



PENGARUH LAMA CURING MATERIAL KOMPOSIT SERAT KARBON TERHADAP KEKUATAN MEKANIK DENGAN METODE PEMBUATAN KOMBINASI HAND LAY-UP DAN VACUUM BAGGING

Noval Fitra Yudha¹⁾, Sri Hastuti²⁾, R Faiz Listyanda^{3)*}

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

³⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

e-mail: novalfitrayudha@students.untidar.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan pada sektor transportasi seperti kecelakaan lalu lintas menjadi perhatian penting, salah satunya disebabkan oleh kondisi kendaraan yang kurang optimal dalam menyerap energi benturan. Oleh karena itu, dibutuhkan material alternatif yang ringan namun memiliki kekuatan mekanik tinggi, salah satunya yaitu komposit serat karbon untuk aplikasi bodi kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi lama waktu *curing* terhadap kekuatan tarik dan impak material komposit berbahan serat karbon. Material komposit menggunakan serat karbon 3K Twill 220 gsm dan resin epoksi dengan perbandingan resin : *hardener* (2:1). Proses pembuatan komposit dilakukan dengan kombinasi metode *Hand Lay-Up* dan *Vacuum Bagging*, serta variasi lama waktu *curing* 30 menit, 45 menit, dan 60 menit pada suhu 100°C. Pengujian kekuatan tarik mengacu pada standar ASTM D3039 dan pengujian impak *Charpy* mengacu pada ASTM E23. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen dengan waktu *curing* 60 menit sebesar 190,86 MPa. Pada uji impak, energi serap dan ketangguhan impak tertinggi diperoleh pada waktu *curing* 30 menit dengan nilai masing-masing 1,339 J dan 0,253 J/mm². Dengan demikian, waktu *curing* 60 menit memberikan kekuatan tarik maksimal, sementara waktu *curing* 30 menit unggul dalam ketangguhan impak. Penentuan lama waktu *curing* optimal perlu disesuaikan dengan kebutuhan karakteristik yang lebih spesifik.

Kata Kunci: Komposit serat karbon, *curing*, *hand lay-up*, *vacuum bagging*.

ABSTRACT

Issues in the transportation sector, such as traffic accidents, are partly caused by vehicles' poor ability to absorb impact energy. This highlights the need for lightweight materials with high mechanical strength, such as carbon fiber composites, for energy-efficient vehicle body applications. This study investigates the effect of curing time variations on the tensile and impact strength of carbon fiber composites made from 3K Twill 220 gsm carbon fiber and epoxy resin (resin:hardener ratio of 2:1). The composites were fabricated using Hand Lay-Up and Vacuum Bagging methods, with curing times of 30, 45, and 60 minutes at 100°C. Tensile tests followed ASTM D3039 and impact tests followed ASTM E23. The highest tensile strength 190,86 MPa was achieved at 60 minutes, For the impact test, the highest absorbed energy and impact toughness were achieved at 30 minutes of curing, with values of 1.339 J and 0.253 J/mm². Therefore, a curing time of 60 minutes provides maximum tensile strength, while a curing time of 30 minutes excels in impact toughness. The determination of the optimal curing time needs to be adjusted to the specific characteristic requirements.

Keywords: carbon fiber composite, *curing*, *hand lay-up*, *vacuum bagging*

1. Pendahuluan

Kecelakaan lalu lintas menjadi salah satu permasalahan utama dalam sektor transportasi yang berdampak signifikan terhadap keselamatan dan ekonomi. Data dari Kementerian Perhubungan menunjukkan bahwa sekitar 61% kecelakaan

disebabkan oleh faktor manusia, 9% oleh kondisi kendaraan, dan 30% oleh prasarana jalan [1]. Salah satu pendekatan untuk mengurangi dampak kecelakaan adalah melalui peningkatan keselamatan bodi kendaraan. Material bodi yang ringan namun mampu menyerap energi benturan secara efektif dapat mengurangi risiko fatal pada pengemudi dan penumpang [2].

