

Rancang Bangun Pembuatan Helm Dengan Material Komposit Berbasis Serat Tebu Dan Matriks *Polyester*

Dedy Andy Hermawan¹, Diah Wulandari², Arya Mahendra Sakti³, Dyah Riandadari⁴

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231 (9 pt)

E-mail: dedy.20047@mhs.unesa.ac.id

Abstrak: Seiring perkembangan zaman, industri helm terus berinovasi untuk mengembangkan material yang lebih ringan dan kuat demi meningkatkan kinerja dan kenyamanan bagi pengguna. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil analisis desain helm material komposit dan polikarbonat dalam pengujian *impact* pada *solidwork* dan mengetahui hasil pengujian tekan helm yang menggunakan material komposit serat tebu dan matriks *polyester*. Metode eksperimen menggunakan *hand lay-up* dengan komposisi 60% serat tebu dan 40% resin, perbandingan 10:1 antara serat tebu 1286 gram (panjang 15 cm), resin 105 gram, dan katalis 18,18 gram, serta variasi ketebalan helm 5 mm. Hasil dari penelitian ini adalah simulasi uji impak pada helm dengan material komposit dengan *massa* beban 5 kg menunjukkan hasil deformasi dampak tertinggi $6,551 \times 10^{-02}$ mm, regangan ekuivalen dampak tertinggi $9,197 \times 10^{-05}$ MPa, dan tegangan von mises dampak tertinggi $4,377 \times 10^{+06}$ N/m² dan hasil uji tekan dengan ketebalan helm 5 mm, arah serat 0°, diameter 180 mm, dan menggunakan standart ASTM D695 menghasilkan *maximum force* 0,86 kN, *yield force* 0.39 kN.

Kata kunci: Helm Serat Tebu, Matriks *Polyester*, Metode *Hand Lay-Up*, Pengujian Tekan, Simulasi Uji *Impact* Helm.

Abstract: Along with the times, the helmet industry continues to innovate to develop lighter and stronger materials to improve performance and comfort for users. This study aims to find out the results of the analysis of the design of composite and polycarbonate helmets in impact testing on *solidwork* and to determine the results of compression testing of helmets using sugarcane fiber composite materials and polyester matrix. The experimental method used *hand lay-up* with a composition of 60% sugarcane fiber and 40% resin, a ratio of 10:1 between sugarcane fiber 1286 grams (length 15 cm), resin 105 grams, and catalyst 18.18 grams, as well as a variation in helmet thickness of 5 mm. The results of this research are a simulation of impact tests on helmets with composite materials with a load mass of 5 kg showing the highest impact deformation results of 6.551×10^{-02} mm, the highest impact equivalent strain of 9.197×10^{-05} MPa, and the highest impact von mises stress of $4.377 \times 10^{+06}$ N/m² and the results of the compression test with a helmet thickness of 5 mm, Fiber direction 0°, diameter 180 mm, and using ASTM D695 standard produces a maximum force of 0.86 kN, yield force 0.39 kN.

Keywords: Sugarcane Fiber Helmet, Polyester Matrix, Hand Lay-Up Method, Pressure Testing, Helmet Impact Test Simulation.

© 2024, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya zaman, dunia industri terus berinovasi guna mendapatkan hasil terbaik yang nyaman dan aman digunakan oleh para konsumen. Tidak terkecuali dengan industri helm, industri helm terus berupaya untuk menciptakan inovasi terbaru untuk mengembangkan material yang lebih ringan dan kuat guna meningkatkan kinerja dan kenyamanan helm bagi pengguna. Penggunaan komposit menjadi pilihan utama karena dapat menggabungkan kekuatan beberapa material untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan.

Komposit pada dunia industri merupakan campuran antara polimer (bahan makromolekul dengan ukuran besar yang diturunkan dari minyak bumi ataupun bahan alam lainnya seperti karet dan serat). Dapat dikatakan bahwa komposit adalah

gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat. Dalam perjalanan waktu material komposit sudah diteliti oleh beberapa penelitian sebagai material pembuat helm.

