



Analisis dan Uji Kekuatan Pukul Komposit Helm Ukuran Dewasa berbasis Ijuk Resin dengan Perendaman Alkali

Satria Ageng Gigih Santoso^{1*}, Syamsul Hadi², Prima Rifqi Firdaus³

^{1,3} Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang

² Program Studi Doktor Terapan Optimasi Desain Mekanik, Politeknik Negeri Malang

E-mail: syampol2003@yahoo.com¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id²

*Penulis Korespondensi: syampol2003@yahoo.com

Abstract. Indonesia is one of the countries with abundant availability of palm fiber composite, yet its application in advanced material technology remains limited. On the other hand, most motorcycle helmets available in the market are made from ABS plastic, which has limitations in impact energy absorption and may increase the risk of head injuries during accidents. This study aims to develop helmet composites based on palm fiber and epoxy resin by varying the fiber volume fractions (15%, 25%, and 35%) and alkali soaking durations (75, 150, 225, and 300 minutes). The impact strength test results showed that the combination of 35% fiber volume and 225-minute alkali soaking produced the highest specific impact energy (SIP) of 0.142 J/mm². As a comparison, SNI-compliant helmets made from ABS plastic only reached an EPS value of 0.00972 J/mm², indicating that palm fiber-based composite helmets could improve impact energy absorption efficiency by more than 14 times. The results conclude that increasing the fiber volume fraction and optimizing the alkali treatment duration significantly enhances the impact resistance, making ijuk-based composite helmets a promising alternative for safer and more eco-friendly protective gear.

Keywords: Alkali Immersion; Anova; Charpy Test; Impact Energy; Palm Fiber.

Abstrak. Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan ketersediaan serat ijuk komposit, namun penerapannya dalam teknologi material canggih masih terbatas. Di sisi lain, sebagian besar helm sepeda motor yang tersedia di pasaran terbuat dari plastik ABS, yang memiliki keterbatasan dalam penyerapan energi benturan dan dapat meningkatkan risiko cedera kepala selama kecelakaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan komposit helm berbasis serat ijuk dan resin epoksi dengan memvariasikan fraksi volume serat (15%, 25%, dan 35%) dan durasi perendaman alkali (75, 150, 225, dan 300 menit). Uji kekuatan pukul menunjukkan bahwa kombinasi fraksi volume serat 35% dan perendaman alkali selama 225 menit menghasilkan nilai Energi Pukul Spesifik (EPS) tertinggi sebesar 0,142 J/mm². Sebagai perbandingan, helm yang sesuai dengan SNI yang terbuat dari plastik ABS hanya mencapai nilai EPS 0,00972 J/mm², menunjukkan bahwa helm komposit berbasis serat ijuk dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi benturan lebih dari 14 kali lipat. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa peningkatan fraksi volume serat dan optimasi durasi perendaman alkali secara signifikan meningkatkan ketahanan benturan, menjadikan helm komposit berbasis serat ijuk sebagai alternatif yang menjanjikan untuk perlengkapan pelindung yang lebih safety dan ramah lingkungan.

Kata kunci: Anova; Energi Impak; Perendaman Alkali; Sabut Kelapa Sawit; Uji Charpy

1. LATAR BELAKANG

Indonesia memiliki potensi besar sebagai penghasil ijuk (*Arenga pinnata*) yang melimpah, namun pemanfaatannya dalam bidang rekayasa material masih sangat terbatas. Di sisi lain, helm sepeda motor yang umumnya berbahan plastik ABS masih mendominasi pasar, meskipun terbukti memiliki keterbatasan dalam menyerap energi benturan secara efektif. Hal tersebut menyebabkan perlindungan terhadap kepala pengendara belum optimal, dan cedera kepala tetap menjadi penyebab utama kematian dalam kecelakaan lalu lintas (Wahyudi & Yuono, 2017). Oleh karena itu, diperlukan inovasi material alternatif berbasis serat alam seperti ijuk, yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga mampu meningkatkan kemampuan serap

