

Analysis of the Effect of Pressing Time Variation and Number of Carbon Fiber Layers in the Manufacturing Process of Composite Materials on Tensile Strength and Impact Properties

[Analisis Pengaruh Variasi Waktu Penekanan dan Jumlah Lapisan Carbon Fiber dalam Proses Pembuatan Material Komposit terhadap Karakteristik Kekuatan Tarik dan Impact]

Muhammad Rafi Nazarudin¹⁾, Mulyadi²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia.

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia.

*Email corresponding author: mulyadi@umsida.ac.id

Abstract. *This research investigates the influence of pressing time and the number of carbon fiber layers on the tensile and impact properties of composite materials. Composite specimens were manufactured using the hand lay-up technique combined with a pressing process to enhance surface finish and laminate consolidation. The studied parameters consisted of two levels of carbon fiber layers, namely 3 and 4 layers, along with pressing durations of 4 and 5 hours. Tensile tests were carried out following the ASTM D638 Type I standard to obtain maximum tensile strength, elastic modulus, and elongation at break, while impact performance was evaluated using the ISO 179-1 standard to measure impact energy and material toughness. The tensile test results reveal that an increase in the number of carbon fiber layers generally leads to higher maximum tensile strength, whereas variations in pressing time do not significantly affect tensile strength consistency. Specimens subjected to a 4-hour pressing time exhibited more stable tensile behavior than those pressed for 5 hours. Conversely, the impact test results indicate that longer pressing times and a greater number of layers substantially improve impact energy absorption and toughness. The optimum impact resistance was obtained from specimens pressed for 5 hours with four carbon fiber layers. Overall, the number of layers predominantly governs tensile strength, while the combination of extended pressing time and additional layers effectively enhances impact resistance.*

keywords; carbon fiber composite, pressing time, number of layers, tensile strength, impact resistance

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi waktu penekanan dan jumlah lapisan carbon fiber terhadap sifat mekanik material komposit, khususnya kekuatan tarik dan ketahanan impact. Spesimen komposit difabrikasi menggunakan metode hand lay-up yang dipadukan dengan proses penekanan (press) guna meningkatkan kualitas permukaan serta konsolidasi laminasi. Variasi parameter yang digunakan meliputi jumlah lapisan carbon fiber sebanyak 3 dan 4 lapisan, serta waktu penekanan selama 4 dan 5 jam. Pengujian tarik dilakukan mengacu pada standar ASTM D638 Type I untuk memperoleh nilai kekuatan tarik maksimum, modulus elastisitas, dan persentase perpanjangan, sedangkan pengujian impact dilakukan berdasarkan standar ISO 179-1 untuk menentukan energi impact dan ketangguhan material. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lapisan carbon fiber berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik maksimum, sementara variasi waktu penekanan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kestabilan kekuatan tarik. Spesimen dengan waktu penekanan 4 jam menunjukkan konsistensi hasil yang lebih baik. Pada pengujian impact, peningkatan waktu penekanan dan jumlah lapisan terbukti meningkatkan energi impact dan ketangguhan material, dengan kombinasi 5 jam penekanan dan 4 lapisan menghasilkan ketahanan impact tertinggi.*

Kata Kunci; komposit carbon fiber, waktu penekanan, jumlah lapisan, kekuatan tarik, impact

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri modern menuntut material dengan sifat mekanik superior, bobot ringan, serta ketahanan lingkungan tinggi, mendorong inovasi teknologi komposit di sektor penerbangan, otomotif, perkapalan, konstruksi, dan olahraga [1]. Material komposit menggabungkan serat penguat seperti carbon fiber twill weave dengan matriks resin polyester untuk menghasilkan kekuatan dan kekakuan lebih baik daripada komponen individual, di mana serat memberikan kekuatan tarik tinggi, ringan, tahan suhu ekstrem, dan korosi [2]. Namun, performa optimal bergantung pada parameter manufaktur seperti jumlah lapisan serat (peningkatan kekuatan tapi risiko distribusi resin tidak merata) dan waktu penekanan (curing singkat kurang polimerisasi, lama berisiko *over-curing* dan deformasi termal) [3].

