

## PENGARUH RASIO INTI TERHADAP HASIL UJI BENDING PADA PANEL *SANDWICH POLYURETHANE* BERPENGUAT SERAT KARBON

**Sita Maulida**

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [sitamaulida.21037@mhs.unesa.ac.id](mailto:sitamaulida.21037@mhs.unesa.ac.id)

**Firman Yasa Utama**

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [firmanutama@unesa.ac.id](mailto:firmanutama@unesa.ac.id)

### Abstrak

Perkembangan material mendorong inovasi untuk menghasilkan bahan yang ringan namun tetap memiliki kekuatan tinggi, khususnya pada komponen struktural kendaraan. Material logam seperti baja dan aluminium memang masih menjadi pilihan utama karena keunggulan sifat mekaniknya, tetapi bobot yang berat menjadi tantangan dalam pengembangan struktur yang efisien. Sebagai solusi, penerapan komposit *sandwich* dengan inti *polyurethane* dan penguat serat karbon semakin banyak dikembangkan. Komposit *sandwich* ini mengandalkan kombinasi serat karbon sebagai lapisan luar untuk kekuatan dan ketahanan, sementara inti *polyurethane* berperan menambah kekakuan serta menurunkan berat struktur secara keseluruhan. Penelitian ini menganalisa pengaruh variasi rasio komposisi *polyurethane* (A: *polyol*, B: *isocyanate*) 30:70, 50:50, dan 40:60 pada komposit *sandwich* panel yang diperkuat serat karbon terhadap hasil uji bending. Spesimen dibuat dengan metode *vacuum infusion*, kemudian dilakukan pengujian bending berdasarkan standar ASTM C-393, serta dilengkapi analisa visual foto makro untuk mengamati jenis kerusakan. Hasil menunjukkan rasio 30:70 memberikan performa terbaik, dengan tegangan bending rata-rata tertinggi 60,91 MPa dan tegangan geser inti paling tinggi. Kerusakan paling parah terjadi pada rasio 50:50 dengan tegangan bending rata-rata 44,08 MPa, berupa *face yield*, *core shear*, dan delaminasi.

**Kata Kunci:** Komposit *sandwich*, *polyurethane*, serat karbon, uji bending, *vacuum infusion*.

### Abstract

*Material developments drive innovation to produce lightweight yet high-strength materials, particularly in vehicle structural components. Metallic materials such as steel and aluminum remain the primary choice due to their superior mechanical properties, but their heavy weight presents a challenge in developing efficient structures. As a solution, the application of sandwich composites with polyurethane cores and carbon fiber reinforcement is increasingly being developed. These sandwich composites rely on a combination of carbon fiber as the outer layer for strength and durability, while the polyurethane core plays a role in increasing stiffness and reducing the overall weight of the structure. This study analyzes the effect of varying polyurethane composition ratios (A: polyol, B: isocyanate) of 30:70, 50:50, and 40:60 in carbon fiber-reinforced sandwich panel composites on bending test results. Specimens were prepared using the vacuum infusion method, then subjected to bending tests based on the ASTM C-393 standard, and supplemented with visual analysis of macro photographs to observe the type of damage. The results show that the 30:70 ratio provides the best performance, with the highest average bending stress of 60.91 MPa and the highest core shear stress. The most severe damage occurred at a 50:50 ratio with an average bending stress of 44.08 MPa, resulting in face yield, core shear, and delamination.*

**Keywords:** Sandwich composite, polyurethane, carbon fiber, bending test, vacuum infusion.

### PENDAHULUAN

Perkembangan material telah mengalami kemajuan signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Inovasi dalam bidang ini tidak hanya mendorong terciptanya material baru dengan sifat unggul, tetapi juga membawa perubahan besar pada industri manufaktur, transportasi, hingga konstruksi (Siadari, 2023). Perkembangan tersebut memfokuskan upaya pada penciptaan material yang lebih ringan, kuat, dan tahan lama, sehingga mampu menggantikan material konvensional yang sudah ada.

Dinamika ini didorong oleh kebutuhan dunia industri akan produk yang memiliki kinerja tinggi namun tetap efisien secara struktural. (Widodo, 2022).