Penelitian yang dilakukan oleh khalil, dkk. (2012) material komposit pada helm membuat helm menjadi lebih ringan dan memiliki kekuatan terhadap benturan yang baik. Dengan menggunakan bahan penguat serat alam. Helm dapat tetap memenuhi standar keamanan dan kualitas yang ditetapkan oleh Helm Standar Nasional Indonesia (SNI). Selain itu, penggunaan material komposit juga dapat memberikan keuntungan dalam hal keberlanjutan lingkungan karena bahan penguat serat alam cenderung lebih ramah lingkungan daripada serat sintetis.

Penelitian oleh P. Bismantolo dkk (2019) Material komposit serat tebu merupakan jenis material

komposit yang menggunakan serat tebu sebagai salah satu komponennya. Serat tebu digunakan sebagai penguat dalam material komposit untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan sifat mekanis lainnya. Penggunaan serat tebu dalam material komposit dapat memberikan keunggulan tertentu, seperti keberlanjutan lingkungan karena serat tebu merupakan produk sampingan dari industri tebu yang dapat didaur ulang. Penggunaan serat tebu sebagai penguat dalam material komposit dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan material tersebut, serta memberikan keunggulan berupa berat jenis yang rendah, kekuatan yang tinggi, ketahanan korosi, dan biaya produksi yang lebih murah.

Pada sisi matriks, penelitian oleh Gangil et al. (2019) menyoroti peran penting matriks *polyester* dalam material komposit. Matriks *polyester*, dengan sifat fleksibelnya, memungkinkan impregnasi serat-serat dengan baik dan memberikan stabilitas struktural pada material akhir. Penggunaan matriks *polyester* dalam helm dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap benturan, sementara juga mempertahankan berat helm yang ringan.

Metode yang digunakan yaitu metode *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* dipilih karena kesederhanaannya, biaya produksi yang rendah, dan keefektifannya dalam pembuatan prototipe atau produksi skala kecil dan menengah. Teknik ini memungkinkan penyesuaian ketebalan dan orientasi serat untuk mengoptimalkan kekuatan dan kekerasan produk akhir.

Untuk mengetahui helm tersebut memberikan perlindungan yang maksimal kepada pengguna dalam berbagai situasi dilakukan pengujian tekan pada helm, Menurut S. Senthil Gavaskar dkk (2019) dilakukan uji tekan yaitu untuk mengukur kemampuan helm dalam menahan beban atau eksternal yang berat tanpa mengalami kegagalan struktural. Ini meniru dimana terdapat tekanan langsung ke helm. Pengujian tekan menggunakan *Micro Computer Servo Hydraulic Universal Testing Machine* (20 Ton) dengan standar ASTM D695.

Dari penelitian-penelitian terdahulu tersebut, penulis dapat menyimpulkan bahwa penggunaan material komposit berbasis serat tebu dan matriks *polyester* menawarkan potensi besar dalam meningkatkan kualitas, keamanan, dan kenyamanan helm. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan proses pembuatan helm yang memanfaatkan keunggulan material komposit tersebut. Dengan demikian, diharapkan helm yang dihasilkan dapat memberikan perlindungan yang optimal bagi pengguna dalam berbagai situasi berkendara.

DASAR TEORI

A. Material Komposit Berbasis Serat Tebu

1. Sifat Mekanik:

Serat tebu memiliki kekuatan yang cukup baik dan dapat digunakan sebagai penguat dalam material komposit. Studi tentang sifat mekanik serat tebu seperti kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan *impact* penting untuk menentukan keandalan helm.

2. Karakteristik Serat:

Diameter dan panjang serat tebu mempengaruhi sifat mekanik komposit. Serat panjang cenderung memberikan kekuatan yang lebih baik daripada serat pendek.

3. Kekurangan Material Komposit:

Material komposit juga memiliki kekurangan, seperti ketahanan terhadap beban kejut yang lebih rendah dibandingkan logam dan kurang elastis.