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

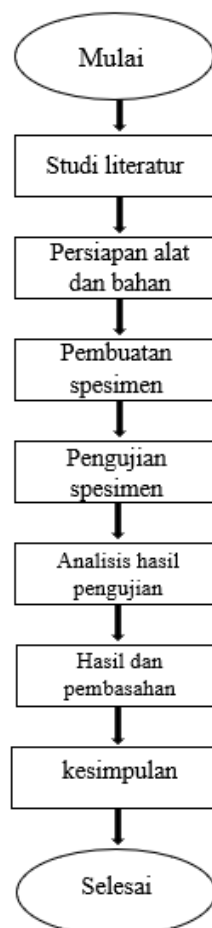
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Pengujian mekanik esensial mencakup uji tarik (ASTM D638-1) untuk kekuatan maksimum sebelum patah dan uji dampak (ISO 179-1) untuk penyerapan energi benturan, menentukan kelayakan aplikasi nyata dengan beban simultan [4]. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi waktu penekanan (4-5 jam) dan lapisan carbon fiber (3-4 lapis) pada komposit hand lay-up terhadap kekuatan tarik dan dampak, dengan rumusan masalah: (1) pengaruh terhadap uji tarik, (2) pengaruh terhadap uji dampak. Batasan mencakup carbon fiber *twill weave*, resin polyester, fokus uji tarik-dampak, standar ASTM/ISO, dan tebal total 3 mm tetap [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi waktu penekanan dan jumlah lapisan carbon fiber pada proses pembuatan material komposit terhadap nilai kekuatan tarik dan ketahanan dampak [6]. Secara lebih rinci, penelitian ini diarahkan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan waktu proses memengaruhi kekuatan tarik material komposit, serta menganalisis peran jumlah lapisan carbon fiber terhadap nilai kekuatan tarik yang diperoleh [7]. Selain itu, penelitian bertujuan untuk menilai dampak variasi waktu proses terhadap kekuatan dampak material komposit, sekaligus mengidentifikasi kontribusi jumlah lapisan carbon fiber dalam meningkatkan ketahanan dampak material tersebut [8]. Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan mampu menemukan kombinasi waktu proses dan jumlah lapisan carbon fiber yang paling optimal dalam menghasilkan karakteristik kekuatan tarik dan dampak terbaik, sehingga dapat dijadikan sebagai pedoman dalam proses produksi material komposit berbahan dasar carbon fiber [9].

II. METODE

Proses pembuatan spesimen komposit pada penelitian ini mengacu pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1 Diagram tersebut menggambarkan secara rinci tahapan yang dilaksanakan selama proses penelitian. Seluruh tahapan dilakukan secara sistematis dan berurutan dengan tujuan memperoleh spesimen komposit yang optimal serta meminimalkan kemungkinan terjadinya cacat selama proses pembuatannya..



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dan pengujian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin UMSIDA serta Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang dengan menggunakan metode hand lay-up. Penelitian diawali dengan studi literatur

yang berkaitan dengan komposit serat alami, khususnya penggunaan serat carbon fiber, guna memperkuat dasar teori dan mendukung pelaksanaan penelitian. Tahapan selanjutnya meliputi persiapan alat dan bahan, proses pembuatan spesimen, serta pengujian spesimen. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristik dan performa material komposit. Seluruh proses tersebut dilakukan secara berurutan hingga diperoleh kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan.

Pada proses pembuatan material komposit yang menggunakan metode dasar *hand lay up* serta di tambah dengan pemberian press saat pembuatan material komposit [10]. memiliki tujuan agar material komposit tersebut bisa Metode hand lay-up digunakan dalam penelitian ini untuk mengurangi potensi terjadinya kelemahan pada proses pembuatan spesimen, khususnya pada permukaan spesimen yang kurang rata. Dimensi spesimen yang digunakan adalah 18 cm × 2 cm dengan ketebalan 0,3 cm. Perhitungan fraksi volume dilakukan untuk menentukan volume carbon fiber dan resin yang digunakan berdasarkan persamaan berikut.

