

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan material komposit yang ringan, kuat, dan ramah lingkungan semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi manufaktur moderen serta tuntutan efisiensi energi. Material komposit, yaitu perpaduan antara dua atau lebih material berbeda untuk menghasilkan sifat gabungan yang lebih unggul, kini banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor seperti transportasi, otomotif, dan konstruksi. Hal ini disebabkan karena komposit mampu memberikan kekuatan mekanik yang tinggi dengan massa yang relatif ringan. Salah satu jenis komposit yang banyak dikembangkan adalah komposit *sandwich*, yang memiliki struktur berlapis dengan inti (*core*) ringan di antara dua lapisan keras (*face sheet*). Struktur tersebut memberikan kekakuan lentur yang tinggi serta kemampuan menahan beban yang optimal (Li et al., 2020).

Salah satu arah pengembangan terbaru dalam penelitian material komposit adalah pemanfaatan bahan pengisi (*filler*) yang berasal dari limbah alami. Penggunaan sumber daya biomineral seperti cangkang telur menjadi sorotan karena kandungan utamanya berupa kalsium karbonat (CaCO_3) yang mencapai sekitar 94–97% (Arora et al., 2021). Proses sintesis CaCO_3 dari limbah cangkang telur tidak hanya memberikan nilai tambah terhadap limbah rumah tangga dan industri pangan, tetapi juga mendukung penerapan konsep ekonomi sirkular (*circular economy*). Selain itu, CaCO_3 diketahui mampu meningkatkan kekakuan, ketahanan aus, serta stabilitas termal pada material komposit berbasis polimer, terutama jika digunakan dalam bentuk serbuk halus berukuran mikron (AL-Harbi & Darwish, 2022).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan *filler* CaCO_3 yang berasal dari cangkang telur pada *epoxy resin* dapat meningkatkan sifat mekanik komposit hingga mencapai titik optimum tertentu. Menurut Azman et al., (2020) bahwa penambahan 15 % wt partikel cangkang telur mampu meningkatkan modulus lentur (*flexural modulus*) dan kekuatan lentur (*flexural strength*) secara signifikan, sebelum terjadi penurunan akibat agglomerasi *filler*. Selain itu, bahwa variasi jumlah atau fraksi volume *filler* memiliki pengaruh langsung terhadap distribusi beban, densitas, dan sifat deformasi komposit. Namun sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada persentase berat (*weight fraction*), bukan fraksi volume, padahal pendekatan berbasis *volume* dianggap lebih representatif dalam menggambarkan kontribusi *filler* terhadap komposit *sandwich*.

Komposit *sandwich* berbasis *epoxy resin* merupakan material *matriks* yang umum digunakan, karena memiliki daya adhesi yang tinggi, ketahanan kimia yang baik, serta modulus elastisitas yang besar. Selain itu, resin ini mudah diproses dan dapat berinteraksi dengan berbagai jenis bahan pengisi (*filler*), termasuk CaCO_3 yang berasal dari limbah alami (Rocco et al., 2020). Pada penelitian ini, *epoxy resin* berfungsi sebagai material *matriks*, sedangkan CaCO_3 hasil sintesis dari cangkang telur digunakan sebagai bahan penguat (*reinforcing filler*) dengan variasi fraksi volume tertentu. Fokus utama penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume CaCO_3 terhadap sifat mekanik dan fisik komposit *sandwich*.

Penelitian ini cukup penting karena menggabungkan aspek keberlanjutan lingkungan melalui pemanfaatan limbah cangkang telur dengan pendekatan rekayasa material yang berfokus pada peningkatan sifat fungsional komposit. Melalui optimasi fraksi volume *filler*, penelitian ini berupaya menghasilkan material komposit ringan yang kuat, tahan api, dan ekonomis. Selain berkontribusi terhadap pengembangan ilmu material komposit, penelitian ini juga mendukung penerapan prinsip keberlanjutan dalam bidang material teknik, sehingga memberikan nilai tambahan baik dari sisi lingkungan maupun performa material.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh fraksi volume serbuk kalsium karbonat (CaCO_3) hasil sintesis cangkang telur terhadap kekuatan impak, kekuatan bending, dan laju keterbakaran komposit *sandwich*?
2. Bagaimana pengaruh jenis serat pada skin terhadap kekuatan impak, kekuatan bending, dan laju keterbakaran komposit *sandwich*?
3. Bagaimana pengaruh interaksi fraksi volume serbuk kalsium karbonat (CaCO_3) hasil sintesis cangkang telur dan jenis serat pada skin terhadap kekuatan impak, kekuatan bending, dan laju keterbakaran komposit *sandwich*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh fraksi volume penambahan kalsium karbonat (CaCO_3) hasil sintesis cangkang telur terhadap kekuatan impak, kekuatan bending, dan laju keterbakaran komposit *sandwich*.
2. Mengetahui pengaruh jenis serat pada skin terhadap kekuatan impak, kekuatan bending, dan laju keterbakaran komposit *sandwich*.
3. Mengetahui pengaruh interaksi fraksi volume serbuk kalsium karbonat (CaCO_3) hasil sintesis cangkang telur dan jenis serat pada skin terhadap kekuatan impak, kekuatan bending, dan laju keterbakaran komposit *sandwich*?