B. Matriks Polyester:

1. Interaksi Dengan Serat

Matriks *polyester* harus dipilih dengan cermat untuk berinteraksi dengan serat tebu secara efektif dan membentuk ikatan yang kuat antara serat-serat tersebut.

2. Proses Pembuatan

Proses pembuatan helm dengan matriks *polyester* melibatkan pencampuran resin *polyester* dengan serat tebu, penempatan campuran ini ke dalam cetakan, dan pengeringan untuk membentuk helm.

C. Metode Pembuatan Helm:

1. Metode Hand Lay-Up

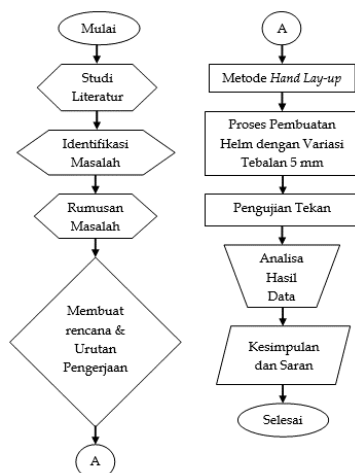
Metode ini melibatkan proses fabrikasi terbuka di mana resin dan serat ditempatkan secara manual ke dalam cetakan. Langkah-langkah seperti pembersihan cetakan, aplikasi pelumas, penyusunan serat, pencampuran resin, pengolesan, dan pengeringan penting untuk memastikan kualitas helm.

D. Simulasi Pengujian Impact Solidwork

Simulasi pengujian *impact Solidworks* adalah pendekatan yang efektif untuk memprediksi kerusakan pada material komposit. Metode ini sering digunakan dalam industri penerbangan dan otomotif. Dalam simulasi ini, deformasi, regangan ekuivalen, dan tegangan von mises digunakan untuk memahami bagaimana material akan bereaksi ketika terkena benturan. Deformasi mengacu pada perubahan bentuk atau ukuran objek akibat gaya yang diterapkan, regangan ekuivalen adalah ukuran deformasi yang mencakup berbagai komponen regangan, sedangkan tegangan von mises adalah kriteria kegagalan material yang membantu menentukan

kapas material akan mengalami kerusakan akibat *impact*.

METODE

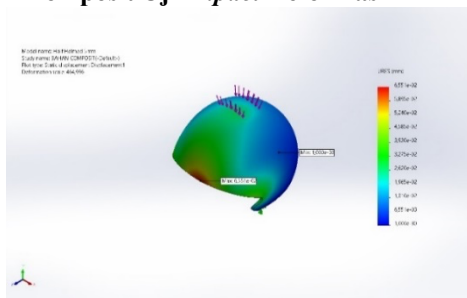


Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode eksperimen dengan studi literatur yang relevan untuk penelitian dari berbagai sumber seperti artikel, jurnal, dan skripsi. Identifikasi masalah berdasarkan pengamatan dan observasi yang ada di lapangan. Menentukan masalah beserta tujuan penelitian yang ingin di capai, membuat rencana dan urutan proses pembuatan dimulai dengan persiapan alat dan bahan, dilanjutkan menentukan metode eksperimen yang digunakan yaitu metode *hand lay-up*. Setelah menentukan metode yang digunakan selanjutnya proses pembuatan helm dengan variasi tebalan 5 mm, setelah pembuatan helm dilanjutkan dengan pengujian tekan, maka akan dilanjutkan ke tahap akhir yaitu proses pengambilan analisa hasil data dari pengujian tekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact Solidwork*

1. Hasil Simulasi Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact Deformasi*



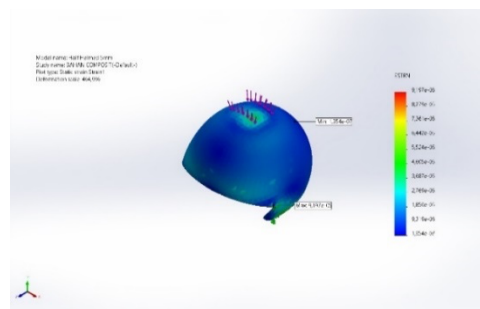
Gambar Hasil Simulasi Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact Deformasi*