$$V_{total} = P \times L \times T \dots\dots\dots (1)$$

$$VCF = P \times L \times (n \times t^{CF}) \dots\dots\dots (2)$$

$$V_{resin} = V_{total} - VCF \dots\dots\dots (3)$$

$$V_{resin \text{ per lapisan}} = \frac{v_{resin}}{n} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- P = Panjang Cetakan (Mm)
- L = Lebar Cetakan (Mm)
- T = Ketebalan Total Spesimen (Mm)
- Tcf = Ketebalan 1 Lapis Carbon Fiber (Mm)
- N = Jumlah Lapisan Carbon Fiber
- Vtotal = Volume Total Spesimen (Mm³ Atau Ml)
- VCF = Volume Carbon Fiber (Mm³ Atau Ml)
- Vresin = Volume Resin (Mm³ Atau Ml)



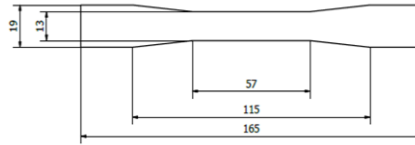
Gambar 2. Proses Pembuatan Spesimen

Komposisi material penyusun komposit pada penelitian ini menggunakan campuran resin sebesar 98,5% dan katalis sebanyak 1,5%. Sementara itu, proses pembuatan material komposit didukung oleh beberapa peralatan dan bahan yang digunakan sesuai dengan kebutuhan penelitian, sebagaimana dijabarkan pada bagian berikutnya.

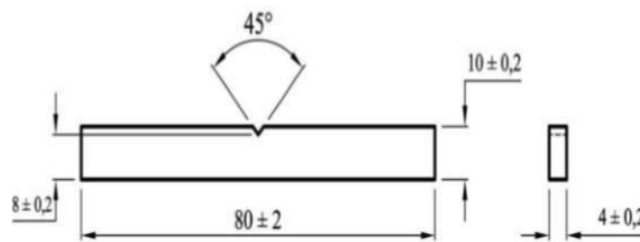
1. Carbon fiber
2. Resin
3. Katalis
4. Alat press Manual
5. Pva
6. Plat Besi ukuran 18cm x 2cm (cetakan)
7. Gelas ukur
8. Alat uji tarik dan uji impack

Penelitian ini melibatkan beberapa jenis pengujian dengan dua variasi perlakuan. Pengujian tarik dilakukan mengacu pada standar ASTM D638 Type I, sedangkan pengujian impak menggunakan standar ISO 179-1 [12]. Variasi

yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi variasi jumlah lapisan pada material komposit serta variasi waktu pengepresan pada proses pembuatan material komposit [13]. Pengujian tarik pada material plastik berdasarkan standar ASTM D638 bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik utama, seperti tegangan tarik, regangan, modulus tarik, dan kekuatan tarik [14]. Pengujian ini dilakukan menggunakan spesimen dengan ukuran 165 mm × 19 mm × 3,2 mm sesuai dengan standar ISO 179-1, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik ASTM D638 (Type I)



Gambar 4. Spesimen Uji impact ISO 179-1

Parameter proses pada pembuatan material komposit umumnya ditetapkan dalam beberapa tingkatan yang menggambarkan variasi kondisi atau nilai tertentu selama tahapan produksi berlangsung [15]. Dalam penelitian ini diterapkan dua tingkat parameter proses yang berbeda, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.1. Penentuan tingkat parameter tersebut mencakup berbagai variabel proses, antara lain suhu, tekanan, durasi pencampuran, kecepatan pengadukan, serta jenis material yang digunakan, yang disesuaikan dengan kebutuhan dan tujuan pembuatan komposit.

Tabel 2.1 Variasi Parameter Proses

No	Jumlah Layer	Waktu Penekanan (Jam)
1	3	4
2	3	4
3	3	4
4	4	5
5	4	5
6	4	5

Dengan ditetapkannya dua tingkat pada setiap parameter proses, penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen berupa desain faktorial. Pendekatan tersebut memungkinkan seluruh kombinasi parameter yang diterapkan dapat diuji secara menyeluruh. Berdasarkan dua level pada masing-masing parameter, diperoleh empat variasi perlakuan eksperimen yang berbeda, yaitu hasil dari kombinasi 2 × 2. Setiap variasi perlakuan tersebut dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh gabungan maupun pengaruh masing-masing parameter proses terhadap karakteristik akhir material komposit. Penentuan nilai hasil pengujian tarik dan pengujian impact selanjutnya dilakukan melalui perhitungan menggunakan persamaan yang digunakan dalam penelitian ini, sebagaimana dijelaskan pada bagian berikutnya.

