



# PENGEMBANGAN COMPOSITE SANDWICH CARBON FIBER CORK CORE MENGGUNAKAN METODE VACUUM INFUSION TERHADAP KEKUATAN BENDING

Muhammad Muhibuddin<sup>1)</sup>, Firman Yasa Utama<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
Email: [muhammadmuhibuddin.22041@mhs.unesa](mailto:muhammadmuhibuddin.22041@mhs.unesa)

<sup>2)</sup> Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
Email: [firmanutama@unesa.ac.id](mailto:firmanutama@unesa.ac.id)

## Abstract

Sandwich composites featuring carbon fiber skins and a cork core are lightweight materials with the potential to replace metals due to their high mechanical strength and eco-friendliness. This study aims to analyze the effect of varying the number of carbon fiber skin layers on the bending strength and failure modes of the sandwich composite. Specimens were fabricated using the vacuum infusion method with skin configurations of 4, 6, and 8 layers and tested via the three-point bending method in accordance with ASTM C393 standards. The results indicate that increasing the number of skin layers enhances the maximum bending load and core shear stress. The 8-layer configuration yielded the highest maximum bending load (66.47 kg) and core shear stress (0.769 MPa), whereas the highest face bending stress (294.62 MPa) was observed in the 4-layer configuration. Face yielding was the dominant failure mode across all specimens. The findings demonstrate that the number of skin layers influences the bending strength characteristics of carbon fiber/cork core sandwich composites.

**Keywords:** Carbon Fiber, Cork Core, Face Yield, Sandwich Composite, Bending Test.

## Abstrak

Komposit sandwich dengan skin carbon fiber dan core cork merupakan material ringan yang berpotensi menggantikan logam karena memiliki kekuatan mekanik tinggi serta lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jumlah lapisan skin carbon fiber terhadap kekuatan bending dan jenis kerusakan komposit sandwich. Spesimen dibuat menggunakan metode vacuum infusion dengan variasi skin 4, 6, dan 8 layer serta diuji menggunakan metode three-point bending berdasarkan standar ASTM C393. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan jumlah lapisan skin meningkatkan beban bending maksimum dan tegangan geser inti. Variasi 8 layer menghasilkan beban bending maksimum tertinggi sebesar 66,47 kg dan tegangan geser inti sebesar 0,769 MPa, sedangkan tegangan bending permukaan tertinggi diperoleh pada variasi 4 layer sebesar 294,62 MPa. Kerusakan yang dominan pada seluruh spesimen adalah face yield. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah lapisan skin berpengaruh terhadap karakteristik kekuatan bending komposit sandwich carbon fiber–cork core.

**Kata Kunci:** Carbon Fiber, Cork Core, Face Yield, Komposit Sandwich, Uji Bending Vacuum Infusion.



## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material komposit mengalami kemajuan yang signifikan seiring dengan meningkatnya kebutuhan industri di berbagai sektor. Material komposit kini banyak diaplikasikan sebagai komponen pada kendaraan bermotor, baik mobil maupun sepeda motor, karena memiliki karakteristik yang unggul dibandingkan material konvensional (Tjahaya & Purna Irawan, 2021). Selama ini, logam masih mendominasi sebagai material utama dalam industri manufaktur, namun ketersediaan bahan baku yang semakin terbatas menyebabkan kenaikan harga dan biaya produksi. Kondisi tersebut mendorong perlunya alternatif material yang memiliki bobot ringan, kekuatan mekanik yang baik, serta efisiensi biaya, salah satunya adalah material komposit yang dinilai mampu memenuhi kebutuhan tersebut (Siregar et al., 2019). Komposit merupakan gabungan dua atau lebih material untuk memperoleh sifat unggul dari masing-masing komponennya, yang terdiri atas matriks sebagai pengikat dan pelindung, serta penguat (*reinforcement*) untuk meningkatkan kekuatan mekanik. Umumnya, matriks menggunakan resin polimer dan penguat berupa serat sintesis seperti serat karbon (Rodiawan et al., 2016).

Berbagai jenis komposit telah dikembangkan, baik berbasis bahan sintesis maupun bahan alam, dengan keunggulan dan keterbatasan masing-masing. Salah satu struktur komposit yang banyak dikembangkan adalah komposit *sandwich*, yaitu struktur berlapis tiga atau lebih yang terdiri dari dua lapisan kulit luar (*skin*) dan satu lapisan inti (*core*) di bagian tengah. Komposit *sandwich* memiliki keunggulan berupa bobot yang ringan, namun tetap memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi teknik seperti transportasi dan konstruksi (Saputra et al., 2023).