Material logam, seperti baja dan aluminium, selama ini menjadi pilihan utama dalam pembuatan komponen kendaraan berkat kekuatan dan keawetannya. Akan tetapi, kebutuhan terhadap struktur yang ringan namun tetap kokoh semakin mendorong industri untuk mencari alternatif baru (mubarak, 2023). Bobot material logam yang relatif berat memberi dampak langsung terhadap

bobot total kendaraan, sehingga berpotensi menimbulkan keterbatasan pada beberapa aspek desain serta performa.

Untuk mengatasi masalah bobot berat pada kendaraan, diperlukan material alternatif yang lebih ringan, seperti komposit *sandwich*. Material ini terdiri dari dua lapisan kulit (serat karbon) dan inti (*polyurethane*) (Ardiyanto, 2014). Serat karbon menawarkan kekuatan dan kekakuan tinggi dengan berat rendah, sedangkan inti *polyurethane* berkontribusi pada pengurangan bobot total tanpa kehilangan kekakuan yang diperlukan untuk struktur kendaraan (Junaedi, 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh (Heys Saputro & Basuki Widodo, 2022) menemukan bahwa variasi campuran A (*polyol*) dan B (*Isocyanate*) dengan perbandingan rasio 1:1,5 memiliki nilai impact tertinggi sebesar 0,038j/cm<sup>3</sup>, dan (Romansyah & Rosidah, 2025) menunjukkan hasil tegangan bending dari hasil uji flexural tertinggi sebesar 1,421 MPa pada variasi komposisi *polyurethane* 40:60 dengan fraksi 11%. Perbedaan hasil penelitian tersebut, mengindikasikan bahwa rasio komposisi *polyurethane* berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit *sandwich*. Hal ini menegaskan pentingnya menentukan rasio komposisi yang tepat agar dapat menghasilkan material dengan kualitas yang baik.

Selain itu, proses manufaktur yang tepat sangat penting dalam menghasilkan komposit *sandwich* berkualitas. Salah satu metode yang efektif adalah *vacuum infusion*, yaitu teknik yang menggunakan tekanan vakum untuk mengalirkan resin ke serat kering dalam cetakan. Metode ini unggul karena menghasilkan permukaan halus, distribusi resin merata, serta meminimalkan gelembung udara dan cacat internal. Oleh karena itu, penelitian ini secara lanjut mengembangkan pendekatan dengan menggunakan metode *vacuum infusion*, diharapkan kualitas komposit *sandwich* yang dihasilkan menjadi lebih baik, terutama dalam hal kekuatan mekanik seperti bending *strength*.

## METODE

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi rasio komposisi inti terhadap hasil uji bending dan jenis kerusakan pada komposit *sandwich* panel *polyurethane* berpenguat serat karbon yang menggunakan metode *vacuum infusion*.

## Waktu dan Tempat Penelitian

- Waktu Penelitian  
Penelitian dilaksanakan pada bulan mei-juni 2025.
- Tempat Penelitian  
Pembuatan spesimen dilakukan di Workshop Garnesa Racing Team Universitas Negeri Surabaya dan pengujian untuk mendapatkan data kekuatan bending dengan standar ASTM C393 dilakukan di laboratorium pengujian bahan, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

