

The Effect of curing temperature on bending strength of sandwich composite with 3D printed PLA Core

Faisal Arif Nurgesang^{a,1}, Muhammad Alif Satrio^b

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

^bProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

¹faisal.arif.nurgesang@uii.ac.id

ABSTRACT

A sandwich composite is a composite characteristic of being stiff yet light. It is composed of a core and skin where the stiffness is obtained from the material of the core. In this study, the core was made using Polylactic Acid (PLA) through 3D printing technology, and the skin used was woven carbon fiber. The sandwich composite product can be easily made using the advantage of 3D printing because of its design flexibility. Curing is required to bond the core and the skin when making sandwich composites. However, the curing process at room temperature cannot provide a strong bond between the core and the skin. Therefore, in this study, the curing temperature was varied at room temperature, 60, and 70 °C for 5 minutes after the composite sandwich was opened from the mould. The test specimens were made using the vacuum infusion method with dimensions referring to the ASTM C-393 standard. Bending tests were carried out using the Universal Testing Machine with the three-point bending method. Based on the test results, it was found that the bending strength of the sandwich composite at room temperature was 20.90 MPa. After curing at 60 °C, there was an increase in bending strength of 4.5% to 21.89 MPa. The increase in bending strength was still obtained by 11.7% when the specimen was cured at 70 °C to 23.67 MPa. SEM observations found that when the specimens were cured only at room temperature, voids were still visible, whereas when the specimens were cured at 70 °C, voids were no longer visible. Thus, curing temperature plays an important role in strengthening the bending strength of the sandwich composite.

Keywords: Sandwich composite, curing temperature, bending strength

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang terdiri dari tiga lapisan yaitu dua lapisan *skin* pada permukaan atas dan bawah yang diberi perekat dan lapisan inti (*core*) pada bagian tengahnya. *Skin* pada komposit *sandwich* berfungsi sebagai penahan beban aksial dan beban bending sedangkan *core* berfungsi untuk mendistribusikan beban geser pada seluruh permukaan yang terjadi serta menambah ketebalan namun tidak menambah bobot yang signifikan [1]. Komposit jenis ini memiliki karakteristik ringan namun kaku dimana kekakuan komposit sandwich ditentukan dari material *core* yang digunakan [2-3].

Terdapat berbagai macam jenis material yang digunakan sebagai *core* seperti aluminium, *cardboard*, PVC, *foam*, dan beberapa bahan non metal lainnya. Salah satu jenis *core* yang dapat digunakan untuk membuat komposit sandwich adalah *core* yang dibuat menggunakan teknologi *3D printing*. Selain kaku, penggunaan *core* menggunakan teknologi *3D printing* memiliki keunggulan yaitu fleksibilitas geometrinya [4].

Teknologi *3D printing* merupakan teknologi *additive manufacturing* dimana prosesnya adalah dengan melunakkan filamen melalui *nozzle* hingga membentuk desain yang dibuat secara *layer per layer* [5]. Teknologi ini unggul dalam pengurangan limbah sisa produksi, produksi yang cepat, dan relatif murah [6]. Oleh karena itu, berdasarkan keunggulan tersebut penggunaan *core* melalui teknologi *3D printing* dipilih dalam penelitian ini. Akan tetapi, *core* yang dicetak menggunakan teknologi *3D printing* memiliki kelemahan pada bobot yang masih cukup berat dalam volume yang sama dibandingkan dengan *cardboard* atau *foam*.

Salah satu cara agar mendapatkan bobot yang ringan adalah dengan mendesain spesimen sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Sebuah penelitian telah dilakukan dan diperoleh data bahwa penggunaan *core* yang bagian dalam *core* didesain berbentuk pola *square* memiliki *strength to weight ratio* paling tinggi dibandingkan dengan pola *triangle* atau *honeycomb* [7].