energi helm melalui pengembangan komposit serat ijuk dengan resin sebagai matriks pengikat. Helm merupakan bagian dari perlengkapan kendaraan bermotor berbentuk topi pelindung kepala yang berfungsi melindungi kepala pemakainya apabila terjadi benturan (Anonim, 2016). Nilai energi pukul spesifik pada spesimen helm SNI hanya sebesar 0,009 J/mm² (Mulyo & Yudiono, 2018). Komposit merupakan material yang di buat dengan menggabungkan dua material untuk menghasilkan suatu bahan baru yang lebih kuat (Suryana et al., 2018). Dengan penggabungan serat-serat tersebut dalam matriks yang ulet memungkinkan membentuk suatu komposit yang memakai serat-serat dengan kekuatan tinggi dan melindungi sifat-sifat bahan matriks untuk membuat komposit lebih baik daripada bahan matriks saja atau rusaknya sifat-sifat bahan serat (Hadi, 2018). Komposit polimer dengan serat alam sangat ramah lingkungan karena mampu terdegradasi secara alami juga karena harga serat alam pun lebih murah dibandingkan bahan serat sintetis (Sulaiman & Rahmat, 2018). Indonesia memiliki potensi kekayaan serat alam yang sangat berlimpah maka dari itu peluang yang sangat menarik dalam pengembangan komposit polimer dengan menggunakan serat alam. Serat ijuk dari pelepah daun aren memiliki kekuatan tarik yang baik serta ketahanan terhadap korosi, air laut, dan rayap berkat filamennya yang keras dan tahan air (Ramadhan et al., 2021).

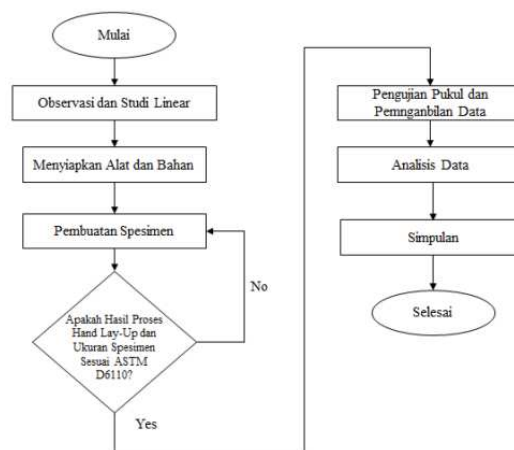
2. KAJIAN TEORITIS

Penelitian komposit menggunakan resin epoxy sebagai perekat komposit dengan metode hand lay-up dan variasi fraksi ijuk yang diberi perlakuan perendaman alkali natrium hidroksida dengan durasi berbeda dapat meningkatkan energi pukul pada komposit (Harahap et al., 2024). Uji pukul dipilih karena helm sepeda motor harus mampu menahan benturan dengan standar ASTM D6110-2010. Permasalahan utama adalah minimnya informasi tentang pengaruh variasi fraksi volume ijuk-resin dan durasi perendaman alkali terhadap kekuatan pukul komposit. Penelitian pengaruh fraksi volume ijuk-resin dan durasi perendaman alkali bertujuan menemukan kombinasi optimal agar komposit memiliki kekuatan pukul tinggi, khususnya untuk aplikasi helm sepeda motor (Putra, 2023). Penelitian menunjukkan serat ijuk memiliki potensi besar sebagai material komposit. Penelitian komposit ijuk menunjukkan kekuatan pukul tertinggi diperoleh pada serat ijuk dengan fraksi volume serat 30% dan durasi perendaman 2 jam dengan nilai EPS 0,02 J/mm² (Irfa'i et al., 2016). Perendaman 4 jam menghasilkan sifat kompak antara resin dan serat paling optimal karena kekuatan dan morfologi serat yang paling baik. Karena dapat meningkatkan kekuatan pukul dari Komposit sebesar $\pm 60\%$ dibandingkan dengan perendaman 2 jam dan 6 jam NaOH (Harahap et al., 2024). Metode ini memungkinkan pengujian pengaruh dua variabel independen secara

