukkan bahwa serat yang lebih panjang dapat memberikan peningkatan kekuatan tarik material komposit dan menunjukkan bahwa panjang serat rami berpengaruh signifikan terhadap regangan maksimum komposit, dengan serat yang lebih panjang memungkinkan komposit untuk mengalami lebih banyak regangan sebelum mengalami fraktur. Temuan ini menekankan pentingnya memilih panjang serat yang sesuai untuk mencapai keseimbangan yang optimal antara kekuatan tarik dan kapasitas deformasi dalam aplikasi komposit.

DAFTAR REFERENSI

- Afzal. (2020). *Modeling of damage evolution of fiber-reinforced composite structure*. IntechOpen, 1-22.
- Andi Saidah, S. E. (2018). Pengaruh fraksi volume dan orientasi serat terhadap kekuatan. In *Seminar Nasional Teknik Mesin*.
- Daiane. (2012). Preparation and characterization of ramie-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Materials Research*, 15(4), 415-420.
- Habibie, S. (2021). Serat alam sebagai bahan komposit ramah lingkungan: Suatu kajian pustaka. *Jurnal Inovasi dan Teknologi Material*, 1(1), 1-9.
- Harun N. Beliu, Y. M. (2016). Analisa kekuatan tarik dan bending pada komposit Widuri - polyester. *LONTAR*.
- Hilmi Iman Firmansyah, A. P. (2018). Pengaruh mechanical bonding pada aluminium dengan serat. *Jurnal Rekayasa Mesin*.
- Hilmi Iman Firmansyah, W. M. (2022). Analysis of fiber metal composite shear strength using independent variables of fiber angle orientation and metal surface roughness. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, 11(1), 29-33.
- Rahmanto. (2019). Analisa kekuatan tarik dan impak komposit berpenguat serat kelapa dan tebu dengan perendaman NaOH dan menggunakan resin polyester. *Jurnal Teknologi Material*, 31(1), 31-40.
- Rokki. (2021). Analisa kekuatan bahan komposit yang diperkuat serat bambu menggunakan resin polyester dengan memvariasikan susunan serat secara acak dan lurus memanjang. *Science Journal of Mechanical Engineering*, 4(2), 28-34.
- Sujita. (2021). Karakteristik kekuatan tarik dan morfologi material komposit berpenguat serat pohon pisang saba dengan perlakuan kimia. *Jurnal Mekanik Terapan*, 17(1), 16-24.
- Suresha. (2020). Role of graphene nanoplatelets and carbon fiber on mechanical properties of composites. *Material Research Express*.