Proses manufaktur yang digunakan dalam pembuatan komposit *sandwich* pada penelitian ini adalah metode *vacuum infusion*. Metode ini mampu menghasilkan distribusi resin yang lebih merata pada serat, menghindari penumpukan resin di area tertentu, serta menghasilkan laminasi yang homogen dan berkualitas tinggi. Selain itu, metode ini termasuk dalam kategori proses cetakan tertutup yang modern, efisien dalam penggunaan material, serta mampu meminimalkan cacat seperti *void* atau area dengan kekuatan tidak seragam (Putra & Rasyid, 2025).

Meningkatnya isu lingkungan terkait limbah non-organik dari serat sintesis juga mendorong perkembangan teknologi menuju penggunaan komposit alami (*natural composite*) yang lebih ramah lingkungan. Komposit berbasis serat sintesis seperti *fiberglass* memiliki kelemahan karena tidak dapat terurai secara alami dan bergantung pada minyak bumi yang ketersediaannya semakin menipis. Oleh karena itu, penelitian terhadap serat dan material alami terus dikembangkan sebagai alternatif material berkelanjutan (Made Astika et al., 2016).

Salah satu material alami yang potensial digunakan sebagai *core* pada komposit *sandwich* adalah *cork* (gabus alami atau *cork agglomerate*). *Cork* (gabus alami) merupakan material inti (*core*) berbasis alam yang berpotensi diaplikasikan pada struktur komposit *sandwich*.

Material ini berasal dari kulit pohon *Quercus suber L.* dan umumnya digunakan dalam bentuk *cork agglomerate*. *Cork* memiliki densitas rendah, kemampuan penyerapan energi benturan yang baik, serta ketahanan terhadap kelembapan dan degradasi biologis, sehingga sesuai untuk aplikasi struktural ringan (Urbaniak et al., 2017). Dari aspek keselamatan kebakaran, *cork* menunjukkan emisi asap dan tingkat toksisitas yang relatif rendah saat terpapar suhu tinggi, serta didukung oleh sifat mekanik dan karakteristik pemrosesan yang baik. Struktur sel udara tertutup pada *cork* berkontribusi terhadap rendahnya penyerapan air dan ketahanan terhadap beban impact. Karakteristik tersebut menjadikan *cork* sebagai material ramah lingkungan yang telah banyak diaplikasikan pada industri penutup botol, isolasi termal dan akustik, serta sektor transportasi dan dirgantara (Santos et al., 2022).

Hasil Penelitian yang dilakukan oleh (Urbaniak et al., 2017). menunjukkan bahwa komposit dengan inti natural *cork agglomerate* (*Core cork NL10 dan NL20*) memiliki kekuatan lentur masing-masing sebesar 9,6 MPa dan 11,9 MPa. Penelitian (Salam & Utama, 2025). menunjukkan bahwa penambahan jumlah lapisan serat karbon berpengaruh langsung terhadap peningkatan kekuatan tarik. Data pengujian memperlihatkan bahwa spesimen dengan tiga lapisan serat karbon memiliki kekuatan tarik tertinggi dengan nilai rata-rata sebesar 156,46 MPa, sedangkan spesimen dengan satu lapisan menunjukkan nilai kekuatan tarik terendah sebesar 76,77 MPa. Sementara itu, hasil penelitian oleh (Prayoga et al., 2018). melaporkan bahwa komposit *sandwich* dengan variasi *skin* empat lapis menghasilkan kekuatan bending tertinggi, yaitu 24,22 MPa untuk empat lapisan dan 21,53 MPa untuk dua lapisan. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lapisan serat atau *skin* berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kekuatan mekanik komposit *sandwich*, khususnya dalam pengujian kekuatan bending.

Pengembangan komposit *sandwich carbon fiber-cork core* dilakukan karena kebutuhan material struktural ringan yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat tinggi serta lebih ramah lingkungan. (Urbaniak et al., 2017) menyatakan bahwa *cork agglomerate* memiliki densitas rendah, kemampuan penyerapan energi yang baik, serta ketahanan *fatigue* tinggi sehingga potensial digunakan sebagai *core* pada struktur *sandwich*. Selain itu, (Santos et al., 2022) melaporkan bahwa panel *sandwich* berbasis *cork* menunjukkan performa mekanik yang baik pada aplikasi *lightweight structure* yang bisa diterapkan untuk industri otomotif.