## Variabel Penelitian

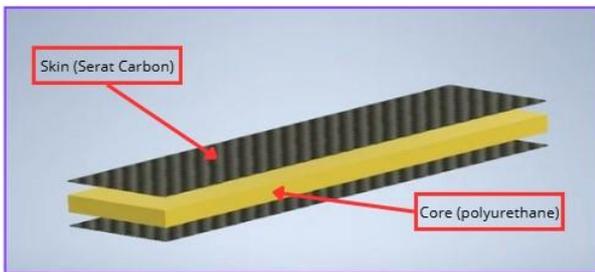
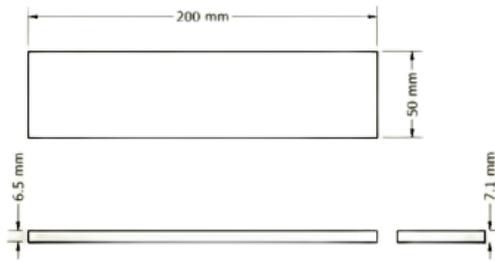
- Variabel Bebas  
Rasio komposisi *polyurethane* (A: *polyol*, B: *isocyanate*) yaitu 30:70, 50:50, 40:60.
- Variabel Terikat  
Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah hasil uji bending dan jenis kerusakan pada komposit *sandwich*.
- Variabel Kontrol
  - Matriks yang digunakan yaitu jenis resin epoksi tipe super clear dengan hardener super clear.
  - Perbandingan resin dan hardener adalah 2:1.
  - Proses pemadatan dan pengeringan pada suhu kamar ( $\pm 27^{\circ}\text{C}$ ) selama 24 jam.
  - Menggunakan serat karbon sebagai kulit sebanyak 1 lapis dengan komposisi weave 2x2 twill, berat 10,2oz/300gsm, tebal 0,3mm, dan yarn size 3K.
  - Inti yang digunakan yaitu *polyurethane*.

## Rancangan Penelitian

- Diagram Alir



Gambar 1 Diagram Alir



Gambar 2 Spesimen Uji Bending

**Proses Pembuatan Spesimen**

Proses pembuatan sandwich panel dilakukan dengan metode *vacuum infusion*. Resin yang digunakan berjenis resin super clear dengan hardener resin super clear yang di produksi oleh Enjeka. Perbandingan resin dan hardener sesuai panduan yaitu 2:1. Dengan fraksi volume yang sudah ditentukan. Dilanjutkan dengan langkah-langkah proses pembuatan *sandwich* panel.

- Persiapan alat, bahan, dan cetakan.
- Pemotongan serat, inti, kain peeling, dan resin infus mesh menggunakan gunting sesuai dengan ukuran dari cetakan.
- Peletakan resin infus mesh, kain peeling, selang spiral secara berurutan dan ditutup oleh plastik bag kecetakan yang direkatkan menggunakan sealant tape.
- Pencampuran resin dan hardener sesuai takaran dan perhitungan yang ditentukan.
- Melakukan proses laminasi resin menggunakan mesin vakum. Proses vakum dilakukan dengan memasukan resin yang telah tercampur oleh hardener menunggu hingga seluruh permukaan spesimen terlaminasi oleh resin.
- Proses vacuum infusion sudah selesai dilanjutkan proses pemngeringan yang dilakukan didalam ruangan. Kondisi spesimen masih dalam keadaan mengalami tekanan dari hasil proses vacuum infusion.
- Susunan komposit sudah jadi.

**Uji Bending**

Pengujian bending dalam penelitian menggunakan standart ASTM C-393. Pengujian bending dengan standart uji ASTM C-393 yang mempunyai dimensi Panjang, lebar, dan ketebalan masing-masing 200mm, 50mm, dan tebal 7,1mm. Hasil uji bending dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{PL}{2t(d+c)b} \dots\dots\dots(1)$$

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- $\sigma$  = Tegangan bending pada permukaan sandwich (Mpa)
- $\tau$  = Tegangan geser pada inti (MPa)
- P = Load pada midspan (N)
- L = Panjang span (mm)
- t = Tebal skin (mm)
- d = Tebal *sandwich* (mm)
- c = Tebal *core* (mm)
- b = Lebar *sandwich* (mm)



Gambar 3 Mesin Uji Bending

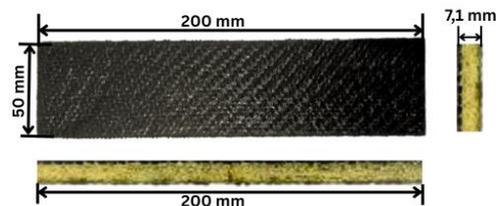
**Prosedur Foto Makro**

Foto makro bertujuan untuk mengamati jenis patahan spesimen komposit *sandwich* yang telah diuji kekuatan tarik dan tekan dengan menggunakan perbesaran kamera.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**• Hasil Pembuatan Spesimen Uji Bending**

Dimensi spesimen uji kekuatan bending mengacu pada standar ASTM C 393, yaitu 200 mm x 50 mm x 7,1 mm (Buku ASTM Internasional C393).