Tabel Hasil Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact Deformasi*

Ketebalan Helm (mm)	Massa Beban	Deformasi Scale	Deformasi (mm)	Tingkatan Displacement
5 mm	5 kg	464,996 mm	$6,551 \times 10^{-02}$ mm	Maksimum
			$1,000 \times 10^{-30}$ mm	Minimum

Hasil analisa deformasi dilakukan untuk mengetahui Hasil analisis menunjukkan bahwa helm ini mengalami deformasi maksimum sebesar ($6,551 \times 10^{-02}$ mm) di area tertentu dan deformasi terkecil ($1,000 \times 10^{-30}$ mm). Deformasi ini cukup kecil, menunjukkan bahwa helm memiliki kekakuan yang baik terhadap beban yang diterapkan. Skala deformasi yang digunakan adalah (464,996 mm), yang berarti hasil deformasi sebenarnya diperbesar untuk visualisasi yang lebih jelas. Pada warna gradien dan nilai deformasi menunjukkan bahwa material komposit yang digunakan untuk helm memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik untuk menyerap dan mendistribusikan beban, mengurangi risiko cedera kepala bagi pengguna. Ketebalan 5 mm dan massa beban 5 kg.

2. Hasil Simulasi Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact Regangan Ekuivalen*



Gambar Hasil Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact Regangan Ekuivalen*

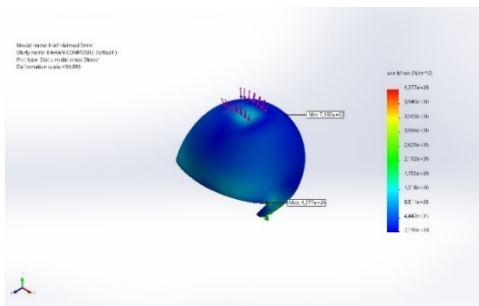
Tabel Hasil Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact Regangan Ekuivalen*

Ketebalan Helm (mm)	Massa Beban	Deformasi Scale	Regangan Ekuivalen (MPa)	Tingkatan Distribusi Regangan (Strain)
5 mm	5 kg	464,996 mm	$9,197 \times 10^{-05}$ MPa	Maksimum
			$1,354 \times 10^{-07}$ MPa	Minimum

Hasil analisis menunjukkan bahwa Hasil analisis menunjukkan bahwa helm ini mengalami regangan ekuivalen maksimum sebesar ($9,197 \times 10^{-05}$ MPa) terjadi di area yang ditunjukkan dengan warna merah. Ini mungkin merupakan titik-titik kritis di mana material helm mengalami regangan terbesar dan berpotensi menjadi area lemah dan

regangan ekuivalen terkecil ($1,354 \times 10^{-07}$ MPa) terjadi di area yang ditunjukkan dengan warna biru. Area ini menunjukkan bahwa material helm berada dalam kondisi relatif aman dari deformasi berlebih. Skala deformasi yang digunakan adalah (464,996 mm) angka ini menunjukkan faktor skala deformasi yang digunakan untuk memperbesar tampilan deformasi dalam simulasi. Skala yang sangat besar (464,996) berarti deformasi sebenarnya jauh lebih kecil daripada yang terlihat di gambar. Ketebalan 5 mm dan *massa* beban 5 kg.