Material komposit berbahan serat karbon menjadi solusi yang menjanjikan untuk aplikasi bodi kendaraan hemat energi. Komposit serat karbon terdiri dari dua komponen utama, yaitu matriks (resin epoksi) dan serat karbon sebagai material penguat [3]. Keunggulan utama komposit serat karbon dibandingkan dengan plat logam adalah bobotnya yang jauh lebih ringan. Penggantian aluminium dengan serat karbon dapat mengurangi bobot kendaraan hingga 50% [4]. Selain itu, komposit serat karbon memiliki kekuatan tarik dan konduktivitas listrik yang tinggi serta koefisien ekspansi termal yang rendah, sehingga sangat cocok untuk aplikasi otomotif yang menuntut performa tinggi dan stabilitas dimensi [5].

Penggunaan komposit serat karbon juga sejalan dengan upaya pengembangan kendaraan hemat energi dan ramah lingkungan, seperti yang dilakukan dalam proyek Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) oleh MERC Universitas Tidar. Penggunaan serat karbon pada bodi mobil tidak hanya meningkatkan kinerja kendaraan dengan mengurangi massa, sehingga akselerasi dan efisiensi bahan bakar meningkat. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh proses *curing* terhadap sifat mekanik komposit serat karbon menjadi penting untuk menentukan kondisi optimal produksi komposit yang memenuhi kebutuhan aplikasi otomotif. Material komposit merupakan bahan yang terdiri atas resin epoksi berfungsi sebagai matriks yang mengikat dan serat karbon sebagai penguat [6]. Proses *curing* adalah tahap penting dalam pembuatan komposit yang mempengaruhi ikatan antara matriks dan serat, serta struktur mikro komposit secara keseluruhan [7]. Lama waktu *curing* dan suhu *curing* memengaruhi tingkat polimerisasi resin, yang berdampak pada kekuatan tarik dan ketangguhan material [8].

Metode pembuatan komposit salah satunya adalah *Hand Lay-Up* dan *Vacuum Bagging*. *Hand Lay-Up* merupakan metode manual pelapisan resin dan serat, sedangkan *Vacuum Bagging* membantu menghilangkan gelembung udara dan meningkatkan kepadatan komposit [9]. Kombinasi kedua metode ini dapat menghasilkan material komposit dengan kualitas yang lebih baik. Variasi lama waktu curing, seperti 30, 45, dan 60 menit pada suhu 100°C, dapat menghasilkan perbedaan sifat mekanik yang signifikan, sehingga perlu dilakukan studi eksperimental untuk menentukan waktu *curing* optimal yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan tarik dan ketangguhan impak [10]. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan eksperimental terhadap pengaruh variasi waktu *curing* dengan kombinasi metode *Hand Lay-Up* dan *Vacuum Bagging*, yang belum banyak diteliti secara komprehensif, khususnya dalam konteks peningkatan performa mekanik komposit untuk aplikasi kendaraan hemat energi. Penelitian ini memberikan data eksperimental yang dapat menjadi referensi dalam menentukan parameter proses manufaktur komposit berbahan serat karbon.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain cetakan spesimen, pompa vakum, alat uji tarik dan alat uji impak.

2.2 Bahan

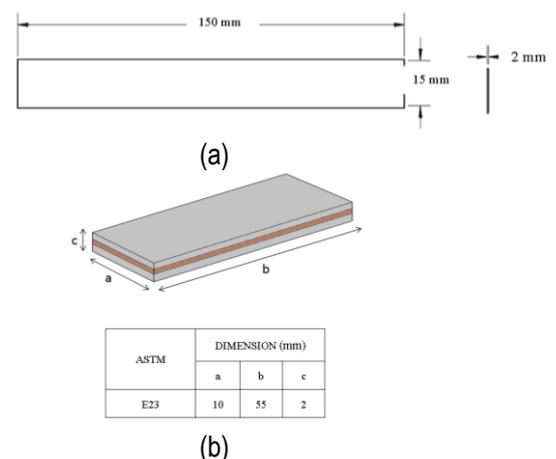
Bahan yang digunakan adalah serat karbon, resin epoksi dan *hardener* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Serat Karbon (a), Resin Epoksi dan Hardener (b)

