

Kekuatan Bending Rangka *H-Beam* Komposit Sandwich Menggunakan Core Polimer Produk 3D Printing dan Skin Serat Karbon

Ridlwan, M.¹, Pradana, M. D. N.¹

¹ Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

*E-mail : ridlwanm@uii.ac.id

Received: 24 Juli 2026; Received in revised form: 10 Agustus 2026; Accepted: 10 Agustus 2026

Abstract

Additive manufacturing (AM) has emerged as an effective fabrication approach for producing lightweight structural components with high geometric flexibility; however, its relatively limited mechanical performance restricts its direct application in load-bearing structures. In contrast, carbon fiber-reinforced composite structures offer superior stiffness-to-weight and strength-to-weight characteristics, but conventional composite manufacturing processes are often labor-intensive, time-consuming, and less adaptable to complex structural profiles. To address these limitations, this study proposes an integrated fabrication strategy for composite *H-beam* structures that combines the design flexibility of fused deposition modeling (FDM) with the mechanical efficiency of carbon fiber reinforcement. The proposed method utilizes FDM to fabricate *H-beam* cores using PLA+ and ABS materials, which are subsequently reinforced with carbon twill fabric and carbon prepreg layers through a vacuum bagging process. A controlled curing process is conducted at 70 °C for 240 min to improve composite consolidation and achieve optimal mechanical performance. The effects of material selection and reinforcement configuration are evaluated through bending tests to assess structural strength and rigidity. The results demonstrate that integrating 3D printing with vacuum-assisted composite fabrication enables the production of lightweight *H-beam* structures with enhanced mechanical performance and improved manufacturing flexibility compared with conventional approaches.

Keywords: Additive Manufacturing Core; Composite Sandwich *H-beam*; Bending Rigidity.

Abstrak

Teknologi *additive manufacturing* (AM) atau 3D printing memiliki potensi besar dalam menghasilkan komponen struktur dengan geometri yang kompleks secara cepat dan fleksibel. Namun, produk hasil 3D printing, khususnya dengan metode *fused deposition modeling* (FDM), masih memiliki keterbatasan pada sifat mekanik, terutama kekuatan tarik dan kekuatan *bending*. Di sisi lain, teknologi komposit serat karbon mampu menghasilkan struktur yang ringan, kuat, dan memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, tetapi proses manufakturnya umumnya membutuhkan tahapan yang lebih kompleks, waktu produksi yang lebih lama, serta biaya yang relatif tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan strategi manufaktur hibrida dengan mengintegrasikan fleksibilitas geometri dari teknologi 3D printing dan keunggulan sifat mekanik dari material komposit serat karbon untuk menghasilkan struktur komposit berbentuk *H-beam*. Pada penelitian ini, *core H-beam* dibuat menggunakan proses FDM dengan material PLA+ dan ABS, kemudian diperkuat menggunakan lapisan *carbon twill* dan *carbon prepreg* melalui proses *vacuum bagging*. Proses *curing* dilakukan pada temperatur 70 °C selama 240 menit untuk memperoleh konsolidasi material komposit dan kekuatan mekanik yang optimal. Pengaruh jenis material *core* dan konfigurasi penguat serat karbon dianalisis melalui pengujian *bending* untuk mengevaluasi kekuatan dan kekakuan struktur.

Kata kunci: Inti Produk *Additive Manufacturing*; Rangka *H-Beam* Komposit Sandwich; Kekakuan Lentur.

1. PENDAHULUAN

H-beam merupakan salah satu jenis profil balok struktural yang memiliki penampang melintang berbentuk huruf H. Geometri penampang tersebut memberikan kemampuan yang baik dalam menahan beban vertikal maupun horizontal. Oleh karena itu, *H-beam* banyak digunakan pada bidang konstruksi, khususnya pada struktur yang membutuhkan kekuatan dan kestabilan tinggi, seperti gedung, jembatan, serta berbagai infrastruktur berskala besar. Secara umum, *H-beam* dibuat dari baja struktural berkualitas tinggi. Namun, perkembangan material rekayasa memungkinkan penggunaan material alternatif, seperti aluminium maupun komposit, untuk memperoleh struktur yang lebih ringan dengan performa mekanik yang tetap memadai.