3. Hasil Simulasi Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact* Tegangan Von Mises



Gambar Hasil Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact* Tegangan Von Mises

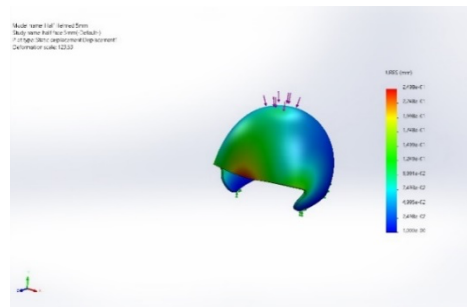
Tabel Hasil Pengujian Helm Material Komposit Uji *Impact* Tegangan Von Mises

Ketebalan Helm (mm)	Massa Beban	Deformasi Scale	Tegangan Von Mises (N/m²)	Tegangan
5 mm	5 kg	464,996 mm	$4,377 \times 10^{+06}$ N/m²	Maksimum
			$7,190 \times 10^{+03}$ N/m²	Minimum

Hasil analisis menunjukkan bahwa helm ini mengalami tegangan von mises maksimum sebesar ($4,377 \times 10^{+06}$ N/m²) terjadi di area yang ditunjukkan dengan warna merah. Ini menunjukkan area yang mengalami beban tertinggi dan berpotensi menjadi titik kritis untuk kegagalan material dan tegangan von mises terkecil ($7,190 \times 10^{+03}$ N/m²) terjadi di area yang ditunjukkan dengan warna biru. Area ini menunjukkan bahwa material berada dalam kondisi relatif aman dari tegangan berlebih. Skala deformasi yang digunakan adalah (464,996 mm) angka ini menunjukkan faktor skala deformasi yang digunakan untuk memperbesar tampilan deformasi dalam simulasi. Skala yang sangat besar (464,996) berarti deformasi sebenarnya jauh lebih kecil daripada yang terlihat di gambar. Ketebalan 5 mm dan *massa* beban 5 kg.

B. Simulasi Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact Solidwork*

1. Hasil Simulasi Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Deformasi



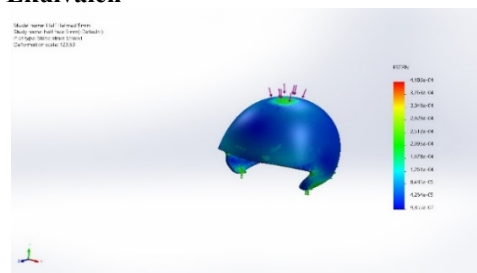
Gambar Hasil Simulasi Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Deformasi

Tabel Hasil Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Deformasi

Ketebalan Helm (mm)	Massa Beban	Deformasi Scale	Deformasi (mm)	Tingkatan Displacement
5 mm	5 kg	123,53 mm	$2,498 \times 10^{-01}$ mm	Maksimum
			$1,000 \times 10^{-30}$ mm	Minimum

Hasil analisis menunjukkan bahwa helm ini mengalami deformasi maksimum sebesar ($2,498 \times 10^{-01}$ mm) terlihat di beberapa area pada helm, menunjukkan perpindahan terbesar. Ini berarti bagian ini mengalami deformasi paling signifikan di bawah beban yang dimana helm bisa lebih mudah rusak atau retak dan deformasi terkecil ($1,000 \times 10^{-30}$ mm) terlihat di bagian lain dari helm, menunjukkan perpindahan yang lebih rendah dan stabilitas yang lebih besar. Skala deformasi yang digunakan adalah (123,53 mm). Ketebalan 5 mm dan *massa* beban 5 kg.

2. Hasil Simulasi Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Regangan Ekuivalen



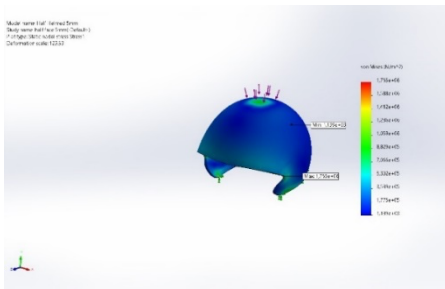
Gambar Hasil Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Regangan Ekuivalen

Tabel Hasil Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Regangan Ekuivalen

Ketebalan Helm (mm)	Massa Beban	Deformasi Scale	Tegangan Ekuivalen (MPa)	Tingkatan Distribusi Regangan (Strain)
5 mm	5 kg	123,53 mm	$4,180 \times 10^{-04}$ MPa	Maksimum
			$9,355 \times 10^{-07}$ MPa	Minimum