2.1 Prosedur Penelitian

Spesimen dalam penelitian ini menggunakan serat karbon sebagai material penguat dan resin epoksi sebagai material pengikat, dengan metode pembuatan kombinasi *Hand Lay-Up* dan *Vacuum Bagging*. Proses dimulai dengan pemotongan serat karbon mengikuti bentuk cetakan dan diletakkan secara hati-hati ke dalam cetakan. Resin epoksi dicampur dengan *hardener* menggunakan perbandingan 2:1 dan diaduk merata selama 3 menit. Campuran resin kemudian dilapiskan secara merata pada lapisan serat karbon yang telah disusun di dalam cetakan. Proses pelapisan dilakukan hingga mencapai ketebalan sesuai standar. Setelah itu, cetakan dimasukkan ke dalam plastik vakum untuk dilakukan proses *vacuum bagging*. Setelah proses ini, spesimen dilepaskan secara perlahan dari cetakan untuk menghindari kerusakan. Spesimen yang telah dilepas kemudian dipanaskan (*curing*) di dalam oven pada suhu 100°C dengan variasi waktu *curing* masing-masing 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Setelah proses curing selesai, spesimen dipotong sesuai standar ASTM D3039 untuk pengujian tarik dan ASTM E23 untuk pengujian impak. Dimensi spesimen sesuai standar pengujian ASTM D3039 dan ASTM E23 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. ASTM D3039 (a), ASTM E23 (b)

3. Hasil dan Pembahasan

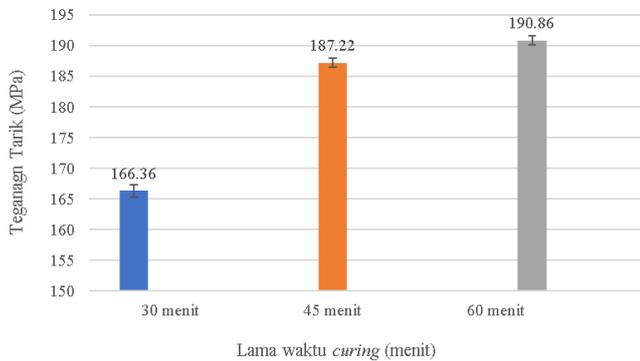
3.1. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan sebanyak 4 kali pada setiap variasi dan data yang diambil dari setiap variasi sebanyak 3 spesimen. Dari hasil pengujian tarik ini dihasilkan nilai tegangan tarik. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Pengujian Tarik

Variasi Curing (menit)	Rata-rata Tegangan Tarik (MPa)
30 menit	166.36
45 menit	187.22
60 menit	190.86

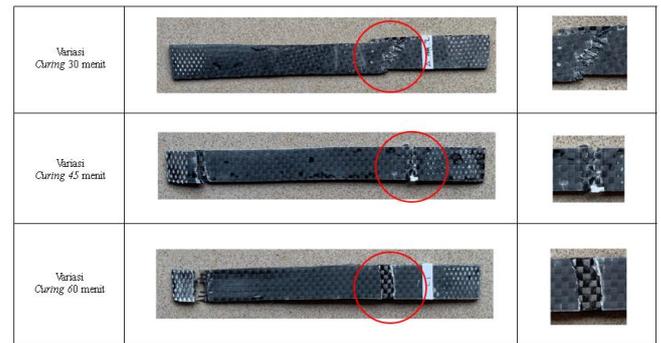
Dari hasil pengujian kemudian dihitung rata-rata pada setiap sampel dan disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 3.



Gambar 3. Nilai Tegangan Tarik

Nilai rata-rata tegangan tarik meningkat dari 166.36 MPa pada variasi lama waktu curing 30 menit menjadi 187.22 MPa pada variasi lama waktu curing 45 menit. Dapat dilihat bahwa peningkatan waktu curing berpengaruh terhadap nilai tegangan tarik. Tegangan tarik meningkat dari variasi lama waktu 30 menit ke 45 menit, dan mencapai nilai tertinggi pada 60 menit dengan nilai tarik sebesar 190.86 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan waktu curing cenderung meningkatkan kekuatan tarik komposit serat karbon. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pramono dkk., 2021 [11], yang menunjukkan bahwa peningkatan curing dapat meningkatkan ikatan antar serat dan matriks, sehingga meningkatkan kekuatan tarik komposit. Hasil ini juga sejalan dengan temuan Mouritz dkk., 2006 [12] yang menyatakan bahwa proses curing yang optimal akan meningkatkan ikatan antar serat dan matriks, sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi pada material komposit. Hasil patahan uji tarik dapat dilihat pada Gambar 4. Patahan uji tarik pada variasi curing 30 menit berjenis *fiber pull out* yaitu serat tertarik keluar dari matriks tanpa putus. Variasi curing 45 menit memiliki jenis patahan *matrix cracking* yaitu serat

mengalami kerusakan tanpa putus namun matriks terlihat pecah. Variasi curing 60 menit memiliki patahan berjenis *interface failure* yaitu pelepasan antara matriks dengan serat.