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih bahan yang berbeda secara fisik maupun kimia, kemudian digabungkan untuk menghasilkan sifat yang lebih unggul dibandingkan material penyusunnya secara tunggal. Dalam penelitian ini, salah satu material komposit yang digunakan adalah *prepreg*, yaitu bahan penguat yang telah diimpregnasi sebelumnya dengan resin dan diperkuat menggunakan serat karbon, serat kaca, atau jenis serat penguat lainnya [1].

Prepreg mengacu pada bahan penguat yang telah mengalami proses pre-impregnation dengan matriks resin, seperti epoksi atau resin termoset lainnya, secara terkontrol dan konsisten. Pada proses manufakturnya, material *prepreg* ditempatkan ke dalam cetakan, kemudian diberi tekanan dan temperatur tertentu untuk mengeraskan resin sehingga terbentuk komponen sesuai geometri yang diinginkan. Dalam beberapa tahun terakhir, metode *prepreg compression molding* telah berkembang luas dan menjadi salah satu alternatif yang potensial untuk produksi komponen struktural dalam volume tinggi [2].

Proses *curing* merupakan proses pemanasan pada material komposit yang bertujuan untuk meningkatkan ikatan antara resin dan serat penguat. Proses ini umumnya dilakukan pada temperatur di atas suhu ruang agar resin mengalami pengerasan secara optimal [3]. Waktu *curing* menjadi salah satu parameter penting dalam proses manufaktur komposit. Proses pemanasan yang terlalu cepat atau tidak sempurna dapat menurunkan sifat mekanik material, seperti ketahanan fatik, ketahanan termal, serta kekuatan matriks komposit [4].

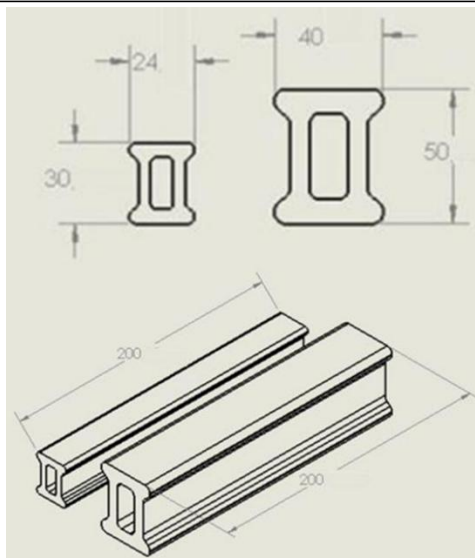
Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kekakuan bending pada spesimen *H-beam* dengan inti berbahan PLA+ dan ABS yang diperkuat dengan *skin* serat karbon.

2. METODE PENELITIAN

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada pengujian lentur tiga titik (*three point bending*) pada spesimen komposit sandwich dengan bentuk dan ukuran spesimen seperti Gambar 1. *Core* di buat dari bahan PLA dan ABS dengan tinggi 30mm dan 50mm, sebanyak 8 spesimen, yang diantaranya 4 spesimen menggunakan bahan PLA+ dan ABS dengan ukuran 2 variasi yaitu ketebalan 30 mm dan 50 mm.

Inti dibuat menggunakan proses 3D printing dengan parameter proses cetak spesimen uji yang dibuat dengan bahan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) dengan *infill* 20%, suhu bed 99°C, suhu nozzle 270°C, speed 100mm/s dengan fill pattern monotonic, terlihat pada Gambar 2(a). Sedangkan parameter proses cetak inti yang dibuat dengan bahan PLA+ (*Poly lactid Acid*) dengan *infill* 20%, suhu bed 65°C, suhu nozzle 214°C, speed 100mm/s dengan fill pattern rectilinear.