$$\sigma = \frac{F_{Max}}{A_0} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana : σ = kekuatan tarik maks

F_{max} = nilai beban maksimum sebelum material putus

A_0 = luas penampang awal spesimen

Dan untuk menentukan hasil dari pengujian impak di gunakan rumus di bawah ini;

$$E = m \times g \times L (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \dots \dots \dots (6)$$

$$K = \frac{E}{A} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana : M = Massa Bandul (Kg)
 G = Gravitasi (9,81 M/S²)
 L = Panjang Lengan Bandul (M)
 Θ_1 = Sudut Awal
 Θ_2 = Sudut Akhir
 K = Ketangguhan (J)
 E = Energi Impak Yang Diserap Spesimen (Joule)
 A = Luas Penampang Efektif Di Bawah Takik (Mm² Atau Cm²)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut disajikan hasil pembuatan spesimen, proses pengujian, serta perhitungan pada pengujian tarik. Berdasarkan hasil perhitungan modulus elastisitas, diketahui bahwa spesimen 4 lapis(4L) 5jam (5J) menunjukkan nilai modulus tertinggi, sedangkan nilai modulus terendah diperoleh pada spesimen 3 Lapis (3L) 4 Jam (4jam).



Gambar 5. Hasil Pencetakan Material Komposit

Analisis Hasil Uji Tarik

Hasil pengujian tarik pada tabel 3.1 menunjukkan bahwa variasi jumlah lapisan dan waktu penekanan memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik komposit, khususnya kekuatan tarik maksimum, modulus elastisitas, dan persentase perpanjangan. Spesimen dengan 3 lapisan dan waktu penekanan 4 jam menghasilkan kekuatan tarik maksimum pada kisaran 137,89–145,44 MPa dengan nilai perpanjangan yang relatif rendah, yang mengindikasikan karakter material yang lebih kaku dan kurang ulet. Sebaliknya, peningkatan jumlah lapisan menjadi 4 lapisan serta perpanjangan waktu penekanan hingga 5 jam cenderung meningkatkan performa tarik material, dengan nilai kekuatan tarik maksimum mencapai 161,08 MPa dan persentase perpanjangan hingga 5,10%. Kondisi ini menunjukkan bahwa waktu penekanan yang lebih lama memungkinkan impregnasi resin yang lebih optimal dan memperkuat ikatan antarmuka antara serat dan matriks, sehingga distribusi beban tarik menjadi lebih merata. Secara keseluruhan, kombinasi jumlah lapisan yang lebih besar dan waktu penekanan yang lebih lama menghasilkan sifat tarik yang lebih seimbang antara kekuatan dan keuletan, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi struktural.

Tabel 3.1. Hasil pengujian tarik

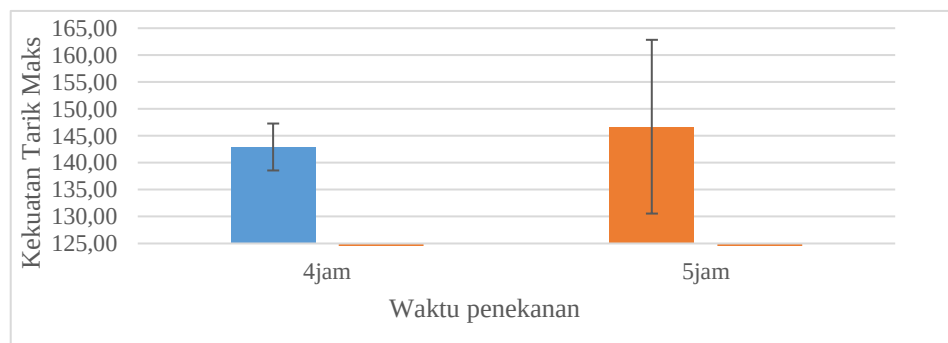
Spesimen	Jumlah Lapisan	Waktu Penekanan	Kekuatan Tarik Maks (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)	Persentase Perpanjangan (%)
1	3 Lapisan	4 jam	137,89	2,002	3,30
2	3 Lapisan	4 jam	145,44	0,805	2,70
3	3 Lapisan	4 jam	145,44	0,742	2,70
1	4 Lapisan	5 jam	129,24	0,994	5,10