Pengujian bending dipilih karena struktur *sandwich* pada aplikasi nyata lebih dominan menerima pembebanan lentur. Uji bending merupakan metode standar untuk mengevaluasi tegangan pada *skin* dan tegangan geser pada *core* secara simultan (Standard, 2006). Penelitian lain juga menyatakan bahwa pengujian bending efektif dalam mengidentifikasi mekanisme kegagalan khas komposit *sandwich* seperti *face failure*, *core shear*, dan delaminasi (Gibson, 2016).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan material komposit *sandwich* dengan



skin serat karbon dan inti *cork* (*carbon fiber-cork core*) dengan variasi jumlah lapisan *skin* menggunakan metode *vacuum infusion* terhadap kekuatan bending. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh komposisi yang optimal serta menghasilkan data eksperimental yang efisien sebagai dasar pengembangan material komposit *sandwich* yang ramah lingkungan dan memiliki performa mekanik yang baik.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Komposit Sandwich

Komposit sandwich merupakan material komposit yang tersusun atas dua lapisan luar (*face sheet* atau *skin*) yang memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi serta satu lapisan inti (*core*) yang ringan. Kombinasi tersebut menghasilkan struktur dengan rasio kekuatan terhadap berat (*strength-to-weight ratio*) dan kekakuan terhadap berat (*stiffness-to-weight ratio*) yang tinggi dibandingkan material konvensional seperti baja maupun aluminium. Struktur sandwich banyak diaplikasikan pada industri kedirgantaraan, otomotif, perkapalan, energi angin, dan konstruksi karena mampu menahan beban lentur secara efisien dengan massa yang relatif rendah.

Prinsip kerja komposit sandwich didasarkan pada pembagian fungsi setiap komponennya. Lapisan skin berperan menahan tegangan tarik dan tekan akibat pembebanan lentur, sedangkan lapisan core berfungsi mempertahankan jarak antar skin, menahan gaya geser, mendistribusikan beban, serta meningkatkan kekakuan struktur. Semakin baik ikatan antara skin dan core, semakin optimal pula kemampuan struktur dalam menahan beban tanpa mengalami delaminasi maupun kegagalan dini.

### Carbon Fiber sebagai Material Skin

Carbon fiber merupakan salah satu material penguat yang banyak digunakan pada komposit karena memiliki kekuatan tarik, modulus elastisitas, ketahanan korosi, dan stabilitas termal yang tinggi dengan massa jenis yang rendah. Karakteristik tersebut menjadikan carbon fiber sebagai pilihan utama pada struktur yang membutuhkan performa mekanik tinggi, terutama pada aplikasi yang mengutamakan efisiensi berat.

Pada komposit sandwich, carbon fiber berfungsi sebagai lapisan skin yang menerima tegangan tarik dan tekan selama proses pembebanan. Jumlah lapisan carbon fiber sangat memengaruhi ketebalan skin, kekakuan lentur, kapasitas pembebanan, serta mekanisme kegagalan yang terjadi. Penambahan jumlah lapisan umumnya meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan beban, meskipun juga berpotensi mengubah distribusi tegangan dan pola kerusakan.

### Cork sebagai Material Core

Cork merupakan material alami yang diperoleh dari kulit pohon *Quercus suber* L. Material ini memiliki struktur sel tertutup yang memberikan karakteristik ringan, elastis, mampu menyerap energi, serta memiliki sifat isolasi termal dan akustik yang baik. Selain itu, cork merupakan material yang dapat diperbarui (*renewable*), dapat didaur ulang, dan

memiliki dampak lingkungan yang relatif rendah dibandingkan material inti sintetis.

Sebagai material core pada komposit sandwich, cork berfungsi menahan tegangan geser dan menjaga stabilitas skin terhadap pembebanan lentur. Struktur seluler cork memungkinkan material menyerap energi benturan secara efektif sehingga banyak dimanfaatkan pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap dampak dan getaran. Penggunaan cork juga mendukung pengembangan material komposit yang lebih berkelanjutan.

### Metode Vacuum Infusion

Vacuum infusion merupakan salah satu metode fabrikasi komposit dengan memanfaatkan tekanan vakum untuk mengalirkan resin ke dalam serat penguat yang telah disusun di atas cetakan. Metode ini menghasilkan distribusi resin yang lebih merata, mengurangi kandungan rongga (*void*), meningkatkan kualitas ikatan antar lapisan, serta menghasilkan fraksi volume serat yang lebih tinggi dibandingkan metode *hand lay-up*.

Keunggulan lain dari vacuum infusion adalah efisiensi penggunaan resin, kualitas permukaan yang lebih baik, serta kemampuan menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang lebih konsisten. Oleh karena itu, metode ini banyak digunakan dalam penelitian maupun industri untuk memproduksi komposit berkinerja tinggi.

### Pengujian Bending Komposit Sandwich

Pengujian bending merupakan salah satu metode utama untuk mengevaluasi kemampuan komposit sandwich dalam menahan pembebanan lentur. Pengujian umumnya dilakukan menggunakan metode *three-point bending* berdasarkan standar ASTM C393 yang dirancang khusus untuk struktur sandwich. Parameter yang diperoleh meliputi beban maksimum, tegangan bending permukaan (*facing bending stress*), tegangan geser inti (*core shear stress*), serta defleksi spesimen.