Gambar 4. Patahan sampel uji tarik

Variasi waktu curing berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik komposit serat karbon. Waktu curing optimal yang memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan tarik dan regangan selama 60 menit, karena material mampu menahan tegangan tarik terbesar. Namun, perlu diperhatikan bahwa peningkatan regangan juga dapat menunjukkan adanya kecenderungan material menjadi lebih elastis. Waktu curing yang optimal dapat meningkatkan kekuatan tarik, tetapi jika berlebihan dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik akibat *over-curing* [13]. Dalam penelitian ini, variasi waktu curing 60 menit memberikan tegangan tarik tertinggi.

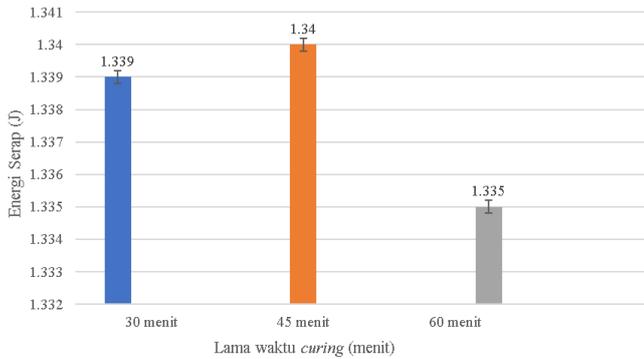
3.2. Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan sebanyak 4 kali pada setiap variasi dan data yang diambil dari setiap variasi sebanyak 3 spesimen. Dari hasil pengujian tarik ini dihasilkan nilai energi serap dan nilai ketangguhan impak. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Impak

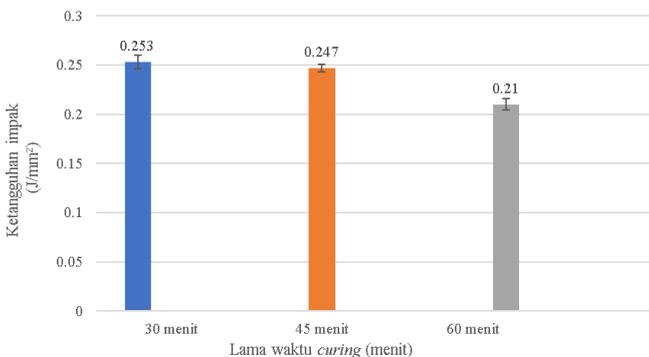
Waktu Curing (menit)	Rata-Rata Energi Serap (J)	Rata-Rata Ketangguhan Impak (J/mm ²)
30	1.339	0.253
45	1.340	0.247
60	1.135	0.21

Dari hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Nilai Energi Serap

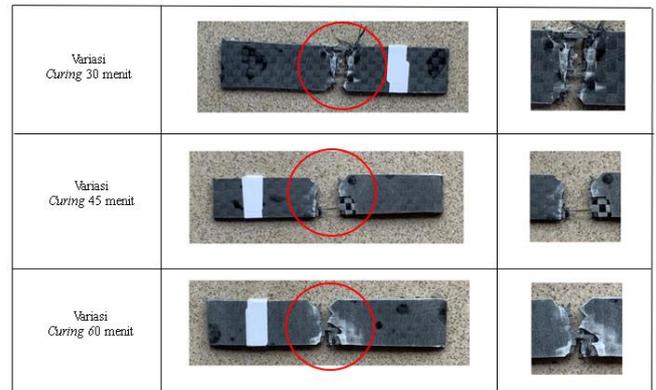
Berdasarkan hasil pengujian Impak Charpy yang ditampilkan dalam gambar 5, dapat diamati bahwa variasi lama waktu curing memiliki pengaruh terhadap energi serap material komposit serat karbon. Rata-rata energi serap tertinggi diperoleh pada spesimen dengan waktu curing 45 menit, yaitu 1.340 J, sedikit lebih besar dari variasi curing 30 menit dengan nilai 1.339 yang disebabkan oleh tingkat polimerisasi resin yang belum optimal pada durasi 30 menit. Pada waktu curing yang terlalu singkat, struktur jaringan polimer belum terbentuk secara sempurna. Hal ini menyebabkan efisiensi penyerapan energi benturan menjadi sedikit lebih rendah dibandingkan spesimen dengan curing 45 menit yang telah mencapai kondisi polimerisasi yang lebih stabil. Nilai energi serap terendah didapat pada spesimen dengan waktu curing 60 menit, yaitu 1,135 J. Fenomena ini disebabkan oleh proses *cross-linking* (ikatan silang) dalam resin yang mencapai titik optimalnya pada durasi tertentu. Penurunan energi serap pada spesimen dengan waktu curing 60 menit diduga akibat *over-curing*, yaitu kondisi di mana matriks menjadi lebih getas karena tingkat ikatan silang resin yang berlebihan, sebagaimana dijelaskan oleh Zafar dkk., 2012 [14]. Jika waktu curing diperpanjang tanpa kontrol yang tepat, resin dapat mengalami *over-curing*, yang mengakibatkan kerapuhan struktur matriks dan menurunkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan [15].