Spesimen	Jumlah Lapisan	Waktu Penekanan	Kekuatan Tarik Maks (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)	Persentase Perpanjangan (%)
2	4 Lapisan	5 jam	149,77	0,777	3,61
3	4 Lapisan	5 jam	161,08	0,957	5,10



Gambar 6. Hasil Spesimen uji kekuatan tarik setelah di lakukan Pengujian

Hasil evaluasi visual pada gambar 6 terhadap spesimen uji tarik pasca-pengujian menunjukkan bahwa kegagalan material umumnya terjadi pada bagian tengah daerah ukur (*gauge length*). Kondisi ini menandakan bahwa pengujian tarik telah dilakukan secara tepat dan memenuhi ketentuan standar, karena patahan muncul pada area dengan konsentrasi tegangan tertinggi. Permukaan patahan yang tidak seragam, disertai dengan adanya fenomena *fiber pull-out*, menunjukkan bahwa mekanisme kegagalan material berkaitan erat dengan kualitas ikatan antarmuka antara serat dan matriks resin. Pada beberapa spesimen juga teramati adanya deformasi sebelum terjadinya patah, yang mengindikasikan bahwa material masih memiliki kemampuan untuk mengalami regangan plastis. Selain itu, spesimen dengan jumlah lapisan yang lebih banyak serta waktu penekanan yang lebih lama cenderung memperlihatkan pola patahan yang lebih berserat dan memanjang, yang mencerminkan peningkatan sifat keuletan akibat distribusi resin yang lebih homogen dan mekanisme transfer beban tarik yang lebih efektif.



Gambar 7 Grafik rata-rata kekuatan tarik dengan error bar (mean $\pm$ SD)

Pada gambar 7 grafik rata-rata kekuatan tarik dengan *error bar* (mean $\pm$ SD) memberikan gambaran mengenai pengaruh waktu penekanan terhadap performa mekanik komposit carbon fiber serta tingkat kestabilan hasil pengujiannya. Dari grafik terlihat bahwa spesimen dengan waktu penekanan 5 jam memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik yang sedikit lebih tinggi dibandingkan spesimen dengan waktu penekanan 4 jam. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan waktu penekanan berpotensi meningkatkan proses impregnasi resin dan konsolidasi lapisan serat, sehingga sebagian spesimen mampu menahan beban tarik yang lebih besar. Namun demikian, error bar pada variasi 5 jam terlihat lebih panjang, yang menandakan adanya penyebaran data yang cukup besar antar spesimen. Variasi ini mengindikasikan bahwa proses fabrikasi pada waktu penekanan 5 jam belum menghasilkan kualitas yang seragam, kemungkinan akibat distribusi resin yang tidak merata, terbentuknya void, atau perbedaan tingkat tekanan efektif selama proses penekanan.

Sebaliknya, pada spesimen dengan waktu penekanan 4 jam, *error bar* relatif lebih kecil yang menunjukkan tingkat variasi data yang rendah dan hasil pengujian yang lebih konsisten. Kondisi ini mengindikasikan bahwa waktu

penekanan 4 jam sudah cukup untuk membentuk ikatan antarmuka serat–matriks yang baik dan merata di seluruh spesimen. Kestabilan nilai kekuatan tarik pada variasi ini menunjukkan bahwa proses curing dan konsolidasi telah berlangsung secara optimal tanpa menimbulkan cacat internal yang signifikan. Berdasarkan pengamatan grafik, dapat disimpulkan bahwa penambahan waktu penekanan hingga 5 jam tidak secara langsung meningkatkan kualitas mekanik secara menyeluruh, melainkan hanya meningkatkan nilai maksimum pada beberapa spesimen dengan konsekuensi meningkatnya ketidakkonsistenan hasil. Oleh karena itu, waktu penekanan 4 jam dapat dianggap lebih efektif dalam menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik yang stabil dan dapat diandalkan.