Selanjutnya, untuk menghasilkan produk komposit *sandwich* yang memiliki kekuatan

bending yang tinggi, telah dilakukan penelitian bahwa semakin tebal *core*, semakin menurun sifat kelenturannya sehingga kekuatan *bendingnya* juga semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya rongga yang terdapat pada *core* yang berakibat pada energi yang diserap semakin sedikit [8]. Sehingga, tebal *core* yang dipilih pada penelitian ini adalah 10 mm. Lebih lanjut, untuk mendapatkan penguat terhadap beban aksial dan beban *bending*, penggunaan karbon fiber menjadi pilihan karena memiliki keunggulan dari berbagai aspek dibanding dengan serat lainnya [9].

Dalam proses pembuatan produk komposit, diperlukan sebuah tahap yaitu proses *curing*. Proses *curing* adalah proses polimerisasi agar resin memiliki ikatan yang kuat terhadap serat. Dengan meningkatnya temperatur *curing* di atas suhu ruang, proses *curing* menjadi lebih cepat dan dapat memberikan *cross-linking* (ikatan silang) pada matrik lebih banyak [10]. Di beberapa penelitian, telah disimpulkan bahwa *post-curing* pada produk komposit dapat meningkatkan kekuatan *bending* yang disebabkan oleh ikatan *crosslink* lebih banyak akibat proses *curing* yang dilakukan [11] [12]. Akan tetapi, suhu *curing* yang terlalu tinggi (90 °C) dapat menyebabkan *crosslink* yang sedikit karena telah melewati batas temperatur transisi gelas (T_g) pada material *epoxy* (resin). Temperatur transisi gelas (T_g) merupakan temperatur transisi antara fasa padat dan fasa *rubbery* pada material *amorf* [13].

Selain itu, suhu yang terlalu tinggi juga berdampak pada penyusutan volume, viskositas yang rendah, dan banyak terbentuk void [12]. Sehingga, pada penelitian ini, untuk meningkatkan *cross-link* pada resin, dilakukan proses *post-curing* pada suhu 60 dan 70 °C.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, spesimen komposit *sandwich* dibuat menggunakan metode *vacuum infusion* dengan tekanan -14 Psi dengan perbandingan resin dan *hardener* 10:3. Inti komposit *sandwich* (*core*) dibuat menggunakan teknologi *3D printing* menggunakan filamen PLA dengan dimensi 200 x 50 x 10 mm di mana bagian dalam *core* didesain berongga berbentuk *square* dengan dimensi rongga 4.35 x 4.35 mm dan tebal dinding antar rongga 0.5 mm agar mendapatkan *core density* sebesar 24%. *Core density* adalah perbandingan volume *solid* dibandingkan dengan volume total *core*.

Parameter proses pencetakan *core* dapat dilihat pada Tabel 1.

Sebagai lapisan *skin*, digunakan serat karbon tipe anyam (*woven*) sebanyak 1 lapis masing-masing untuk permukaan atas dan bawah. Perakat yang digunakan untuk mengikat *core* dan *skin* adalah 3M *spray adhesive*. Perakat diberikan pada permukaan *core* bagian atas dan bawah dengan cara menyemprotkan secara merata kemudian diberikan lapisan *skin* sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*. Ilustrasi *core* berongga dan susunan komposit *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 1.

Proses *curing* yang dilakukan adalah metode *post-curing* dimana setelah proses *vacuum infusion*, spesimen dibiarkan pada suhu ruangan selama 24 jam. Kemudian, spesimen dilepas dari cetakan lalu dimasukkan ke dalam oven pada suhu dengan variasi 60 dan 70 °C selama 5 menit. Sebagai pembanding, satu set spesimen tidak dilakukan proses *post-curing*. Pengujian *bending* dilakukan mengacu pada standar ASTM C-393 dengan metode *three point bending*. Setiap kondisi suhu dilakukan pengujian *bending* sebanyak tiga buah spesimen. Setelah pengujian, dilakukan pengamatan jenis kegagalan yang terjadi menggunakan foto makro dan mengamati struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian *bending* yang telah dilakukan terhadap spesimen komposit *sandwich*, diperoleh data grafik hubungan antara tegangan *bending* terhadap suhu *post-curing* seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