Pada pembebanan lentur, skin bagian atas mengalami tegangan tekan, sedangkan skin bagian bawah mengalami tegangan tarik. Sementara itu, core menerima tegangan geser yang berfungsi menjaga kestabilan kedua lapisan skin. Hasil pengujian bending memberikan informasi mengenai kapasitas struktur serta efektivitas interaksi antara skin dan core dalam menahan beban.

### Mekanisme Kerusakan Komposit Sandwich

Kegagalan pada komposit sandwich dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, antara lain *face yield*, *face wrinkling*, *core shear failure*, *core crushing*, *skin-core debonding*, dan delaminasi. Jenis kerusakan yang muncul dipengaruhi oleh sifat material penyusun, kualitas ikatan antarlapisan, ketebalan skin, karakteristik core, serta kondisi pembebanan.

Pada struktur dengan skin carbon fiber dan core cork, mekanisme kerusakan yang sering dijumpai adalah *face yield*, yaitu deformasi plastis atau kerusakan pada lapisan skin akibat tegangan lentur yang tinggi. Analisis terhadap pola kerusakan sangat penting untuk memahami perilaku mekanik komposit sekaligus menjadi dasar dalam



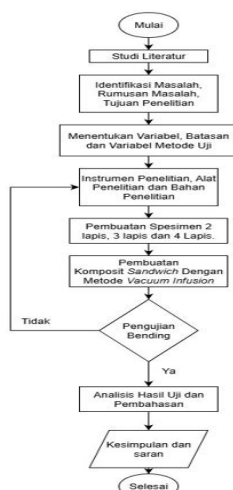
pengembangan desain struktur sandwich yang lebih kuat, ringan, dan andal.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah lapisan (*layer*) skin carbon fiber terhadap kekuatan bending komposit sandwich dengan inti (*core*) cork. Penelitian dilaksanakan di laboratorium material komposit melalui tahapan persiapan material, proses fabrikasi spesimen, pengujian mekanik, hingga analisis data. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah lapisan skin carbon fiber yang terdiri atas 4, 6, dan 8 layer, sedangkan variabel terikat meliputi beban bending maksimum, tegangan bending permukaan (*facing bending stress*), tegangan geser inti (*core shear stress*), serta jenis kerusakan yang terjadi setelah pengujian.

Material yang digunakan terdiri atas carbon fiber anyaman 2x2 twill 3K dengan berat areal 240 gsm sebagai lapisan skin, cork tipe NL20 sebagai material inti, resin epoksi beserta hardener sebagai matriks, serta bahan pendukung proses fabrikasi seperti peel ply, flow media, vacuum bag, sealant tape, spiral tube, dan selang vakum. Seluruh material dipersiapkan sesuai ukuran spesimen yang mengacu pada standar pengujian ASTM C393 sehingga diperoleh dimensi yang seragam pada setiap variasi spesimen.

Pembuatan komposit sandwich dilakukan menggunakan metode *vacuum infusion*. Susunan material diawali dengan penyusunan lapisan carbon fiber sesuai variasi penelitian, kemudian core cork ditempatkan pada bagian tengah dan ditutup kembali dengan lapisan carbon fiber sehingga membentuk struktur sandwich yang simetris. Setelah seluruh material tersusun, sistem ditutup menggunakan vacuum bag dan dilakukan proses vakum untuk mengeluarkan udara dari dalam cetakan. Resin epoksi kemudian dialirkan melalui media aliran hingga mengimpregnasi seluruh lapisan serat secara merata. Setelah proses infusi selesai, spesimen dibiarkan mengalami proses curing pada suhu ruang hingga resin mengeras sempurna sebelum dipotong sesuai dimensi pengujian.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Pengujian mekanik dilakukan menggunakan metode *three-point bending* berdasarkan standar ASTM C393. Spesimen ditempatkan pada dua tumpuan dengan jarak bentang tertentu, kemudian diberikan pembebanan secara bertahap hingga terjadi kegagalan. Selama proses pengujian dicatat nilai beban maksimum yang mampu ditahan spesimen. Berdasarkan data tersebut dihitung nilai tegangan bending permukaan (*facing bending stress*) dan tegangan geser inti (*core shear stress*) menggunakan persamaan yang direkomendasikan dalam standar ASTM C393. Setelah pengujian selesai, seluruh spesimen diamati secara visual untuk mengidentifikasi mekanisme kerusakan yang terjadi.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai rata-rata setiap parameter pada masing-masing variasi jumlah lapisan skin carbon fiber. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan jumlah lapisan terhadap karakteristik kekuatan bending komposit sandwich. Selanjutnya, hasil pengamatan pola kerusakan dikaitkan dengan data mekanik yang diperoleh sehingga dapat dijelaskan hubungan antara konfigurasi struktur sandwich, kapasitas pembebanan, serta mekanisme kegagalan yang terjadi pada setiap variasi spesimen.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Perhitungan Komposisi Material Spesimen