Inti dari bahan PLA+ dilapisi dengan serat karbon twill 3k 2x2 220gsm, sedangkan untuk inti dari bahan ABS dilapisi dengan karbon *prepreg* 3k 2x2 220gsm, terlihat pada Gambar 2(b). Material serat karbon *prepreg* yang digunakan memiliki *tensile strength* ≥ 3500 MPa dan *tensile modulus* ≥ 230 GPa, sehingga sesuai digunakan sebagai lapisan penguat pada struktur komposit ringan [5].



Gambar 1. Dimensi Spesimen Uji *Bending Core* 30 mm dan 50 mm.

Tabel 1. Dimensi Spesimen-Spesimen Uji Lentur.

Kode Spesimen	Tebal(mm)	Lebar (mm)	Berat Awal (mm)
ABS Prepreg 1	50	40	109
ABS Prepreg 2	50	40	109
ABS Prepreg 3	30	30	51
ABS Prepreg 4	30	30	51
PLA+Carbon 1	50	40	135
PLA+Carbon 2	50	40	135
PLA+Carbon 3	30	30	65
PLA+Carbon 4	30	30	65



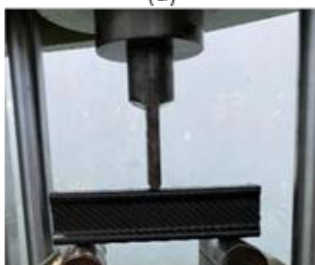
(a)



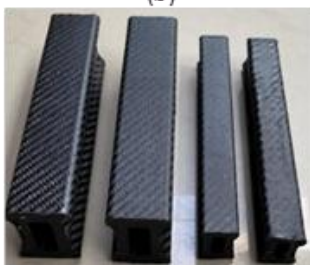
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 2. a) Proses pembuatan *core* pada mesin 3D printer, b) Pelapisan *skin* serat karbon, c) Proses *vacuum bagging*, d) Proses *curing*, e) Spesimen uji lentur, f) Pengujian lentur.

Proses *vacuum bagging* dilakukan setelah serat karbon dilapisi dengan resin *epoxy*, Gambar 2(c) dan Proses *curing* dilakukan pada suhu 70°C dengan waktu selama 240 menit, seperti terlihat pada Gambar 2(d). Spesimen uji lentur *H-Beam komposit sandwich* terlihat pada Gambar 2.(e), dengan variasi kombinasi dan ukuran seperti terlihat pada Tabel 1. Proses pengujian lentur tiga titik dilakukan dengan jarak antar tumpuan sebesar 150 mm, seperti terlihat pada Gambar 2(f).

Kekakuan lenturan (D) adalah sifat mekanik yang menunjukkan kemampuan struktur menghambat terjadinya defleksi akibat beban lenturan. Kekakuan lentur (*Flexural Rigidity*) dinyatakan sebagai berikut [6] :

$$D = E.I = \frac{P.L^3}{48.\delta} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

D = kekakuan lentur [N.mm²]

P = beban (N)

L = panjang kedua tumpuan [mm]

δ = besar lenturan [mm]

E = modulus elastisitas bahan (MPa)

