

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keselamatan berkendara masih menjadi permasalahan serius pada skala global, terutama bagi pengguna sepeda motor yang secara struktural memiliki tingkat kerentanan lebih tinggi dibandingkan pengguna kendaraan roda empat. Minimnya perlindungan fisik pada sepeda motor menyebabkan pengendara sangat rentan terhadap cedera fatal saat terjadi kecelakaan. Organisasi Kesehatan Dunia melaporkan bahwa lebih dari 50% korban kecelakaan lalu lintas di negara berkembang merupakan pengendara sepeda motor, dengan cedera kepala sebagai penyebab utama kematian (World Health Organization, 2023). Data tersebut menegaskan bahwa efektivitas perlindungan kepala melalui penggunaan helm berkualitas tinggi menjadi faktor krusial dalam menurunkan angka fatalitas dan tingkat keparahan cedera.

Di Indonesia, permasalahan keselamatan sepeda motor menjadi semakin kompleks seiring dengan dominasi sepeda motor sebagai moda transportasi utama masyarakat. Lebih dari 80% kendaraan bermotor yang beroperasi di jalan raya merupakan kendaraan roda dua, sehingga potensi risiko kecelakaan meningkat secara signifikan. Data Kepolisian Republik Indonesia menunjukkan bahwa kecelakaan lalu lintas masih didominasi oleh sepeda motor, dengan mayoritas korban mengalami cedera kepala akibat kegagalan fungsi perlindungan helm atau penggunaan helm dengan kualitas yang tidak memadai (Direktorat Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia, 2023). Kondisi ini menunjukkan bahwa pemenuhan standar minimum belum sepenuhnya menjamin tingkat perlindungan yang optimal bagi pengendara.

Secara teknis, helm sepeda motor dirancang sebagai sistem penyerap energi yang bertujuan mereduksi gaya benturan sebelum diteruskan ke kepala pengendara. Mekanisme ini bekerja melalui deformasi material dan distribusi energi impact ke area yang lebih luas. Efektivitas sistem tersebut sangat ditentukan oleh karakteristik material penyusun helm, khususnya pada bagian *shell* sebagai lapisan pertama

penerima benturan. Helm konvensional umumnya menggunakan material termoplastik seperti ABS atau polikarbonat yang memiliki keunggulan dari sisi berat dan biaya produksi. Namun, material tersebut menunjukkan keterbatasan dalam ketahanan impak pada tingkat energi benturan yang tinggi, sehingga berpotensi mengalami kegagalan struktural pada kondisi ekstrem (Asyraf dkk., 2022).

Perkembangan ilmu material teknik mendorong eksplorasi penggunaan material komposit sebagai alternatif bahan *shell* helm. Komposit berbasis serat sintesis, terutama serat karbon, dikenal memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang sangat tinggi, kekakuan unggul, serta kemampuan menahan beban mekanik yang lebih baik dibandingkan material polimer murni (Wijaya dkk., 2025). Karakteristik tersebut menjadikan serat karbon menarik untuk aplikasi helm berperforma tinggi. Namun demikian, penggunaan serat karbon masih menghadapi kendala berupa biaya produksi yang relatif tinggi serta isu keberlanjutan lingkungan, sehingga diperlukan pendekatan material alternatif yang mampu menyeimbangkan performa mekanik dan aspek keberlanjutan.

Meningkatnya kesadaran global terhadap isu lingkungan dan keberlanjutan mendorong pengembangan material alternatif yang lebih ramah lingkungan, termasuk pemanfaatan serat alam sebagai penguat komposit. Serat bambu menjadi salah satu kandidat utama karena ketersediaannya yang melimpah di Indonesia, laju pertumbuhan yang cepat, serta sifat mekanik yang relatif baik untuk aplikasi rekayasa. Dari sudut pandang mekanika material, serat bambu memiliki kekuatan tarik yang kompetitif dibandingkan beberapa jenis serat alam lain, dengan densitas yang rendah sehingga berpotensi menghasilkan komposit ringan namun tetap kuat. Karakteristik ini menjadikan serat bambu layak dipertimbangkan sebagai material penguat komposit struktural (Syahputra dkk., 2024).