Sebelum proses fabrikasi dilakukan, terlebih dahulu dihitung kebutuhan volume material berdasarkan dimensi spesimen yang mengacu pada standar ASTM C393. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh komposisi material yang seragam sehingga seluruh spesimen memiliki dimensi dan fraksi volume yang konsisten. Dimensi spesimen yang digunakan adalah panjang 200 mm, lebar 75 mm, dan ketebalan disesuaikan dengan variasi jumlah lapisan skin. Perhitungan meliputi volume cetakan, volume serat karbon, volume core cork, volume matriks, serta kebutuhan resin dan hardener.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Komposisi Material Spesimen Variasi 4 Layer

Parameter	Nilai
Volume Cetakan	105 cm <sup>3</sup>
Volume Serat Karbon	13,2 cm <sup>3</sup> (12,6%)
Volume Cork Core	75,0 cm <sup>3</sup> (71,4%)
Volume Matriks	16,8 cm <sup>3</sup> (16,0%)
Volume Resin	11,2 cm <sup>3</sup>
Volume Hardener	5,6 cm <sup>3</sup>

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa core cork mendominasi volume spesimen sebesar 71,4%, sedangkan serat karbon hanya sebesar 12,6%. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa struktur sandwich tetap mempertahankan karakteristik ringan karena sebagian besar volume diisi oleh material inti. Sementara itu, matriks epoksi sebesar 16% berfungsi mengikat serat karbon dan core sehingga terbentuk ikatan antarlapisan yang baik selama proses vacuum infusion.



### Hasil Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan menggunakan metode *three-point bending* berdasarkan ASTM C393. Masing-masing variasi jumlah lapisan skin terdiri atas tiga spesimen sehingga diperoleh nilai rata-rata yang mewakili setiap perlakuan. Pengujian bertujuan mengetahui kemampuan spesimen dalam menahan beban lentur maksimum sebelum mengalami kegagalan.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Beban Bending Maksimum

Jumlah Layer	Spesimen 1 (kg)	Spesimen 2 (kg)	Spesimen 3 (kg)	Rata-rata (kg)
4 Layer	48,60	47,20	43,40	46,40
6 Layer	61,40	60,20	54,60	58,73
8 Layer	70,40	66,20	62,80	66,47

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa peningkatan jumlah lapisan skin memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan beban bending maksimum. Variasi 8 layer menghasilkan nilai rata-rata tertinggi sebesar 66,47 kg, diikuti variasi 6 layer sebesar 58,73 kg dan 4 layer sebesar 46,40 kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan lapisan carbon fiber meningkatkan kekakuan struktur sehingga spesimen mampu menerima beban yang lebih besar sebelum mengalami kerusakan. Ketebalan skin yang semakin besar menyebabkan distribusi tegangan menjadi lebih merata dan meningkatkan kapasitas struktur sandwich dalam menahan pembebanan lentur.

### Hasil Perhitungan Tegangan Bending dan Tegangan Geser Core

Selain beban maksimum, dilakukan perhitungan tegangan bending permukaan (*facing bending stress*) dan tegangan geser inti (*core shear stress*) berdasarkan persamaan ASTM C393. Kedua parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi perilaku mekanik struktur sandwich selama menerima pembebanan lentur.

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Tegangan Bending Permukaan dan Tegangan Geser Inti

Jumlah Layer	Tegangan Bending (MPa)	Tegangan Geser Core (MPa)
4 Layer	294,62	0,589
6 Layer	153,85	0,718
8 Layer	88,77	0,769

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa tegangan bending permukaan mengalami penurunan seiring bertambahnya jumlah lapisan skin. Variasi 4 layer menghasilkan tegangan bending tertinggi sebesar 294,62 MPa, sedangkan variasi 8 layer hanya sebesar 88,77 MPa. Kondisi ini terjadi karena pada persamaan ASTM C393 nilai tegangan bending dipengaruhi oleh ketebalan total sandwich. Semakin besar ketebalan skin dan struktur sandwich, maka luas penampang efektif meningkat sehingga tegangan yang bekerja pada permukaan menjadi lebih kecil walaupun beban maksimum yang mampu ditahan semakin besar.

Sebaliknya, tegangan geser inti mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah lapisan skin. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi 8 layer sebesar 0,769 MPa, diikuti variasi 6 layer sebesar 0,718 MPa dan variasi 4 layer sebesar 0,589 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan ketebalan skin meningkatkan kemampuan transfer beban menuju core sehingga inti cork menerima gaya geser yang lebih besar tanpa mengalami kegagalan dini. Ikatan antara skin carbon fiber dan core cork yang dihasilkan melalui proses vacuum infusikan juga berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan menahan tegangan geser.