Gambar 6. Nilai Ketangguhan Impak

Nilai ketangguhan impak tertinggi terjadi pada variasi curing 30 menit dengan 0,253 J, sedangkan nilai ketangguhan impak terendah terjadi pada variasi curing 60 menit dengan 0,21 J. Nilai tertinggi pada variasi 30 menit

mengindikasikan bahwa spesimen pada waktu curing ini memiliki fleksibilitas dan deformabilitas yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh tingkat *cross-linking* resin yang belum terlalu tinggi, sehingga material tidak terlalu kaku atau getas. Temuan ini diperkuat oleh studi yang menyatakan bahwa peningkatan waktu curing dalam material komposit berbasis epoxy dapat menyebabkan resin menjadi lebih getas [16]. Penurunan ketangguhan impak pada curing 60 menit juga sesuai dengan kajian Richardson dkk., 1996 [17], yang menyebutkan bahwa peningkatan kerapuhan pada matriks akibat curing berlebih dapat menurunkan kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan. Pada suhu dan waktu curing yang terlalu lama, resin kehilangan fleksibilitasnya, yang menyebabkan penurunan ketangguhan impak. Selain itu, *over-curing* dapat menyebabkan peningkatan retakan mikro dalam struktur komposit [18]. Dalam eksperimen mereka, material dengan waktu curing lebih lama dari durasi optimal menunjukkan penurunan signifikan dalam ketangguhan impak, serupa dengan temuan dalam penelitian ini. Hasil patahan dapat dilihat pada Gambar 7. Pada pengujian impak charpy jenis patahan *fiber pull out* yaitu serat tertarik keluar dari matriks terjadi pada variasi curing 30 menit, sedangkan untuk variasi curing 45 menit dan 60 menit terjadi patahan berjenis *matrix cracking* dimana retakan terjadi pada matriks yang diikuti oleh patah serat.



Gambar 7. Patahan Uji impak Charpy

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi lama waktu curing terhadap sifat mekanik komposit serat karbon, maka kesimpulan yang dapat diambil untuk menjawab rumusan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum diperoleh pada spesimen dengan lama waktu curing 60 menit dengan nilai rata-rata 190.86 MPa.
2. Hasil uji impak charpy menunjukkan bahwa kombinasi energi serap dan ketangguhan impak tertinggi diperoleh pada spesimen dengan waktu curing 30 menit,

dengan nilai rata-rata energi serap sebesar 1,339 J dan ketangguhan impak sebesar 0,253 J/mm².