1.4 Batasan Masalah

1. Pada pengujian keterbakaran hanya berfokus pada laju rambat api, sehingga tidak membahas parameter lain seperti kalor, perpindahan panas, konduktivitas thermal, maupun analisis termal secara mendalam.
2. Kondisi lingkungan selama proses pembuatan komposit *sandwich* (suhu dan kelembapan) dianggap konstan dan tidak memengaruhi hasil pengujian secara signifikan.

1.5 Asumsi Penelitian

1. Ukuran serbuk dianggap seragam 100 mesh.
2. Pencampuran serbuk dan *epoxy resin* dianggap merata.
3. Tekanan pada saat proses *hand lay-up* dianggap sama.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan pada laporan ini menjabarkan sistematika bagaimana penulisan yang terdiri dari beberapa bab, berikut merupakan beberapa bab yang terdiri:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I memaparkan latar belakang dan alasan dilakukannya penelitian mengenai pengembangan material komposit yang ringan, kuat, dan ramah lingkungan. Penelitian difokuskan pada pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai sumber alami kalsium karbonat (CaCO_3) untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik komposit *sandwich* berbasis *epoxy resin*. Rumusan masalah membahas pengaruh variasi fraksi volume CaCO_3 terhadap kekuatan dan ketahanan material, sedangkan tujuan penelitian adalah menentukan komposisi optimal serta menganalisis pengaruh penambahan CaCO_3 terhadap karakteristik komposit. Bab ini juga mencakup batasan dan asumsi penelitian agar kajian lebih terarah, serta sistematika penulisan yang menjelaskan isi setiap bab laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi landasan teori, konsep dasar, dan hasil penelitian terdahulu yang mendukung penelitian. Bagian awal membahas disiplin ilmu pendukung seperti proses manufaktur, material teknik, dan pengujian material. Selanjutnya teori mengenai konsep komposit dan komposit *sandwich*, serta serat karbon, serat kaca, dan serat nipah sebagai skin, cangkang telur sebagai sumber CaCO_3 . Juga dijelaskan teknologi *3D printing*, metode *hand lay-up*, serta teori pengujian impak, bending, dan laju keterbakaran. Bab ini ditutup dengan *research gap* yang menyoroti kurangnya kajian tentang pengaruh variasi fraksi volume CaCO_3 hasil sintesis terhadap sifat komposit *sandwich*.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab III menjelaskan langkah-langkah penelitian yang dilakukan secara sistematis. Penelitian ini bersifat eksperimental dengan pendekatan kuantitatif, menggunakan variabel bebas berupa fraksi volume CaCO_3 , variabel terikat hasil uji mekanik dan fisik, serta variabel kontrol seperti jenis serat dan jumlah aditif. Tahapan penelitian meliputi sintesis CaCO_3 dari cangkang telur melalui metode presipitasi, pembuatan komposit *sandwich* dengan kombinasi *3D printing* (core PLA) dan *hand lay-up* (skin serat karbon, *fiberglass*, dan nipah), serta pengujian impak, bending, dan laju keterbakaran. Data dianalisis menggunakan ANOVA untuk menentukan pengaruh fraksi volume CaCO_3 terhadap sifat mekanik dan fisik komposit *sandwich*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV menyajikan hasil penelitian mengenai pengaruh fraksi volume kalsium karbonat (CaCO_3) hasil sintesis cangkang telur dan jenis serat terhadap karakteristik mekanik serta fisik komposit *sandwich*. Hasil pengujian yang meliputi uji impak, uji bending, dan uji laju keterbakaran disajikan dalam bentuk tabel, grafik, serta dokumentasi visual untuk memudahkan interpretasi data. Selanjutnya, data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan statistik guna mengetahui pengaruh masing-masing faktor maupun interaksinya terhadap respons yang diamati. Pembahasan dilakukan dengan menghubungkan hasil penelitian terhadap teori yang relevan, mekanisme perilaku material komposit *sandwich*, serta membandingkannya dengan hasil penelitian terdahulu yang sejenis.

BAB V PENUTUP

Bab V merupakan bagian akhir dari penelitian yang berisi kesimpulan dan saran berdasarkan seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan disusun dengan mengacu pada tujuan penelitian, hasil pengujian, serta analisis data yang telah dibahas pada bab sebelumnya, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh fraksi volume CaCO_3 hasil sintesis cangkang telur dan jenis serat terhadap karakteristik mekanik dan fisik komposit *sandwich*. Selain itu, pada bab ini juga disampaikan saran yang diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya dalam upaya meningkatkan performa komposit *sandwich* melalui optimasi material, metode manufaktur, maupun parameter pengujian yang digunakan.