### Analisis Mekanisme Kerusakan

Hasil observasi setelah pengujian menunjukkan bahwa mekanisme kerusakan yang dominan pada seluruh spesimen adalah *face yield*. Kerusakan diawali dengan deformasi pada lapisan skin sisi tekan akibat meningkatnya tegangan lentur, sedangkan core cork tetap mampu mempertahankan bentuk struktur hingga mendekati beban maksimum. Tidak ditemukan indikasi *debonding* maupun *core crushing* yang signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses impregnasi resin menghasilkan ikatan yang baik antara skin dan core.

Perbedaan jumlah lapisan skin juga memengaruhi karakteristik kegagalan spesimen. Variasi 4 layer mengalami deformasi lebih cepat karena ketebalan skin relatif tipis sehingga kekakuannya lebih rendah. Sebaliknya, variasi 8 layer menunjukkan deformasi yang lebih kecil dan mampu mempertahankan integritas struktur lebih lama sebelum mengalami *face yield*. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan jumlah lapisan carbon fiber tidak hanya meningkatkan kapasitas pembebanan, tetapi juga memperbaiki distribusi tegangan dan meningkatkan stabilitas struktur sandwich secara keseluruhan.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi jumlah lapisan *skin* carbon fiber terhadap kekuatan bending komposit sandwich dengan *core cork*, dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah lapisan *skin* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik mekanik komposit. Semakin banyak jumlah lapisan *skin*, semakin besar kemampuan spesimen dalam menahan beban lentur maksimum. Variasi 8 layer menghasilkan nilai rata-rata beban bending maksimum tertinggi sebesar 66,47 kg, menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan *skin* mampu meningkatkan kekakuan dan kapasitas pembebanan struktur sandwich.

Meskipun demikian, nilai tegangan bending permukaan (*facing bending stress*) mengalami penurunan seiring bertambahnya jumlah lapisan *skin*. Variasi 4 layer menghasilkan nilai tegangan bending permukaan tertinggi sebesar 294,62 MPa, sedangkan variasi 8 layer memiliki nilai yang lebih rendah akibat meningkatnya ketebalan total struktur sesuai persamaan ASTM C393. Sebaliknya, tegangan geser inti (*core shear stress*) meningkat dengan bertambahnya jumlah lapisan *skin*, dengan nilai tertinggi sebesar 0,769 MPa pada variasi 8 layer. Hasil ini



menunjukkan bahwa penambahan lapisan *skin* meningkatkan kemampuan struktur dalam mentransfer beban ke *core* sehingga ketahanan terhadap gaya geser menjadi lebih baik.

Hasil pengamatan terhadap mekanisme kegagalan menunjukkan bahwa seluruh variasi spesimen, yaitu 4 layer, 6 layer, dan 8 layer, mengalami jenis kerusakan yang sama berupa *face yield*. Kerusakan tersebut ditandai oleh deformasi pada lapisan *skin* akibat dominasi tegangan lentur selama proses pembebanan, sementara *core* cork masih mampu mempertahankan integritas struktur. Dengan demikian, jumlah lapisan *skin* terbukti berpengaruh terhadap kapasitas pembebanan dan distribusi tegangan, namun tidak mengubah mekanisme kegagalan utama pada komposit sandwich carbon fiber–cork core.

### Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan variasi ketebalan *core*, jenis material *skin*, maupun konfigurasi susunan laminasi sehingga pengaruh masing-masing parameter terhadap kekuatan bending dan sifat mekanik lainnya dapat dianalisis secara lebih mendalam. Selain itu, penggunaan material inti maupun serat yang berbeda dapat menjadi alternatif dalam memperoleh struktur komposit sandwich yang lebih ringan dan memiliki performa mekanik yang lebih optimal.

Pengembangan proses fabrikasi juga perlu dilakukan, misalnya melalui optimasi metode *vacuum infusion*, pengendalian fraksi volume serat dan resin, serta peningkatan kualitas ikatan antara *skin* dan *core*. Upaya tersebut diharapkan mampu mengurangi cacat manufaktur seperti *void*, delaminasi, maupun ketidaksempurnaan impregnasi resin yang dapat menurunkan sifat mekanik komposit.

Selain pengujian bending, penelitian berikutnya juga disarankan melakukan pengujian mekanik lainnya, seperti uji tarik, uji tekan, uji dampak, dan uji kelelahan (*fatigue*), serta analisis mekanisme patahan secara lebih rinci menggunakan pengamatan makroskopik maupun mikroskopik. Dengan demikian, karakteristik mekanik dan perilaku kegagalan komposit sandwich carbon fiber–cork core dapat dipahami secara lebih komprehensif sehingga mendukung pengembangan material untuk aplikasi struktural.