Gambar 4 Spesimen Uji Bending Yang Mengalami Perubahan Ukuran Setelah Proses Vakum

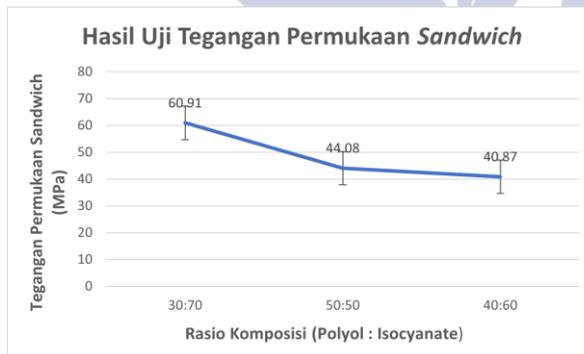
- Hasil Pengujian Bending

Tabel 1 Hasil Uji Bending

Rasio Komposisi (Polyol: Isocyanate)	Spesimen	Tegangan Bending Permukaan Sandwich (MPa)	Tegangan Geser Core (MPa)
30:70	A	58,67	0,352
	B	52,42	0,314
	C	71,65	0,429
	Rata-Rata	60,91	0,365
50:50	A	29,81	0,178
	B	53,86	0,323
	C	48,57	0,291
	Rata-Rata	44,08	0,264
40:60	A	41,84	0,251
	B	37,99	0,227
	C	42,79	0,256
	Rata-Rata	40,87	0,244

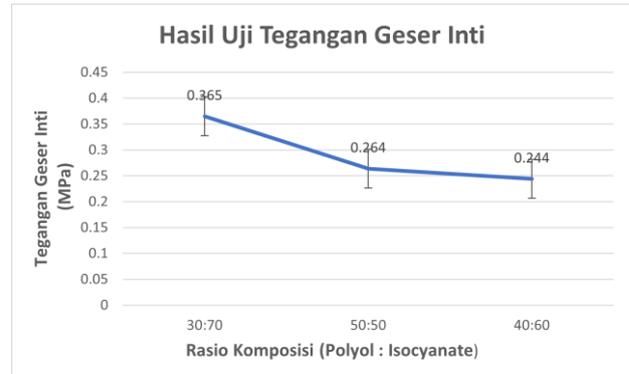
Hasil perhitungan tegangan pada uji bending dilakukan pada berbagai sampel material yang mencakup tegangan bending pada permukaan sandwich dan tegangan geser inti (*core*). Parameter-parameter yang tercantum dalam tabel tersebut menggambarkan kemampuan material dalam menahan gaya lentur selama proses pengujian. Analisa data ini memberikan gambaran mengenai sejauh mana material mampu menahan beban hingga mencapai batas maksimum sebelum mengalami retak atau patah.

Perbedaan nilai dari setiap hasil rata-rata uji bending dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5 Grafik Hasil Uji Tegangan Permukaan Sandwich

Gambar 5 dapat dilihat bahwa spesimen dengan rasio komposisi 40:60 diperoleh nilai rata-rata tegangan bending pada permukaan *sandwich* sebesar 40,87 MPa. Untuk rasio komposisi 50:50 nilai rata-ratanya meningkat menjadi 44,08 MPa. Sedangkan 30:70 menunjukkan nilai tertinggi dengan rata-rata 60,91 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi proporsi *isocyanate* dalam campuran *polyurethane*, struktur matriks yang terbentuk menjadi lebih padat dan homogen, sehingga mampu menahan beban lentur lebih besar.



Gambar 6 Grafik Hasil Uji Tegangan Geser Inti

Berdasarkan gambar 6 spesimen dengan rasio komposisi inti 30:70 menunjukkan nilai rata-rata tegangan geser inti tertinggi sebesar 0,365 MPa, sementara rasio 50:50 dan 40:60 masing-masing menghasilkan nilai yang lebih rendah, yaitu 0,2264 MPa dan 0,244 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi *isocyanate* dalam inti *polyurethane* pada rasio 30:70 menghasilkan ikatan antar lapisan inti dan skin yang lebih kuat, sehingga mampu menahan tegangan geser lebih baik. Sebaliknya, rasio 50:50 dan 40:60 yang memiliki proporsi lebih seimbang atau lebih rendah *isocyanate* cenderung memiliki kekuatan ikatan yang lebih lemah, sehingga tegangan geser inti menjadi lebih kecil.