simultan terhadap satu variabel dependen, serta interaksi antara keduanya (Montgomery, 2017). Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume ijuk dan durasi perendaman alkali terhadap kekuatan pukul komposit serta interaksinya. Tujuan akhirnya adalah menemukan kombinasi optimal yang menghasilkan komposit ijuk dengan kekuatan pukul tinggi, ringan, dan ramah lingkungan untuk aplikasi helm sepeda motor (Samlawi et al., 2018). Hasil penelitian tersebut diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan material komposit berbasis serat alam untuk industri pelindung keselamatan yang berstandar tinggi, serta mendorong pemanfaatan potensi sumber daya alam lokal secara lebih maksimal dan berkelanjutan.

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini disusun diagram alir untuk memudahkan proses pengambilan data dengan runtut. Alur penelitian ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir.

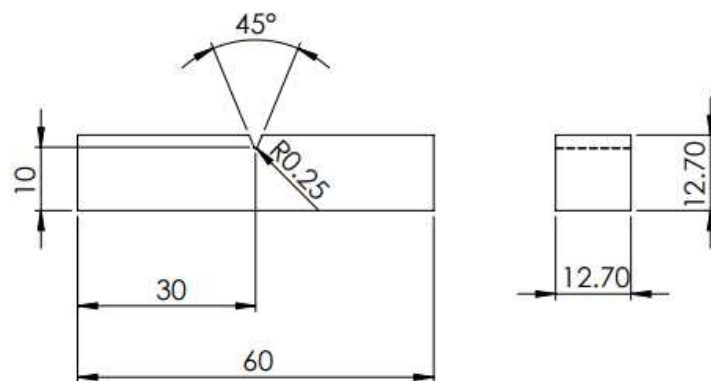
Penelitian menggunakan serat ijuk sebagai bahan penguat dan resin epoxy sebagai matriks, dengan hardener sebagai pengeras. Serat ijuk diberi perlakuan perendaman dalam larutan NaOH 5% selama 75, 150, 225, dan 300 menit. Komposisi fraksi volume ijuk divariasikan menjadi 15%, 25% dan 35%. Data diambil berdasarkan sudut ayunan pendulum sebelum dan sesudah tumbukan kemudian data yang dikumpulkan kemudian diolah menggunakan uji statistik anova dua arah.

Variabel Penelitian

Ada 2 variabel dalam penelitian yaitu variabel dependen (terikat) dan variabel independen (bebas). Variabel dependent (terikat) adalah variabel yang dipengaruhi oleh beberapa variabel lain, dan variabel independent (bebas) adalah variabel yang berdampak pada variabel lain. Penelitian menggunakan dua variabel bebas, yaitu fraksi volume ijuk-resin

sebesar 15:85%, 25:75%, dan 35:65%, serta durasi perendaman alkali dalam larutan NaOH 5% selama 75, 150, 225, dan 300 menit. Variabel terikat dalam penelitian adalah energi pukul spesifik EPS (J/mm^2) yang diukur melalui uji pukul. Adapun variabel terkendali meliputi metode fabrikasi komposit menggunakan metode hand lay-up dengan tiga lapisan, panjang ijuk disesuaikan dengan ukuran cetakan, serta konsentrasi larutan NaOH yang digunakan sebesar 5%.

Pembuatan Spesimen

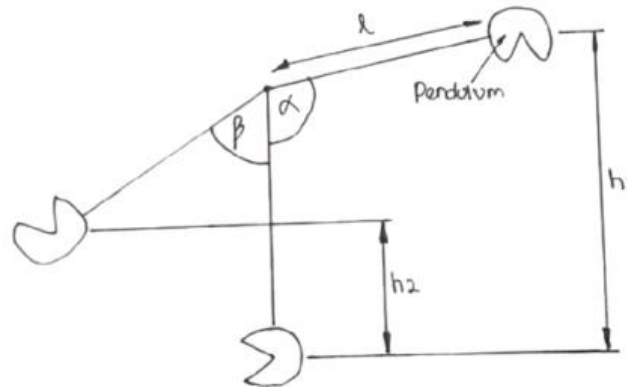


Gambar 2. Spesimen Uji Pukul ASTM D6110.