Pemanfaatan serat bambu dalam aplikasi helm telah menunjukkan hasil yang cukup menjanjikan. Beberapa penelitian melaporkan bahwa helm berbasis komposit serat bambu apus mampu menahan beban impak hingga batas tertentu dan memenuhi persyaratan dasar helm keselamatan. Mekanisme penyerapan energi pada komposit serat bambu terjadi melalui deformasi matriks, fraktur bertahap

serat, serta fenomena *fiber pull-out* yang berkontribusi terhadap peredaman energi benturan. Temuan lain juga menunjukkan bahwa komposit serat alam memiliki kemampuan serap energi yang baik, sehingga berpotensi sebagai material pada alat pelindung diri bekerja pada kondisi pembebanan dinamis (Hermawan dkk., 2024).

Meskipun demikian, penggunaan serat alam secara tunggal masih menghadapi sejumlah keterbatasan teknis. Variasi sifat mekanik akibat faktor alami, sensitivitas terhadap kelembapan, serta keterbatasan kekuatan struktural pada beban ekstrem menjadi tantangan utama dalam aplikasi struktural. Pada kondisi impact berenergi tinggi, komposit serat alam murni berpotensi mengalami kegagalan lebih awal akibat keterbatasan kekakuan dan stabilitas material. Oleh karena itu, pendekatan *hybrid composite* yang mengombinasikan serat alam dan serat sintetis mulai banyak dikembangkan sebagai solusi untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih seimbang dan stabil (Asyraf dkk., 2022).

Komposit *hybrid* memungkinkan integrasi keunggulan masing-masing jenis serat dalam satu sistem material. Serat karbon berperan sebagai penguat utama yang memberikan kekuatan dan kekakuan tinggi, sehingga menjaga integritas struktural material saat menerima beban. Sebaliknya, serat bambu berkontribusi terhadap peningkatan ketangguhan dan kemampuan penyerapan energi, sekaligus menurunkan biaya produksi dan dampak lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa komposit *hybrid* berbasis serat alam dan serat sintetis mampu meningkatkan kekuatan lentur dan ketahanan impact secara signifikan dibandingkan komposit serat tunggal, sehingga relevan untuk aplikasi helm yang menuntut performa mekanik dan aspek keberlanjutan secara bersamaan (Piliyang dkk., 2024).

Penelitian mengenai helm berbasis material komposit telah berkembang cukup luas dalam beberapa tahun terakhir. Namun, sebagian besar studi masih menitikberatkan pada penggunaan serat tunggal, baik serat karbon maupun serat alam yang diaplikasikan secara terpisah. Pendekatan ini membatasi peluang untuk memperoleh kombinasi sifat mekanik yang lebih seimbang. Kajian yang secara khusus memadukan serat karbon dan serat bambu dalam satu sistem komposit masih sangat terbatas, terutama pada aplikasi helm sepeda motor yang bekerja pada kondisi pembebanan impact dinamis (Wijaya dkk., 2025).

Selain keterbatasan tersebut, penelitian komposit *hybrid* yang ada cenderung lebih banyak mengeksplorasi kombinasi serat karbon dengan serat sintetis lain seperti serat kaca. Fokus ini menyebabkan potensi serat bambu sebagai pasangan serat karbon belum dikaji secara mendalam. Padahal, serat bambu memiliki karakteristik mekanik yang cukup baik serta keunggulan ekologis berupa ketersediaan melimpah dan sifat terbarukan. Kombinasi ini berpotensi memberikan nilai tambah pada material helm, baik dari sisi performa maupun keberlanjutan lingkungan (Syahputra dkk., 2024).