Hasil analisis menunjukkan bahwa helm ini mengalami regangan ekuivalen maksimum sebesar ($4,180 \times 10^{-04}$ MPa) terlihat pada bagian atas helm, menunjukkan area dengan regangan tertinggi. Ini berarti bagian pada bagian atas helm mengalami deformasi paling signifikan yang dapat mengarah pada potensi retak atau kerusakan dan regangan ekuivalen terkecil ($9,355 \times 10^{-07}$ MPa) terlihat di sekitar bagian tepi helm, menunjukkan area dengan regangan yang lebih rendah dan relatif stabil. Skala deformasi yang digunakan adalah (123,53 mm). Ketebalan 5 mm dan massa beban 5 kg.

3. Hasil Simulasi Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Tegangan Von Mises



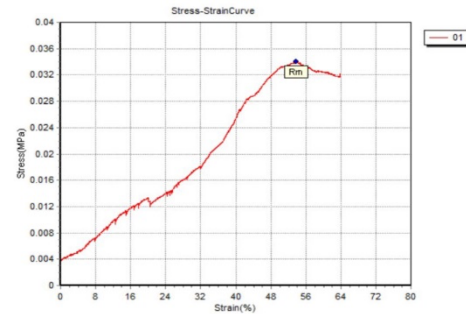
Gambar Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Tegangan Von Mises

Tabel Pengujian Helm Material Polikarbonat Uji *Impact* Tegangan Von Mises

Ketebalan Helm (mm)	Massa Beban	Deformasi Scale	Tegangan Von Mises (N/m²)	Tingkatan Tegangan
5 mm	5 kg	123,53 mm	$1,765 \times 10^{-06}$ N/m²	Maksimum
			$1,139 \times 10^{-05}$ N/m²	Minimum

Hasil analisis menunjukkan bahwa helm ini mengalami tegangan von mises maksimum sebesar ($1,765 \times 10^{-06}$ N/m²) terlihat Bagian bawah helm mengalami tegangan tertinggi, yang mungkin disebabkan oleh posisi pemasangan atau titik aplikasi beban. Tingginya tegangan di area ini menunjukkan potensi titik kegagalan atau retak di bawah kondisi beban yang ekstrem dan tegangan von mises terkecil ($1,139 \times 10^{-05}$ N/m²) terlihat di sekitar bagian atas helm, menunjukkan area dengan tegangan yang lebih rendah dan relatif stabil. Skala deformasi yang digunakan adalah (123,53 mm). Ketebalan 5 mm dan massa beban 5 kg.

C. Hasil Pengujian Spesimen Helm Uji Tekan



Gambar Grafik Pengujian Spesimen Helm Uji Tekan

Tabel Hasil Pengujian Spesimen Helm Uji Tekan

Arah Serat	Diameter (mm)	Tebal (mm)	Maximum Force (kN)	Yield Force (kN)	Kondisi Helm
0°	180 mm	5 mm	0,86 kN	0.39 kN	Ulet

Hasil analisis dari pengujian tekan menggunakan *micro computer servo hydraulic universal testing machine* dengan kapasitas (20 ton), pengujian dilakukan pada suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$, dan pengujian ini menggunakan standart ASTM D695 menunjukkan bahwa helm ini mengalami *maximum force* (0,86 kN) menunjukkan kekuatan yang bisa ditahan oleh helm sebelum mengalami deformasi atau kerusakan dan *yield force* (0.39 kN). Diameter (180 mm), ketebalan (5 mm), arah serat (0°), dan jenis patahan ulet sehingga terlihat kasar dan berserat.