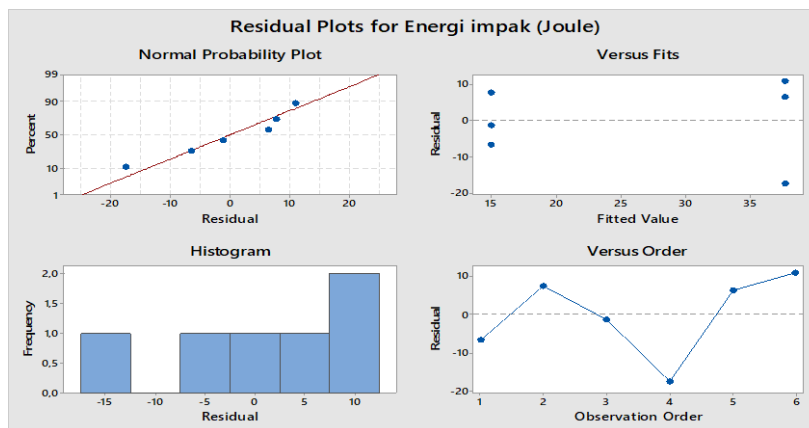
Analisis hasil uji impact

Sesuai dengan Tabel 3.2 Didapatkan hasil pengujian impact dengan nilai energi impact terbaik ada pada masing masing parameter yaitu spesimen 6 4L 5J dan 2 3L 4J.

Tabel 3.2 Hasil uji impact

Spesimen	Waktu Penekanan	Jumlah Lapisan	Energi Impact (Joule)	Ketangguhan (Joule/mm ²)
1	4 jam	3	8,4	10,50
2	4 jam	3	22,6	28,25
3	4 jam	3	13,7	17,13
4	5 jam	4	20,3	25,38
5	5 jam	4	44,3	55,38
6	5 jam	4	48,8	61,00

Hasil pengujian impact pada tabel 3.2 menunjukkan bahwa variasi waktu penekanan dan jumlah lapisan berpengaruh terhadap energi impact dan ketangguhan komposit. Pada spesimen dengan waktu penekanan 4 jam dan 3 lapisan, nilai energi impact dan ketangguhan yang diperoleh relatif lebih rendah, yang mengindikasikan bahwa proses impregnasi resin serta pembentukan ikatan antara serat dan matriks belum berlangsung secara optimal. Sebaliknya, peningkatan waktu penekanan menjadi 5 jam dengan jumlah 4 lapisan menghasilkan energi impact dan ketangguhan yang lebih tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa waktu penekanan yang lebih lama memungkinkan resin mengikat serat dengan lebih baik, sehingga distribusi beban impact menjadi lebih merata dan kemampuan material dalam menyerap energi benturan meningkat secara signifikan. hubungan linear positif antara durasi penekanan dengan energi impact komposit serat karbon menggunakan analisis regresi seperti pada gambar 8.



Gambar 8 Analisis Regresi Pengaruh Variasi Parameter Uji Impact

Analisis regresi pada Gambar 8 mengonfirmasi adanya hubungan linear positif antara durasi penekanan dengan energi impact komposit serat karbon. Secara mekanistik, fenomena ini didorong oleh peningkatan kualitas struktur mikro material; waktu penekanan yang lebih lama memberikan kesempatan bagi matriks resin untuk berpenetrasi lebih dalam ke celah filamen serat. Proses impregnasi yang lebih sempurna ini tidak hanya meminimalisir keberadaan rongga *mikro* (*void*), tetapi juga memperluas area kontak antarmuka (*interface*) antara serat dan matriks. Akibatnya, mekanisme transfer tegangan menjadi lebih efisien, di mana beban impact dapat didistribusikan secara merata ke seluruh jaringan serat, sehingga material mampu menunda inisiasi retak yang biasanya dipicu oleh titik konsentrasi tegangan pada porositas internal.