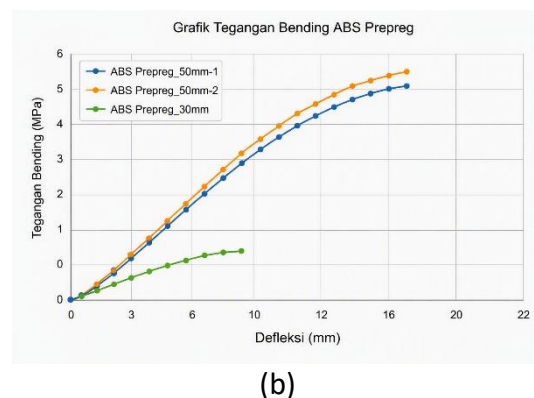
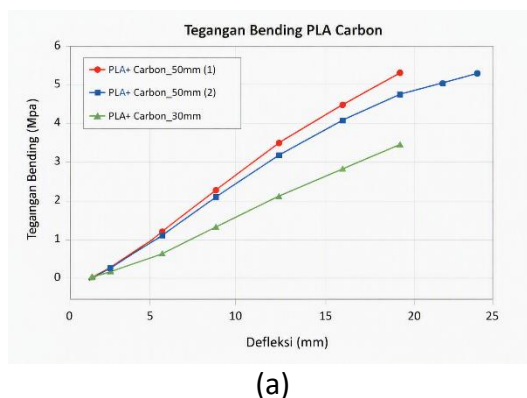
I = momen inersia penampang [mm⁴]

Sedangkan kekakuan lentur spesifik (*specific flexural rigidity*) adalah rasio antara kekakuan lentur dengan berat spesimen uji (w), atau dinyatakan dalam (D/w).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian lentur tiga titik untuk spesimen uji *H-Beam komposit sandwich* inti PLA+ dengan *skin* serat karbon komersial dan spesimen inti ABS dengan *skin* serat karbon *prepreg* ditabelkan pada Tabel 2 dan dibuat grafik tegangan lentur-defleksi pada Gambar 3.

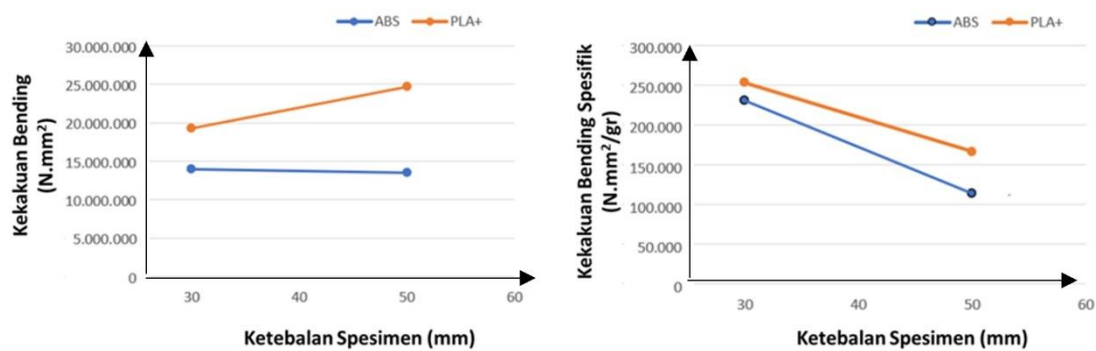
Pada Gambar 3 terlihat bahwa spesimen dengan ketebalan 50 mm memiliki nilai tegangan lentur yang lebih besar dibandingkan spesimen dengan ketebalan 30 mm. Hal tersebut dikarenakan nilai momen inersial penampang lentur dari spesimen dengan ketebalan 50 mm lebih besar daripada spesimen dengan ketebalan 30 mm.



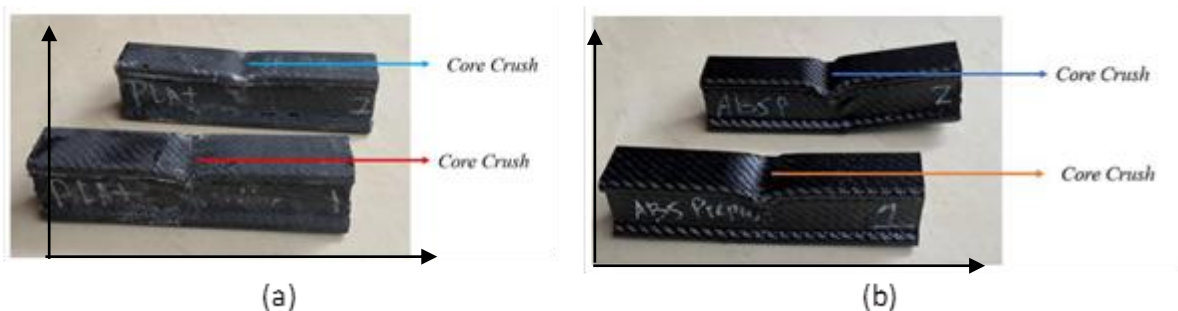
Gambar 3. Grafik hasil pengujian lentur, a) spesimen inti PLA+,
b) spesimen inti ABS *prepreg*.