Sebagaimana pada Gambar 2. pembuatan spesimen dilakukan untuk kebutuhan pengujian pukul. Hasil pengujian pukul dimasukkan ke dalam software sebagai parameter pada simulasi. Spesimen dibuat berdasarkan standar ukuran ASTM D6110 (Anonim, 2015).

Sketsa Pengujian Pukul Charpy

Data hasil uji pukul berdasarkan pengaruh dari fraksi volume ijuk-resin dan durasi perendaman alkali terhadap energi pukul spesifik (EPS) dilakukan pengambilan data pengulangan dengan 3 replikasi. Perhitungan manual salah satu spesimen dengan menggunakan persamaan (1) untuk menghitung energi pukul (EP) (2) untuk menghitung energi pukul spesifik (EPS). Sketsa pengujian pukul disajikan sebagaimana Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa Uji Pukul.

Rumus Uji Pukul

Dari Gambar 3. Dapat diketahui panjang lengan pendulum 0,62 m dan sudut awal pendulum atau h_0 diatur 120, dan h_1 merupakan sudut akhir setelah tumbukan spesimen uji pukul, maka perhitungan EPS dapat dilihat sebagai berikut.

$$EP = (m.g.h_1) - (m.g.h_2)$$

$$EPS = EP/A$$

Setelah mendapatkan EP maka selanjutnya yaitu mencari nilai dari EPS dengan satuan J/mm^2 .

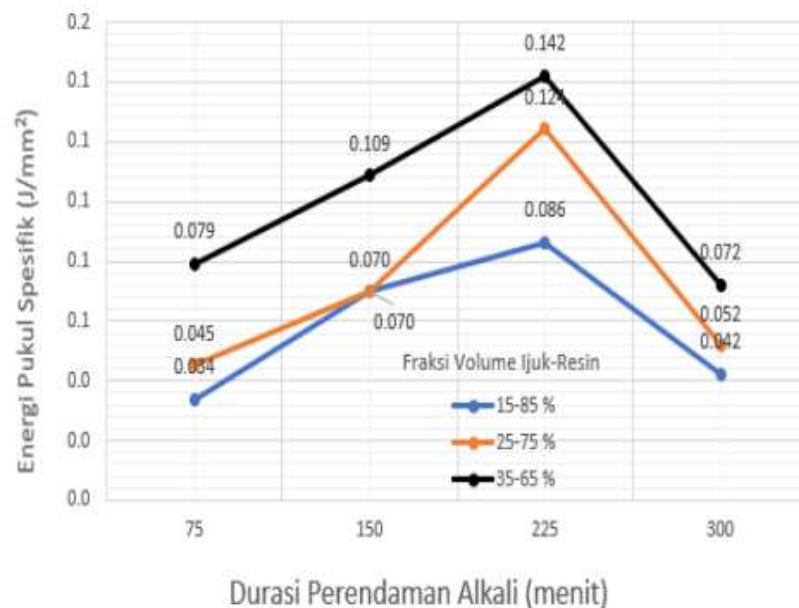
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kekuatan pukul dilakukan terhadap spesimen komposit berbahan dasar ijuk dan resin epoxy dengan variasi fraksi volume serta durasi perendaman alkali menggunakan larutan NaOH 5%. Pengujian dilakukan menggunakan metode Charpy dengan takikan pada spesimen dengan standar ASTM D6110 untuk memperoleh nilai rerata EPS (J/mm^2). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai EPS diperoleh pada fraksi volume ijuk 35% dengan durasi perendaman alkali selama 225 menit. Sebaliknya, nilai terendah diperoleh pada fraksi volume 15% dan durasi perendaman 300 menit. Hasil pengujian pukul disajikan sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Pukul.