Peningkatan ketangguhan ini juga berkaitan erat dengan transformasi mekanisme kegagalan spesimen. Pada waktu penekanan yang singkat, material cenderung mengalami patah getas secara mendadak. Namun, seiring bertambahnya durasi penekanan, ikatan antarmuka yang lebih kuat memaksa terjadinya kegagalan bertahap (*progressive failure*). Penyerapan energi terjadi melalui proses yang lebih kompleks, meliputi disipasi energi saat terjadi debonding serat-matriks, fiber pull-out, serta delaminasi antar lapisan. Selain itu, pada spesimen dengan konsolidasi yang lebih baik, jalur perambatan retak menjadi lebih panjang karena hambatan di setiap antarmuka lamina. Kehadiran mekanisme fiber bridging dan delaminasi yang terkendali ini secara kolektif meningkatkan jumlah energi total yang diperlukan untuk mencapai kegagalan struktural sepenuhnya.

Secara keseluruhan, tren positif pada koefisien regresi mencerminkan keberhasilan proses konsolidasi laminat dalam memperbaiki integritas internal komposit. Pengurangan cacat struktur dan penguatan ikatan antar fase mengubah respons material dari perilaku getas menjadi lebih ulet dalam menyerap beban kejut. Dengan demikian, peningkatan waktu penekanan bukan sekadar variabel statistik, melainkan representasi dari optimalisasi mekanisme disipasi energi yang memperkuat ketahanan fraktur komposit serat karbon secara signifikan. Sedangkan untuk mengetahui kontribusi masing-masing faktor di gunakan analisis varian seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Analisis Varian

Sumber Variasi	DF	Seq SS	Kontribusi	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Waktu penekanan (jam)	1	786,6	57,88 %	786,6	786,6	5,50	0,079
Error	4	572,5	42,12%	572,5	143,1		
Total	5	1359,1	100,00%				

Hasil analisis variansi menunjukkan bahwa waktu penekanan memberikan kontribusi sebesar 57,88% terhadap variasi energi dampak komposit serat karbon. Meskipun nilai P-value sebesar 0,079 belum memenuhi taraf signifikansi 5%, tren peningkatan sifat mekanik pada waktu penekanan 5 jam sangat jelas. Hal ini menunjukkan bahwa durasi penekanan yang lebih lama meningkatkan impregnasi resin, menurunkan void, serta memperkuat ikatan antar lapisan sehingga energi serap retak meningkat secara signifikan.

VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi waktu penekanan dan jumlah lapisan carbon fiber berpengaruh terhadap sifat mekanik material komposit. Peningkatan jumlah lapisan carbon fiber terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap kenaikan kekuatan tarik, karena mampu meningkatkan kemampuan material dalam menahan dan mendistribusikan beban secara lebih merata. Sementara itu, variasi waktu penekanan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan kekuatan tarik, namun berperan penting dalam meningkatkan ketahanan dampak material. Waktu penekanan yang lebih lama memungkinkan proses impregnasi resin dan konsolidasi laminasi berlangsung lebih optimal, sehingga kemampuan material dalam menyerap energi benturan menjadi lebih baik. Secara keseluruhan, kombinasi parameter waktu penekanan dan jumlah lapisan yang tepat sangat menentukan performa mekanik komposit, khususnya dalam menghasilkan keseimbangan antara kekuatan tarik dan ketahanan dampak yang optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan banyak- banyak Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua atas doa dan dukungan yang tulus selama proses penyelesaian tugas akhir ini. Tak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua teman-teman seperjuangan yang telah membantu, dan saudari Anita Firdaus yang telah kebersamaan dan memberikan dukungan selama pengerjaan tugas akhir ini dari awal hingga selesai. Khususnya kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, saran, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.