Kesenjangan penelitian juga terlihat pada aspek struktur penguatan serat dalam komposit. Banyak penelitian masih menggunakan orientasi serat acak atau *unidirectional* yang memiliki keterbatasan dalam mendistribusikan beban secara merata. Struktur *woven* diketahui mampu meningkatkan interaksi antarserat, memperbaiki distribusi tegangan, serta meningkatkan ketahanan terhadap inisiasi dan perambatan retak. Namun, kajian mengenai komposit *woven hybrid* serat karbon dan serat bambu untuk aplikasi helm sepeda motor masih jarang ditemukan dalam literatur ilmiah.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengkaji secara kuantitatif karakteristik mekanik komposit *woven hybrid* serat karbon dan serat bambu sebagai material *shell* helm. Penelitian difokuskan pada pengujian sifat mekanik utama yang relevan dengan fungsi helm. Data empiris yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan gambaran objektif mengenai kinerja material hibrid yang hingga saat ini masih terbatas dilaporkan.

Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada pengembangan konsep material helm yang mengintegrasikan kekuatan dan kekakuan tinggi dari serat karbon dengan sifat ulet dan keberlanjutan serat bambu. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan material *shell* helm dengan performa mekanik yang lebih seimbang. Hasil penelitian diharapkan dapat melengkapi studi-studi terdahulu serta menjadi referensi dalam pengembangan material helm yang aman, ringan, dan ramah lingkungan.

Seiring meningkatnya angka kecelakaan sepeda motor dan tuntutan akan alat pelindung kepala yang memiliki tingkat perlindungan lebih efektif, penelitian

mengenai komposit *woven hybrid* serat karbon dan serat bambu menjadi sangat relevan untuk dilakukan. Penelitian ini memiliki nilai penting tidak hanya dari sisi akademik dalam pengembangan ilmu material teknik, tetapi juga dari sisi praktis sebagai dasar inovasi material pada industri helm. Temuan penelitian diharapkan dapat berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan pengguna jalan di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan rumusan yang akan di analisa dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana respon mekanik pada helmet komposit *woven hybrid* akibat simulasi jatuh bebas menggunakan *ANSYS*?
2. Berapa besar tegangan maksimum yang dihasilkan komposit *woven hybrid* akibat simulasi impak jatuh bebas?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang direncanakan meliputi:

1. Helm sepeda motor dengan pemanfaatan komposit *woven hybrid* serat karbon dan serat bambu.
2. Model geometri *shell* helm dirancang menggunakan *Fusion 360*.
3. Ketebalan shell helm 2mm diatur di *ANSYS Composite PrepPost* dengan ketebalan karbon 0,5mm dan ketebalan bambu 1mm.
4. Diameter impaktor 11 mm dengan ketebalan 5 mm.
5. Analisis dilakukan menggunakan simulasi numerik *ANSYS Explicit Dynamics* uji jatuh bebas untuk mengevaluasi kekuatan material *shell* helm.
6. Komposit *hybrid* tiga lapisan dengan variasi susunan laminasi serat karbon dan serat bambu.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kemampuan penyerapan energi benturan komposit *woven hybrid* serat karbon dan serat bambu melalui pengujian jatuh bebas.

2. Menentukan nilai ketahanan terhadap gerak jatuh bebas pada material komposit *woven hybrid* serat karbon dan serat bambu.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang peneliti harapkan dengan terlaksananya penelitian ini adalah seperti berikut:

1. Bagi Mahasiswa :

- a. Merupakan penerapan dari proses belajar selama ada di bangku perkuliahan.
- b. Untuk menambah kreatifitas dan inovasi mahasiswa.
- c. Dapat menyelesaikan tugas akhir untuk menunjang keberhasilan studi guna memperoleh gelar sarjana.
- d. Dapat menambah pengetahuan tentang pembuatan sebuah karya yang baru khususnya didalam bidang teknologi otomotif dengan harapan bermanfaat bagi masyarakat.

2. Bagi Perguruan Tinggi :

Dapat memberikan kontribusi bagi masyarakat dan dapat memajukan dunia pendidikan dan dunia industri yang merupakan bentuk pengaplikasian dari Tri Dharma Perguruan Tinggi.

3. Bagi Industri :

Meningkatkan keselamatan pengendara melalui helm berkekuatan tinggi, mendorong inovasi material komposit ramah lingkungan, serta menjadi acuan teknis bagi industri helm dan pengembangan riset material komposit.