SIMPULAN

- Hasil analisis helm komposit dan polikarbonat berdasarkan simulasi pengujian *impact* dengan *Solidworks*, helm komposit menunjukkan deformasi maksimum lebih kecil ($6,551 \times 10^{-02}$ mm) dan regangan ekuivalen lebih rendah ($9,197 \times 10^{-05}$ MPa) dibandingkan helm polikarbonat ($2,498 \times 10^{-01}$ mm dan $4,180 \times 10^{-04}$ MPa). Helm komposit juga memiliki tegangan von mises maksimum lebih tinggi ($4,377 \times 10^{-06}$ N/m²) dibandingkan polikarbonat ($1,765 \times 10^{-06}$ N/m²), menunjukkan performa superior dalam hal kekakuan, ketahanan deformasi, dan kemampuan menahan beban ekstrem.
- Hasil pengujian tekan menggunakan *micro computer servo hydraulic universal testing machine* dengan kapasitas (20 ton), pengujian dilakukan pada suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$, dan pengujian ini menggunakan standart ASTM D695 menunjukkan bahwa helm ini mengalami *maximum force* (0,86 kN) menunjukkan kekuatan yang bisa ditahan oleh helm sebelum mengalami deformasi atau kerusakan dan *yield force* (0.39 kN). Diameter (180 mm), ketebalan

(5 mm), arah serat (0°), dan jenis patahan ulet sehingga terlihat kasar dan berserat.

REFERENSI

- Abdel-Nasser, Y., Elhewy, A. M., & Al-Mallah, I. (2017). Impact analysis of composite laminate using finite element method. *Ships and Offshore Structures*, 12(2), 219-226.
- Bismantolo, P., Hestiawan, H., Wardhani, F., & Utama, M. R. Pemanfaatan limbah tandan buah kosong kelapa sawit sebagai penguat komposit untuk material outer shell helm SNI.
- Devi, P. A., Reddy, P. R., & Prasad, K. E. (2023). *Hardness and impact testing of glass epoxy nanoclay composites. Materials Today: Proceedings*.
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). *A comprehensive review of natural fibers and their composites: an eco-friendly alternative to conventional materials. Results in Engineering*, 101271.
- Gautama, C., Alfatih, M. F. I., & Alimi, S. (2022). Eksperimen uji bending pada komposit resin polyester dan epoxy serat jerami padi dengan proses *hand lay up*. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2), 237-242.
- Gavaskar, S. S., & Madhu, S. (2020). *Torsional and compression properties of cylindrical glass fiber reinforced polymer composite. Materials Today: Proceedings*, 22, 1149-1154.
- Girimurugan, R., Shilaja, C., Mayakannan, S., Rajesh, S., & Aravinth, B. (2022). *Experimental investigations on flexural and compressive properties of epoxy resin matrix sugarcane fiber and tamarind seed powder reinforced bio-composites. Materials Today: Proceedings*, 66, 822-828.
- Hardiansyah, F. (2019). Pembuatan helm sepeda motor menggunakan serat tandan kosong kelapa sawit (*Doctoral dissertation*).
- Kumar, S., Shamprasad, M. S., & Varadarajan, Y. S. (2022). *Experimental investigation of impact strength and hardness value of rice straw reinforced polylactide composites. Materials Today: Proceedings*, 52, 604-607.
- Mohammed, A. I., Raghupathy, K., Baltazar, O. D. V. G., Onokpasah, L., Carvalho, R., Mogensen, A., ... & Njuguna, J. (2024). *Quasi-static compression tests of overwrapped composite pressure vessels under low velocity impact. Composite Structures*, 327, 117662.
- Teguh, D. M. (2022). Pembuatan helm sepeda motor menggunakan serat sabut kelapa (*Doctoral dissertation*).
- Tejyan, S., Singh, T., Patnaik, A., Fekete, G., & Gangil, B. (2019). *Physico-mechanical and erosive wear analysis of polyester fibre-based nonwoven fabric-reinforced polymer composites. Journal of Industrial Textiles*, 49(4), 447-464.
- Tjahjanti, P. H. (2018). Buku Ajar Teori dan aplikasi material komposit dan polimer. Umsida Press, 1-24.
- Wahyudi, W. (2021). Analisa kekuatan material komposit berpenguat serat kulit tebu dengan matriks resin polyester di tinjau dari kekuatan bending dan impek (*Doctoral dissertation*, Universitas Islam Riau).