- Kurva Tegangan-Regangan



Gambar 7 Kurva Tegangan-Regangan

Kurva tegangan-regangan pada gambar 7 menunjukkan perilaku mekanik masing-masing satu spesimen yang menghasilkan beban bending tertinggi dengan variasi rasio inti (30:70, 50:50, dan 40:60). Setiap kurva menunjukkan karakteristik yang berbeda akibat pengaruh tekanan vakum terhadap proses impregnasi resin.

Kurva tegangan-regangan hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen dengan rasio inti 30:70 menghasilkan tegangan maksimum tertinggi, dengan nilai 71,65 MPa pada regangan 2,9%. Setelah mencapai puncak, kurva tetap relatif stabil dengan sedikit penurunan tegangan pada regangan yang lebih tinggi, menandakan material memiliki kekuatan mekanik tinggi dan ketahanan terhadap deformasi setelah beban maksimum tercapai. Hal ini mengindikasikan bahwa komposit dengan rasio inti 30:70 tidak hanya mampu menahan beban hingga titik maksimum dengan baik, tetapi juga memiliki kemampuan

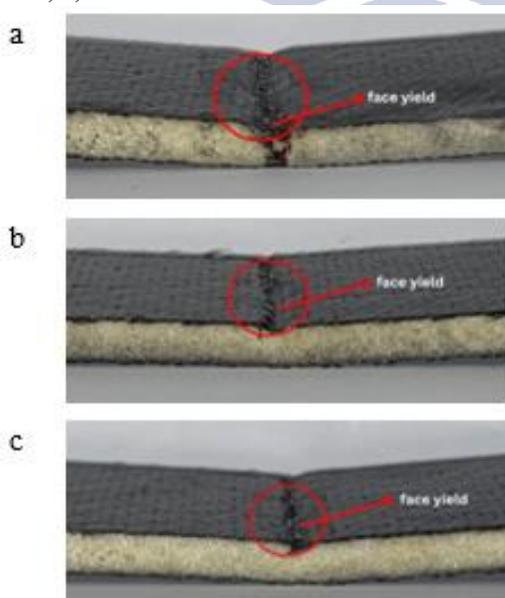
deformasi plastis yang baik sebelum mengalami kegagalan total.

Spesimen dengan rasio 50:50 menunjukkan tegangan maksimum yang lebih rendah yaitu 53,86 MPa, dengan puncak tegangan yang dicapai pada regangan 5,3%. Setelah puncak, terjadi penurunan tegangan yang cukup tajam, mengindikasikan material lebih mudah mengalami kerusakan seperti *core shear* atau delaminasi setelah melewati beban maksimum. Penurunan tegangan yang cepat ini menandakan bahwa struktur internal komposit pada rasio 50:50 kurang mampu mendistribusikan dan menahan beban secara merata, sehingga terjadi kegagalan lokal yang cepat. Rasio komposisi yang seimbang ini menghasilkan ikatan antar lapisan yang kurang optimal, sehingga mengurangi ketahanan terhadap deformasi plastis dan menyebabkan kerusakan mekanik lebih dini.

Pada rasio 40:60, kurva tegangan-regangan menunjukkan tegangan maksimum terendah yaitu 42,79 MPa pada regangan 4,8%, dengan kurva yang cenderung stabil setelah puncak. Hal ini menandakan bahwa material memiliki sifat lebih lentur dan mampu mengalami deformasi yang cukup besar tanpa mengalami kegagalan mendadak, namun tidak mampu menahan beban besar secara optimal (Eka Widianata, 2022). Sifat ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas dan kemampuan deformasi tinggi, seperti struktur yang harus menyesuaikan bentuk atau menyerap energi, namun tidak memerlukan kekuatan mekanik yang sangat tinggi.