Tabel 2. Hasil pengujian lentur dan perhitungan nilai kekakuan dan nilai kekakuan spesifik *H-Beam komposit sandwich* dengan inti ABS dan PLA+.

Kode Spesimen	P (N)	δ (mm)	w (gr)	D (N.mm ²)	D/w (N.mm ² /gr)
ABS Prepreg 1	3,28	20,94	118,9	12.323.155	103.643
ABS Prepreg 2	3,31	20,54	119,7	14.685.522	122.686
ABS Prepreg 3	1,16	6,48	60,5	15.625.000	258.264
ABS Prepreg 4	1,44	9,96	60,5	12.212.914	201.866
PLA+Carbon 1	3,77	13,90	147,9	24.078.237	162.801
PLA+Carbon 2	4,59	14,08	149,6	25.318.493	169.241
PLA+Carbon 3	1,96	8,85	76,6	19.306.144	252.038
PLA+Carbon 4	2,02	9,06	76,1	12.323.155	252.913



Gambar 4. a) Nilai kekakuan *bending*, b) Nilai kekakuan *bending* spesifik.



Gambar 5. a) Nilai kekakuan *bending*, b) Nilai kekakuan *bending* spesifik.

Inti PLA+ memiliki nilai kekakuan *bending* dan nilai kekakuan *bending* spesifik yang lebih tinggi dibandingkan dengan inti ABS. Hal ini dikarenakan berdasarkan data komersial filamen 3D printing, ABS memiliki *specific modulus* sekitar 2.10 GPa/(g/cm³), sedangkan PLA+ memiliki *specific modulus* sekitar 2.31 GPa/(g/cm³). Hal ini menunjukkan bahwa PLA+ memiliki rasio kekakuan terhadap densitas yang sedikit lebih tinggi dibandingkan ABS, sehingga lebih menguntungkan untuk aplikasi struktur ringan

yang memerlukan kekakuan spesifik lebih besar [7][8][9].

Sedangkan untuk spesimen dengan ketebalan 50 mm memiliki nilai kekakuan *bending* spesifik yang lebih rendah dibandingkan dengan ketebalan 30 mm dikarenakan spesimen 50 mm memiliki volume yang lebih besar akibat semua dimensi pada penampang membesar. Penambahan volume yang jauh lebih besar dengan peningkatan nilai momen inersia lentur menyebabkan spesimen memiliki nilai

rasio kekakuan *bending* per berat menjadi rendah.

Kegagalan *core crush* pada spesimen *monocoque sandwich composite* terjadi karena tegangan tekan lokal pada inti PU *foam* melebihi kekuatan tekan *foam*. Pada pembebanan *bending*, carbon fiber *skin* berperan menahan tegangan tarik dan tekan, sedangkan PU *foam core* berfungsi menjaga jarak antar *skin* serta menahan beban geser dan tekan lokal. Karena PU *foam* memiliki modulus dan kekuatan tekan yang jauh lebih rendah dibandingkan carbon fiber *skin*, maka konsentrasi beban di bawah loading nose menyebabkan collapse pada sel-sel *foam* [10].