Ucapan Terimakasih

Peneliti memberikan apresiasi yang tinggi dan mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu proses penelitian secara maksimal hingga selesai.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Perhubungan. Tekan Angka Kecelakaan Lalu Lintas, Kemenhub Ajak Masyarakat Beralih ke Transportasi Umum dan Utamakan Keselamatan Berkendara (2021). <https://dephub.go.id/>. Diakses pada 20-02-2025
- [2] Afdhallano Kukup Restu Negoro, D., Setiawan, F., & Rizki Putra, I. (2023). Analisis Kekuatan Tarik Material Komposit Serat Karbon Dengan Metode *Vacuum Infusion* Dan *Vacuum Bagging*. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(1). <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i1.875>
- [3] Alamsyah, Hidayat Taufik, & Iskandar Nur Arif. (2021). Pengaruh Perbandingan Resin dan Katalis Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Fiberglass Polyester Untuk Bahan Pembuatan Kapal. <http://dx.doi.org/10.20956/zi.v1i2.10760>
- [4] Amirudin, M. U., & Nugroho, G. (2021). Sifat Mekanik Pipa Komposit Serat Gelas, Karbon Dan Karbon Kevlar Yang Dibuat Dengan Metode *Bladder Compression Molding*. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(3). <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i3.201>
- [5] Nisa, K. S., Melyna, E., & Samida, M. R. M. (2022). Sintesis Biokomposit Serat Sabut Kelapa dan Resin Poliester dengan Alkalisasi KOH Menggunakan Metode *Hand Lay-Up*. *Rekayasa*, 15(3), 354–361. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i3.16713>
- [6] Dhar Malingam, S., Subramaniam, K., Zulkefli Selamat, M., & Said, M. (2016). *A study on impact behaviour of a novel oil palm fibre reinforced metal laminate system*. <https://www.researchgate.net/publication/303137958>
- [7] Diana, L., Ghani Safitra, A., & Nabel Ariansyah, M. (2020). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer. 4(2), 59–67. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v4i2.754>
- [8] Dwi Supriono, A., Wicaksono, D., & Sehon. (2022). Analisa Kekuatan Polypropylene Dengan Campuran Hdpe Dan Serat Karbon Menggunakan Uji *Impact*. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2). <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.640>
- [9] Dwipayana I Made Agung. (2020). Analisa Uji Tarik Dan Uji Impak Komposit Penguat Karbon, Campuran Epoxy-Karet Silikon 30%, 40%, 50%, Rami, Kenaf Matrik Epoxy. <http://priyobaliyono.blogspot.com>
- [10] Efata Anugrah Harita. (2021). Karakteristik Sifat Mekanik Komposit Serat. <http://repository.polman-babel.ac.id>

- [11]. Pramono, G. E., Sutisna, S. P., Bogor, K., Soleh Iskandar Km, J. K. H., Badak, K., Sareal, T., & 16162, B. (2021). Perbandingan Karakteristik Serat Karbon Antara Metode Manual Lay-Up Dan Vacuum Infusion Dengan Penggunaan Fraksi Berat Serat 60%. <https://download.garuda.kemdikbud.go.id>
- [12] Mouritz, A. P., & Gibson, A. G. (2006). *Fire Properties of Polymer Composite Materials*. Springer Science & Business Media.
- [13] Sari, E. D. R., Respati, S. M. B., & Nugroho, A. (2020). Analisis Kekuatan Tarik Dan Bending Komposit Serat Karbon-Resin Dengan Variasi Waktu Curing Dan Suhu Penahanan 80 derajat. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 16(2). <https://doi.org/10.36499/mim.v16i2.3771>
- [14] Zafar, A., Bertocco, F., Schjødt-Thomsen, J., & Rauhe, J. C. (2012). *Durability of epoxy adhesive joints: Effect of moisture, temperature, and surface treatment*. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 38, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2012.04.007>
- [15] Nisa, K. S., Melyna, E., & Samida, M. R. M. (2022). Sintesis Biokomposit Serat Sabut Kelapa dan Resin Poliester dengan Alkalisasi KOH Menggunakan Metode *Hand Lay-Up*. *Rekayasa*, 15(3), 354–361. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i3.16713>
- [16] Richardson, M. O. W., & Wisheart, M. J. (1996). *Review of low-velocity impact properties of composite materials*. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 27(12), 1123–1131. [https://doi.org/10.1016/1359-835X\(96\)00074-7](https://doi.org/10.1016/1359-835X(96)00074-7)
- [17] Erlangga N, D. B., Setiawan, F., Dirgantara, T., & Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta, S. (2022). Eksperimen Pembuatan Komposit Berbahan Dasar Tanaman Mendong Menggunakan Metode *Vacuum Bagging* Terhadap Uji Tarik
- [18] Putra Susila, J. (2021). .22146/Jmdt.V3i1.57205 Putra Susila, J. (2021). Pengaruh Serat Karbon Terhadap Sifat Mekanik Dan Topografi Pada Komposit Bermatriks Polyester. <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i7.271>