Durasi Perendaman Alkali (menit)	Fraksi Volume Ijuk Resin (%)	Hasil Uji Pukul (J/mm^2)			Rerata (J/mm^2)
		1	2	3	
75	15-85	0,034	0,029	0,038	0,034
	25-75	0,051	0,044	0,041	0,045
	35-65	0,075	0,078	0,085	0,080
150	15-85	0,061	0,078	0,070	0,070
	25-75	0,078	0,066	0,066	0,072
	35-65	0,112	0,123	0,091	0,109
225	15-85	0,091	0,083	0,085	0,087
	25-75	0,123	0,112	0,138	0,124
	35-65	0,138	0,155	0,133	0,142
300	15-85	0,035	0,054	0,038	0,042
	25-75	0,044	0,067	0,044	0,052
	35-65	0,070	0,061	0,085	0,072

Berdasarkan data pengujian pukul sebelumnya didapat grafik fraksi volume ijuk-resin dan durasi perendaman alkali terhadap EPS disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Interaksi Fraksi Volume Ijuk Resin dan Durasi Perendaman Alkali terhadap EPS.

Pada Gambar 4. terlihat adanya simpangan nilai energi pukul spesifik (EPS) antara fraksi volume 15–85% dan 25–75% pada durasi perendaman 150 menit. Nilai EPS fraksi 15–85% justru meningkat menjadi 0,070 J/mm^2 , sama dengan fraksi 25–75% yang hanya sedikit lebih tinggi di 0,070 J/mm^2 . Fenomena ini terjadi karena pada fraksi volume rendah (15%), penyebaran resin menjadi lebih merata dan sempurna menyelimuti serat akibat perendaman

sedang (150 menit) yang cukup efektif dalam menghilangkan kotoran dan zat lignin penghambat adhesi. Sebaliknya, pada fraksi 25– 75%, meskipun jumlah serat lebih banyak, kemungkinan terdapat serat yang belum sepenuhnya terbasuh atau memiliki orientasi acak yang kurang optimal terhadap arah tumbukan, sehingga tidak memberikan peningkatan EPS yang sebanding.

Nilai EPS tertinggi dicapai pada kombinasi fraksi volume ijuk-resin 35–65% dan durasi perendaman alkali 225 menit, yaitu sebesar 0,142 J/mm². Hasil mengindikasikan bahwa pada kondisi tersebut, ijuk telah mengalami proses pembersihan yang optimal dari pengotor seperti lignin dan minyak permukaan, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan dan area kontak antar serat dan resin. Selain itu, konsentrasi serat yang tinggi (35%) menyediakan lebih banyak jalur perambatan beban saat tumbukan, memperbesar kemampuan material dalam menyerap energi. Perpaduan tersebut menciptakan interaksi antarmuka yang kuat antara serat dan matriks, sehingga struktur komposit menjadi lebih kokoh dan tahan terhadap kekuatan pukul. Hasil dari pengujian pukul semakin banyak serat yang ada didalam komposit maka akan menambah kekuatan pada komposit (Iswan et al., 2018).

Namun, pada durasi perendaman 300 menit terjadi penurunan EPS pada semua variasi fraksi volume, termasuk pada 35–65% yang turun menjadi 0,072 J/mm², dapat dijelaskan melalui degradasi struktural serat akibat perendaman alkali yang terlalu lama. Waktu perendaman yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan mikrostruktur serat dan melemahnya kekuatan pukul ijuk akibat pelarutan berlebih lignin dan selulosa. Akibatnya, serat kehilangan fungsi penguat dan kemampuan untuk menahan serta menyebarkan energi benturan secara efektif. Menunjukkan bahwa terdapat batas optimum durasi perendaman alkali yang tidak boleh dilampaui untuk menjaga integritas serat ijuk dalam komposit helm.