• **Analisa Jenis kerusakan**

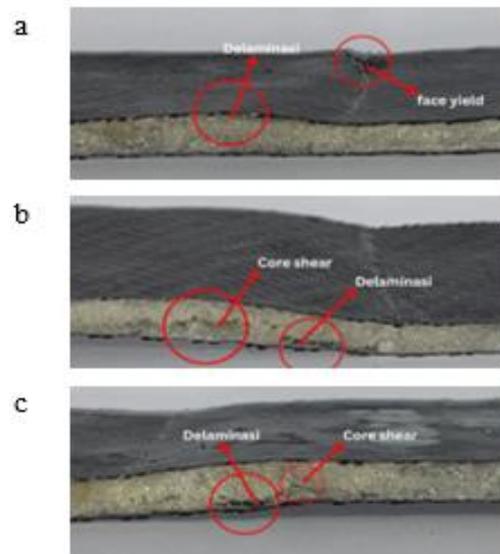
Selain dilakukan pengujian kekuatan bending, analisa visual terhadap spesimen menggunakan perbesaran kamera 5x juga dilakukan untuk mengidentifikasi jenis patahan yang terjadi, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 8 Jenis Kerusakan Spesimen Dengan Rasio Komposisi Inti 30:70

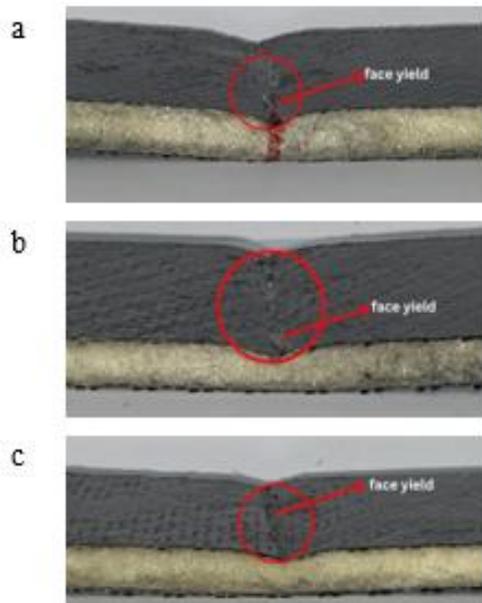
Pada gambar 4.5 diatas merupakan spesimen dengan rasio komposisi 30:70, menunjukkan jenis kerusakan pada

komposit *sandwich*. Ketiga spesimen, yaitu Spesimen A, B, dan C, semuanya mengalami kerusakan berupa *face yield*. *Face yield* merupakan jenis kerusakan pada kulit (*skin*) komposit *sandwich* yang terjadi ketika tegangan normal pada kulit melebihi tegangan luluh (*yield strength*) material kulit tersebut (Pradana, 2024).



Gambar 9 Jenis Kerusakan Spesimen Dengan Rasio Komposisi Inti 50:50

Pada gambar 9 diatas merupakan spesimen dengan rasio komposisi 50:50, menunjukkan variasi jenis kerusakan pada komposit *sandwich*. Spesimen A mengalami kerusakan berupa *face yield* dan delaminasi. Spesimen B menunjukkan kerusakan berupa delaminasi dan *core shear*. Sementara itu, spesimen C mengalami keursakan yaitu *core shear* dan delaminasi. Jenis kerusakan yang terjadi pada seluruh spesimen tersebut mencakup *face yield*, akibat tegangan normal pada kulit melebihi tegangan luluh (*yield strength*), *core shear* akibat kegagalan inti dalam menahan tegangan geser, dan delaminasi akibat ikatan antara kulit dan inti tidak cukup kuat untuk menahan beban sehingga kedua lapisan tersebut terpisah atau terkelupas (Zulkifli, 2018).



**Gambar 10** Jenis Kerusakan Spesimen Dengan Rasio Komposisi Inti 40:60

Pada gambar 10 diatas merupakan spesimen dengan rasio komposisi 40:60, menunjukkan variasi jenis kerusakan pada komposit *sandwich*. Ketiga spesimen, yaitu Spesimen A, B, dan C, semuanya mengalami kerusakan berupa *face yield*. *Face yield* merupakan jenis kerusakan pada kulit (*skin*) komposit *sandwich* yang terjadi ketika tegangan normal pada kulit melebihi tegangan luluh (*yield strength*) material kulit tersebut (Pradana, 2024).