Mekanisme ini diawali oleh deformasi lokal/indentation pada area pembebanan, kemudian berkembang menjadi crushing dan densification pada *core*. Kegagalan *core crush* ini menyebabkan nilai defleksinya menjadi jauh lebih besar, sehingga menyebabkan nilai kekakuan *bending* spesimen menjadi jauh lebih rendah daripada nilai kekakuan teoritisnya.

4. SIMPULAN

Modus kegagalan yang terjadi pada spesimen memiliki kesamaan dimana semua spesimen mengalami *core crush* yang disebabkan karena nilai *infill density* 20% dari inti PLA+ dan ABS terlalu rendah untuk menahan beban tegangan geser arah vertikal .

Oleh karena itu, penelitian ini belum bisa membandingkan pengaruh penggunaan *skin* serat karbon komersial dan *skin* serat karbon *prepreg* terhadap nilai kekakuan *bending* spesimen. Perlu penelitian lanjutan untuk mengetahui nilai *infill density* efektif dari inti PLA+ dan inti ABS yang mampu menahan tegangan geser pada pengujian *bending* sehingga tidak mengalami kegagalan *core crush*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis ingin menyampaikan penghargaan atas dukungan yang diberikan oleh Departemen Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia melalui hibah penelitian internal. Para penulis juga berterima kasih kepada Laboratorium Proses Manufaktur, Departemen Teknik Mesin, Universitas Islam

Indonesia atas penyediaan fasilitas dan dukungan teknis yang diperlukan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hartono, M. Rifai, and H. Subawi, *Pengenalan Teknik Komposit*, 1st ed. Yogyakarta, Indonesia: Deepublish, 2016.
- [2] J.-M. Lee, B.-M. Kim, and D.-C. Ko, "Development of vacuum-assisted prepreg compression molding for production of automotive roof panels," *Composite Structures*, vol. 213, pp. 144–152, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.compstruct.2019.01.092.
- [3] W. B. Utomo and N. S. Drastiawati, "Pengaruh variasi jenis *core*, temperatur curing dan post-curing terhadap karakteristik bending komposit sandwich serat karbon dengan metode vacuum infusion," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 45–54, 2021.
- [4] M. I. Putra and G. Nugroho, "Pengaruh curing time terhadap sifat mekanis komposit epoxy/carbon fiber dan epoxy/glass fiber dengan metode manufaktur bladder compression moulding," *Journal of Mechanical Design and Testing*, vol. 3, no. 1, pp. 20–28, 2021, doi: 10.22146/jmdt.57205.
- [5] Suzhou Huai Ren Chemical Fiber Co., Ltd., "220GSM 37%RC Resin Content Twill Weave Carbon Fiber Fabric Prepreg," Made-in-China. Accessed: May 5, 2026.
- [6] X. Zhu, C. Xiong, J. Yin, Y. Qin, H. Sun, K. Cui, Y. Zou, and H. Deng, "Three-point bending characteristics of all-composite sandwich panels with different core configurations," *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, pp. 1–20, 2023, doi: 10.1080/15376494.2023.2172237.
- [7] Bambu Lab, "Bambu ABS Technical Data Sheet V3.0," 2023. [Online]. Available: https://store.bblcdn.com/s7/default/23b4cf2b83d5470bb96d19970b5f3ae8/Bambu_ABS_Technical_Data_Sheet_V3.pdf
- [8] Anycubic, "PLA+ Filament: Technical Specifications," Anycubic, 2026. [Online]. Available: <https://store.anycubic.com/products/pla-plus-filament>

-
- [9] Stanford Advanced Materials, "Specific Modulus of Engineering Materials," 2026. [Online]. Available: <https://www.samaterials.com/content/specific-modulus-of-engineering-materials.html>
- [10] Dhaliwal, G. S., & Newaz, G. M. (2020). "Flexural Response of Degraded Polyurethane Foam Core Sandwich Beam with Initial Crack between Facesheet and Core." *Materials*, 13(23), 5399.