Analysis of Variance

Berikut adalah hasil dan pembahasan dari analisis pengaruh fraksi volume ijuk-resin dan durasi perendaman alkali terhadap kekuatan pukul komposit disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analysis of Variance

Sumber Variasi	F _{hitung}	F _{tabel}	Pertimbangan	Putusan	Arti Fisik
Fraksi Volume Serat (%)	55,32	F(0,05; 2;24) = 3,40	$F_{hitung} > F_{tabel}$	H01 ditolak dan H11 diterima	Terdapat pengaruh fraksi volume ijukresin terhadap EPS
Durasi Perendaman (menit)	81,42	F(0,05; 3;24) = 3,01	$F_{hitung} > F_{tabel}$	H02 ditolak dan H12 diterima	Terdapat pengaruh durasi perendaman terhadap EPS
Fraksi Volume Serat*Waktu Perendaman	2,39	F(0,05; 6;24) = 2,51	$F_{hitung} < F_{tabel}$	H03 diterima dan H13 ditolak	Tidak terdapat pengaruh interaksi fraksi volume ijuk resin dan durasi perendaman alkali

Dari Tabel 2. menunjukkan hasil perhitungan anova dua arah terhadap dua variabel bebas, yaitu fraksi volume ijuk-resin dan durasi perendaman alkali terhadap kekuatan pukul komposit. Hasil analisis menunjukkan bahwa Fraksi volume serat ijuk memiliki nilai Fhitung sebesar 55,32, sedangkan nilai Ftabel pada taraf signifikansi 5% adalah 3,40. Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka fraksi volume berpengaruh signifikan terhadap kekuatan pukul spesifik komposit. Durasi perendaman alkali menghasilkan Fhitung sebesar 81,42, yang juga lebih besar dari Ftabel (3,40). Ini menunjukkan bahwa durasi perendaman alkali juga berpengaruh signifikan terhadap kekuatan pukul komposit. Namun, pada pengaruh interaksi antara fraksi volume dan durasi perendaman, nilai Fhitung hanya senilai 2,39, lebih kecil dari Ftabel. Artinya, interaksi antara kedua variabel tersebut tidak berpengaruh, dan keduanya bekerja secara independen dalam memengaruhi kekuatan pukul optimal setelah perendaman 225 menit, di mana pengotor seperti lignin telah terlarut sempurna tanpa menyebabkan kerusakan struktur mikro serat. Selain itu, penyebaran resin yang merata pada fraksi volume tinggi menghasilkan ikatan antar muka yang kuat dan meningkatkan ketahanan terhadap beban benturan. Namun, pada durasi perendaman 300 menit terjadi penurunan EPS karena kemungkinan degradasi struktur serat akibat perendaman berlebih. Secara keseluruhan, fraksi volume dan durasi perendaman alkali berpengaruh signifikan terhadap EPS, namun interaksinya tidak signifikan. Maka, untuk menghasilkan helm yang lebih aman dan ramah lingkungan, diperlukan optimasi independen kedua variabel tersebut, dengan kombinasi terbaik yaitu fraksi volume 35% dan durasi perendaman 225 menit.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian pengaruh fraksi volume ijuk-resin dan durasi perendaman alkali terhadap kekuatan pukul komposit helm menunjukkan bahwa penggunaan ijuk sebagai bahan penguat dalam komposit helm memiliki potensi besar untuk meningkatkan kemampuan penyerapan energi benturan. Nilai energi pukul spesifik (EPS) tertinggi diperoleh pada kombinasi fraksi volume ijuk 35% dan durasi perendaman alkali selama 225 menit, yaitu senilai 0,142 J/mm². Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan EPS helm SNI berbahan plastik ABS yang hanya sebesar 0,00972 J/mm², sehingga efisiensi penyerapan energi meningkat hingga 14 kali lipat. Peningkatan ini disebabkan oleh kandungan serat yang lebih banyak dan kondisi serat yang optimal setelah perendaman 225 menit, di mana pengotor seperti lignin telah terlarut sempurna tanpa menyebabkan kerusakan struktur mikro serat. Selain itu, penyebaran resin yang merata pada fraksi volume tinggi menghasilkan ikatan antar muka yang kuat dan meningkatkan ketahanan terhadap beban benturan. Namun, pada durasi perendaman 300 menit terjadi penurunan EPS karena kemungkinan degradasi struktur serat akibat perendaman berlebih. Secara keseluruhan, fraksi volume dan durasi perendaman alkali berpengaruh signifikan terhadap EPS, namun interaksinya tidak signifikan. Maka, untuk menghasilkan helm yang lebih aman dan ramah lingkungan, diperlukan optimasi independen kedua variabel tersebut, dengan kombinasi terbaik yaitu fraksi volume 35% dan durasi perendaman 225 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak di Laboratorium Uji dan Perlakuan Bahan Politeknik Negeri Malang atas bantuan dan kerjasamanya dalam proses pengujian.