#### Simpulan

1. Komposit sandwich panel *polyurethane* yang diperkuat dengan serat karbon dan dibuat menggunakan metode *vacuum infusion* menunjukkan bahwa spesimen dengan rasio komposisi inti 30:70 menghasilkan nilai tegangan bending pada permukaan *sandwich* dengan rata-rata tertinggi, yaitu sebesar 60,91 MPa. Sedangkan spesimen dengan rasio 40:60 menghasilkan nilai tegangan bending pada permukaan *sandwich* dengan rata-rata terendah yaitu 40,87.
2. Hasil analisa visual menunjukkan bahwa variasi rasio komposisi inti 30:70 dan 40:60 mengalami jenis kerusakan yang sama yaitu *face yield*. Pada rasio komposisi inti 50:50 mengalami jenis kerusakan paling banyak meliputi delaminasi, *core shear*, dan *face yield*.

#### Saran

1. Sarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi ketebalan *core* dan *skin* yang lebih beragam. Hal ini penting untuk mengetahui pengaruh ketebalan terhadap kekuatan bending dan sifat mekanik lainnya, mengingat ketebalan *core* dapat memengaruhi momen inersia dan kekakuan material secara signifikan.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi rasio komposisi inti *polyurethane* yang lebih variatif, termasuk rasio di luar rentang yang telah diuji, guna

menemukan komposisi terbaik yang dapat meningkatkan performa mekanik dan mengurangi risiko kegagalan seperti delaminasi dan *core shear*.

3. Memahami mekanisme patahan secara lebih detail, khususnya terkait delaminasi, *face yield*, dan *core shear* pada berbagai variasi komposisi dan proses produksi.
4. Selain uji bending, pengujian sifat mekanik lain seperti uji tarik, uji tekan, dan uji fatigue perlu dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai performa material komposit *sandwich* dalam berbagai kondisi beban.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyanto, P. (2014). *Analisa Karakteristik Bending Komposit Sandwich Dengan Variasi Ketebalan Inti (core) Polyurethane*.
- Eka Widanata, G. (2022). *KEKUATAN BENDING KOMPOSIT SANDWICH SERAT SERABUT KELAPA (COCO FIBER)-MATRIK EPOXY DENGAN CORE KERTAS KARDUS*.
- Heys Saputro, O., & Basuki Widodo, A. (2022). Studi Kekuatan Impact Laminasi Sistem Sisip (Sandwich) Fiberglass Dan Polyurethane Foam. *Jurnal Jaring SainTek*, 4(2), 83–90. <http://ejurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/jaring-saintek83>
- Junaedi, H. (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). <https://doi.org/10.3390/ma16145101>
- mubarak, daniel asraff maulana. (2023). *DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONVERSI MOTOR BENSIN MENJADI MOTOR LISTRIK PADA KENDARAAN RODA DUA*.
- Pradana, M. D. N. (2024). *KEKUATAN BENDING RANGKA PRODUK KOMPOSIT MENGGUNAKAN MATERIAL KOMPOSIT SANDWICH DENGAN INTI POLIMER PRODUK 3D PRINTING DAN LAPISAN PENGUAT SERAT KARBON*.
- Romansyah, C., & Rosidah, A. A. (2025). Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Polyurethane Foam Berpenguat Ampas Tebu. *AL JAZARI: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, 10(1). <https://doi.org/10.31602/al-jazari.v10i1.16238>
- Siadari, J. F. (2023). *PERANCANGAN MESIN UJI IMPAK CHARPY SEMI OTOMATIS DENGAN MAKSIMUM ENERGI IMPAK 300 JOULE*.
- Widodo, E. (2022). *Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit Penulis*.
- Zulkifli. (2018). *Analisa Kekuatan Tarik dan Bentuk Patahan Komposit Serat Sabuk Kelapa*.