REFERENSI

- [1]. Ageng, K. Selo, Riski Putra, I., & Sehonon. (2023). PENGEMBANGAN MATERIAL KOMPOSIT TAHAN PANAS DENGAN MENGGUNAKAN METODE 3D PRINTING DAN HAND LAY UP. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(1), 20–27. <https://doi.org/10.56521/Teknika.V9i1.773>
- [2]. Andira Mulia Siregar, M., Supriadi, S., & Nugroho, Y. S. (2014). *Penelitian Sifat Termal Dan Mekanik Komposit Serat Karbon*.
- [3]. Artanto Ampangallo, B., Manga, J., Tangaran, B., Pasau, K., Tikupadang, K., Kasa, A., Bachtiar, E., Rantererung, C. L., Salu, S., & Buku, A. (N.D.). *TEKNOLOGI MATERIAL Penulis ARSY MEDIA*. <https://arsymedia.com>
- [4]. Beliu, H. N., Pell, Y. M., Jasron, J. U., Jurusan, J., & Mesin, T. (2016). *Analisa Kekuatan Tarik Dan Bending Pada Komposit Widuri-Polyester*. <http://ejournal-fst-unc.com/index.php/LJTMU>
- [5]. Diana, L., Ghani Safitira, A., & Nabel Ariansyah, M. (2020). *Analisis Kekuatan Tarik Pada Material Komposit Dengan Serat Penguat Polimer*. 4(2), 59–67.
- [6]. Iman Firmansyah, H., Purnowidodo, A., & Arief Setyabudi, S. (2018). PENGARUH MECHANICAL BONDING PADA ALUMINIUM DENGAN SERAT KARBON TERHADAP KEKUATAN TARIK FIBER METAL LAMINATES. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 9, Issue 2).
- [7]. Jurusan, D., Mesin, T., Dedhe, O. :, & Putra Susila, J. (N.D.). *PENGARUH SERAT KARBON TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TOPOGRAFI PADA KOMPOSIT BERMATRIKS POLYESTER BQTN 157 Effect Of Carbon Fiber On Mechanical And Topographic Properties Of BQTN 157 Polyester Matrix Composites Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Diploma IV Program Studi Teknik Mesin Dan Manufaktur*.
- [8]. Khoiri, A., Naimatul Jannah, S., & Cahya Listiana, S. (2017). *IMPACT DAN TENSILE TEST MATERIAL BANGUNAN RUMAH (TELAH KONSEP MODULUS YOUNG DAN DEFORMASI)*. <https://www.academia.edu>
- [9]. Kurniawan, N. A., Setiawan, F., & Sofyan, E. (2022). PENGUJIAN TARIK KOMPOSIT SPESIMEN CAMPURAN SERAT PISANG ALUR DIAGONAL DAN PASIR BESI DENGAN MATRIK RESIN POLYESTER DENGAN METODE HAND LAY-UP. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2), 281–288. <https://doi.org/10.56521/Teknika.V8i2.657>
- [10]. Maryanti, B. (2011). Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik A. As'ad Sonief 2). In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 2, Issue 2).
- [11]. Oleh. (N.D.). *PENGARUH VARIASI BERAT FILLER KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA TERHADAP STRUKTUR DAN KEKUATAN TARIK KOMPOSIT PUBLIKASI ILMIAH*.
- [12]. Saidah, A., Susilowati, S. E., & Nofendri, Y. (2018). PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT TERHADAP KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT SERAT JERAMI PADI EPOXY DAN SERAT JERAMI PADI RESIN YUKALAC 157. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 5(2), 96–101. <https://doi.org/10.21009/Jkem.5.2.7>
- [13]. Sunu Purwohadi, D. (2025). Pengaruh Variasi Waktu Dan Jumlah Lapisan Fiberglass Dalam Proses Pembuatan Material Komposit Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk Dan Kerataan Permukaan. *Rekayasa Energi Manufaktur Jurnal* |, 10(1), 2528–3723. <https://doi.org/10.21070/Rem.V10i1.1760>
- [14]. Supriyadi, R. A., Setyowati, V. A., Rosidah, A. A., Studi, P., Mesin, T., Industri, T., Adhi, T., & Surabaya, T. (N.D.). *Pengaruh Jumlah Layer Dan Orientasi Sudut Filler Karbon Pada Polymer Matrix Composite Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact*.
- [15]. Yasa Utama, F., Zakiyya, H., Teknik Mesin, J., Teknik, F., & Negeri Surabaya, U. (2016). PENGARUH VARIASI ARAH SERAT KOMPOSIT BERPENGUAT HIBRIDA FIBERHYBRID TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN DENSITAS MATERIAL DALAM APLIKASI BODY PART MOBIL. In *MEKANIKA* (Vol. 15, Issue 2).

Conflict of Interest Statement:

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