DAFTAR REFERENSI

- Anonim, (2015). Standard Test Method for Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics. ASTM D6110
- Anonim, (2016). Helm pengendara kendaraan bermotor roda dua-Standar Nasional Indonesia. Sni, 1811, 1–35.
- Hadi, Syamsul. (2018). Teknologi Bahan Lanjut. Yogyakarta: ANDI.
- Harahap, R. G., Rianto, A., Apriani, W., & Sundari, E. M. (2024). Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Berpenguat Serat Ijuk Bermatriks Resin dengan Teknik Vacuum Resin Infusion. 01(02).
- Irfa'i, M. A., Wulandari, D., Sutriyono, S., & Marsyahyo, E. (2016). Pengaruh Fraksi Volume Serat dan Lama Waktu Perendaman Naoh terhadap Kekuatan Impak Komposit Poliester Berpenguat Serat Ijuk. Rotasi, 18(1), 1. <https://doi.org/10.14710/rotasi.18.1.1-7>

- Iswan, C., Maryanti, B., Arifin, K., Mesin, T., Balikpapan, U., Ijuk, S., Volume, V. F., Impact, U., & Tarik, U. (2018). P-7 Analisis Perbandingan Kekuatan Variasi Fraksi Volume Matriks Resin Epoksi Comparative Analysis of the Variation Strength of Fiber Composite Volume Fraction Composite on Mechanical Properties. C, 2–9.
- Montgomery, D.C., 2017. Design and Analysis of Experiments. 9th ed. Hoboken, NJ: Wiley
- Mulyo, B. T., & Yudiono, H. (2018). Analisis Kekuatan Impak Pada Komposit Serat Daun Nanas Untuk Bahan Dasar Pembuatan Helm SNI. Jurnal Kompetensi Teknik, 10(2), 1–8.
- Pranata, M. Sagitra. (2018). Pengaruh Perbandingan Berat Serat Tebu Dan Serat Fiber Bermatrik Resin Polyester Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Pada Untuk Panjang Tebing. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Putra, T. A. H. (2023). Pengaruh Waktu Perendaman NaOH terhadap Kekuatan Tarik Natural Fiber.
- Ramadhan, D. aslam, Putri, F., & Arnoldi, D. (2021). Analisis Ketangguhan material Alternatif Komposit serat Ijuk dan Resin Polyester Sebagai Cover Body Motor. Jurnal Teknologi Terapan, 2(2), 99–104
- Samlawi, A. K., Arifin, Y. F., & Permana, P. Y. (2018). Pembuatan dan karakterisasi material komposit serat ijuk (arenga pinnata) sebagai bahan baku cover body sepeda motor. Info-teknik, 18(2), 289-300.
- Sulaiman, M., & Rahmat, M. H. (2018). Kajian Potensi Pengembangan Material Komposit Polimer Dengan Serat Alam Untuk Produk Otomotif. Sistem, 4(1), 9–15.
- Suryana, D., Junaidi, A., & Rizki, M. (2018). Pengaruh Komposisi Komposit Serat-Serat Eceng Gondok. 10(2), 15–20.
- Wahyudi, F. A., & Yuono, L. D. (2017). Pengaruh Komposisi Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Yang Diperkuat Serat Bambu. Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 4(2).