### DAFTAR PUSTAKA

Arib, M. F., Rahayu, M. S., Rusdy, A. S., & Afgani, M. W. (2024). Experimental Research Dalam Penelitian Pendidikan. *Journal Of Social Science Research*, 4, 5497–5511. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative%0AExperimental>

Astasari, A., Sutikno, S., & Wijanarko, W. (2017). Bending and Torsional Characteristics of Carbon Fiber and Balsa Wood Sandwich Composite. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(2), 5. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2017i2.2270>

Asyahid, A., Nurgesang, F. A., & Purwaningrum, Y. (2022). *Studi Pengaruh Perbandingan Resin-Katalis Dan Tekanan Vacuum Terhadap Kekuatan Bending*

*Untuk Pembuatan Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion*. 1–3.

Diana, L., Safitra, A. G., & Ariansyah, M. N. (2020). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 4(2), 59–67. [https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal\\_ENGINE/article/view/754](https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal_ENGINE/article/view/754)

Fajarudin, H., & Widodo, R. D. (2021). Kekuatan Tarik Material Fiber Carbon Dan Fiber Glass Berdasarkan Orientasi Serat Berbasis Matriks epoxy. *Jurnal Inovasi Mesin*, 3(1), 20–26. <https://doi.org/10.15294/jim.v3i1.48939>

Gibson, R. F. (2016). Principles of Composite Material Mechanics, Fourth Edition. In *Principles of Composite Material Mechanics, Fourth Edition*. <https://doi.org/10.1201/b19626>

Hastuti, S., Pramono, C., & Paryono, P. (2022). Peningkatan Kekuatan Mekanik Komposit Sandwich Serat Kenaf dengan Core Kayu Albizzia Falcataria untuk Material Dinding Komposit. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17(2), 249. <https://doi.org/10.32497/jrm.v17i2.3216>

Junaedi, H., Khan, T., & Sebaey, T. (2023). Characteristics of Carbon-Fiber Reinforced Polymer Face Sheet and Glass-Fiber-Reinforced Rigid Polyurethane Foam Sandwich Structures under Flexural and Compression Tests. *Materials*, 16(14), 5101. <https://doi.org/10.3390/ma16145101>

Kumar, P., Ajit, K. P., & Varun, J. P. (2024). Fabrication and failure characteristics of asymmetric balsa-core based fibre composite sandwich beams under 3-point bending test. *Heliyon*, 10(5), e26502. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26502>

Kurniawan, N. A., Setiawan, F., & Sofyan, E. (2022). Pengujian Tarik Komposit Spesimen Campuran Serat Pisang Alur Diagonal Dan Pasir Besi Dengan Matrik Resin Polyester Dengan Metode Hand Lay-Up. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2), 281–288. <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.657>

Made Astika, I., Gusti, I., & Dwijana, K. (2016). Kekuatan Lentur Komposit Sandwich Serat Tapis Kelapa Dengan Core Kayu Albasia. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 9(1), 29–32. [http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem\\*Korespondensi:Tel./Fax.:628164748992/6236170](http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem*Korespondensi:Tel./Fax.:628164748992/6236170). *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 9(1), 29–32. [http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem\\*Korespondensi:Tel./Fax.:628164748992/62361703321](http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem*Korespondensi:Tel./Fax.:628164748992/62361703321)

Maulida, S., & Utama, F. Y. (25 C.E.). Pengaruh Rasio Inti Terhadap Hasil Uji Bending Pada Panel Sandwich Polyurethane Berpenguat Serat Karbon. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya*, 14, 37–42.



- <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/71810>
- Naomi, I. A., & Utama, F. Y. (2025). *Analysis of Fiber Orientation on the Bending Strength of Aluminium-Carbon Fiber FML Composites*. 8(1), 19–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/inajet.v8n1.p19-24>
- Naubnome, V., & Silatama, A. F. (2022). Pengaruh Variasi Bentuk Core pada Aluminium Komposit Sandwich Panel Structure Terhadap Kekuatan Mekanik. *Jurnal Ilmiah MOMENTUM*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.36499/jim.v18i1.5809>
- Oliviandes, F. (2021). Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan Skin Pada Komposit Sandwich Terhadap Uji Bending. *Universitas Islam Indonesia*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37824>
- Paundra, F., Rivaldo Aritonang, J., Pujiyulianto, E., Abdul, A., & Elmiawan, P. (2025). Pengaruh Variasi Waktu Curing Pada Kegagalan Uji Bending Komposit Sandwich Serat Karbon Dengan Core PVC Foam. *Infotekmesin*, 16(2), 425–432. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v16i2.2730>
- Prayoga, A., Eryawanto, B., Mesin, J. T., & Sriwijaya, U. (2018). PENGARUH KETEBALAN SKIN TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN TARIK KOMPOSIT SANDWICH DENGAN hONEYCOMB POLYPROPYLENE SEBAGAI CORE. *JURNAL REKAYASA MESIN*, 18(1), 23–28. [https://www.academia.edu/99335908/PENGARUH\\_KETEBALAN\\_SKIN\\_TERHADAP\\_KEKUATAN\\_BENDING\\_DAN\\_TARIK\\_KOMPOSIT\\_SANWICH\\_DENGAN\\_hONEYCOMB\\_POLYPROPYLENE\\_SEBAGAI\\_CORE](https://www.academia.edu/99335908/PENGARUH_KETEBALAN_SKIN_TERHADAP_KEKUATAN_BENDING_DAN_TARIK_KOMPOSIT_SANWICH_DENGAN_hONEYCOMB_POLYPROPYLENE_SEBAGAI_CORE)
- Putra, C. M. K., & Rasyid, A. H. A. (2025). PENGGUNAAN CORE LANTORSORIC PADA KOMPOSIT TULANGAN BODI MOBIL PROTOTYPE GARNESA. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya*, 14, 115–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/jtm.v14n02>
- Rodiawan, R., Suhdi, S., & Rosa, F. (2016). Analisa Sifat-Sifat Serat Alam Sebagai Penguat Komposit Ditinjau Dari Kekuatan Mekanik. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 39–43. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.117>
- Salam, A. D., & Utama, F. Y. (2025). PENGARUH KEKUATAN LAPISAN SERAT KARBON DENGAN INTI LANTOR SORIC MENGGUNAKAN UJI TARIK. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya*, 4, 49–54. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/71857>
- Sandi, M. (2020). Karakteristik Kekuatan Bending Komposit Sandwich Hybrid Serat Sisal Dan Serat Nanas Dengan Filler Serbuk Batu Apung Menggunakan Core Styrofoam Bermatrik Polyester. *Repository UNRAM*. <https://eprints.unram.ac.id/id/eprint/16956>
- Santos, P., Bouhemame, N., Reis, P. N. B., & Bezazi, A. (2022). Impact characterization of bio-based sandwich panels with cork core. *Procedia Structural Integrity*, 37(C), 833–840. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.02.016>
- Saputra, B. A., Putra, I. R., & Setiawan, F. (2023). PENGARUH KONFIGURASI STRUKTUR TERHADAP KEKUATAN BENDING DARI KOMPOSIT SANDWICH 3D PRINTING. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(1), 10–19. <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i1.771>
- Sari, D., Natalia, M., & Atmaja, J. (2022). Carbon Fiber Reinforced Polymer Sebagai Bahan Retrofit Struktur Rumah Tinggal. *Jurnal ABDIMAS: Pengabdian Dan Pengembangan Masyarakat*, 4(2), 92–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.30630/jppm.v4i2.884>
- Setiawan, F., Sakti, F. B., & Wicaksono, D. (2024). Effect Variation of Temperature and Stirring Speed on the Bending Test of Fiberglass Fiber Composite Materials Using the Vacuum Assisted Resin Infusion (Vari Method. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(3), 1227–1239. <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i3.1469>
- Siregar, H. A., Umroh, B., Kurniadi, D., Studi, P., Mesin, T., & Area, U. M. (2019). SIMULASI KEKUATAN MEKANIS MATERIAL KOMPOSIT TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA MECHANICAL STRENGTH SIMULATION OF COCONUT SHELL COMPOSITE MATERIAL USING FINITE ELEMENT METHOD. *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, 3(01), 39–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.31289/jmemme.v3i1.2443>
- Soydan, Z., Şahin, F. İ., & Acaralı, N. (2024). Advancements in polymeric matrix composite production: A review on methods and approaches. *Turkish Journal of Engineering*, 8(4), 677–686. <https://doi.org/10.31127/tuje.1468998>
- Standard, A. (2006). ASTM C393-06. Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure. *ASTM International*, i, 1–7.
- Tjahaya, H., & Purna Irawan, A. (2021). Simulasi Perbandingan Tegangan Statis Komponen Pintu Mobil Berbahan Aluminium Dan Komposit Bambu. *Poros*, 17(2), 70–78. <https://doi.org/10.24912/poros.v17i2.20014>
- Urbaniak, M., Goluch-Goreczna, R., & Bledzki, A. K. (2017). Natural cork agglomerate as an ecological alternative in constructional sandwich composites. *BioResources*, 12(3), 5512–5524.



<https://doi.org/10.15376/biores.12.3.5512-5524>

Utomo, W. B., & Drastiawati, N. S. (2021). PENGARUH VARIASI JENIS CORE, TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING TERHADAP KARAKTERISTIK BENDING KOMPOSIT SANDWICH SERAT KARBON DENGAN METODE VACUUM INFUSION. *JURNAL TEKNIK MESIN UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA*, 9(1), 1–10.

<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/40998>

Widodo, E., & Iswanto. (2022). BUKU AJAR Mekanika Komposit dan BioKomposit. In M. T. Multazam, S.H.,M.Kn & M. D. Kusuma Wardana, M.Pd (Eds.), *UMSIDA PRESS* (p. 91). UMSIDA Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.21070/2022/978-623-464-042-7>