Dapat dilihat bahwa tegangan *bending* spesimen komposit *sandwich* meningkat ketika dilakukan *post-curing* pada suhu 60 dan 70 °C. Tegangan *bending* pada spesimen pembanding (*curing* pada suhu ruang) yaitu sebesar 20.90 MPa sedangkan tegangan *bending* pada spesimen yang dilakukan *post-curing* pada suhu 60 dan 70 °C terjadi peningkatan sebesar 4.5% menjadi 21.89 MPa dan terjadi peningkatan sebesar 11.7% menjadi 23.67 MPa. Peningkatan tegangan *bending* ini disebabkan oleh penambahan *cross-link* pada resin dan semakin rekatnya antara *skin* dan *core*. Hal ini dapat dilihat pula pada mode kegagalan spesimen setelah dilakukan uji *three point bending*. Dapat dengan jelas dilihat pada Gambar 3(a) bahwa terjadi kegagalan tipe *core crush* pada titik dimana gaya penekan diberikan. Pada

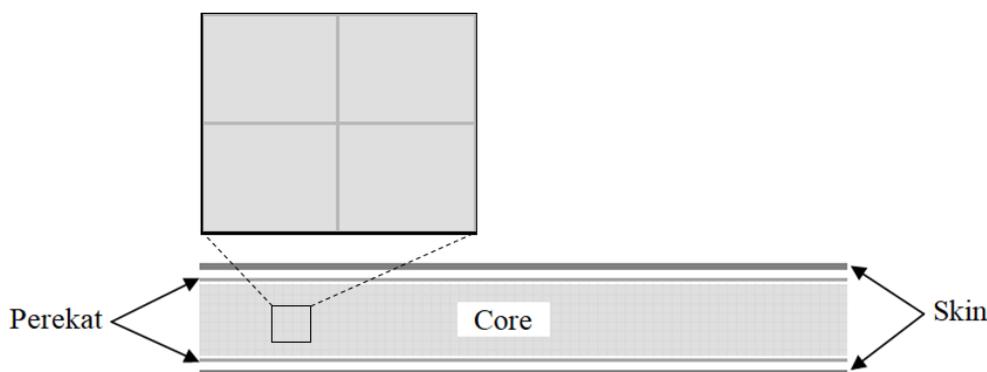
permukaan lapisan *skin* bagian atas mengalami *face wrinkling* atau *buckling* mengikuti lekukan penekan. Fenomena ini terjadi akibat kurangnya *support* dari *core* serta lemahnya *skin* ketika menerima gaya aksial. Akan tetapi, *core crush* dan *face wrinkling* mulai tidak terlihat dengan jelas pada spesimen setelah dilakukan *post-curing* pada suhu 60 °C seperti ditunjukkan pada Gambar 3(b). Bahkan, kedua mode kegagalan tersebut hampir tidak terlihat pada spesimen setelah dilakukan *post-curing* pada suhu 70 °C seperti ditunjukkan pada Gambar 3(c). Hasil ini terjadi karena *cross-link* pada resin telah terjadi secara maksimal seperti hasil penelitian yang dilakukan oleh Partuti, dkk. [13]. Sebagai tambahan, di semua spesimen hampir tidak ditemukan mode kegagalan *debonding* karena keberhasilan pemberian perekat pada *core* dan *skin* sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*. Perekat ini berfungsi untuk menambah ikatan antara *skin* dan *core* saat terjadi beban *bending*.

Lebih lanjut, dari pengamatan foto SEM, dapat dilihat dengan sangat jelas bahwa *void* banyak ditemukan pada spesimen yang di-*curing* pada suhu ruang. Seperti dapat dilihat pada Gambar 4(a), *void* banyak ditemukan sebagian besar di lokasi pertemuan antar anyaman karbon fiber. Hal ini dapat dengan jelas dilihat pada Gambar 4(b). Namun demikian, *void* sudah tidak lagi ditemukan pada spesimen yang dilakukan *post-curing* pada suhu 70 °C.

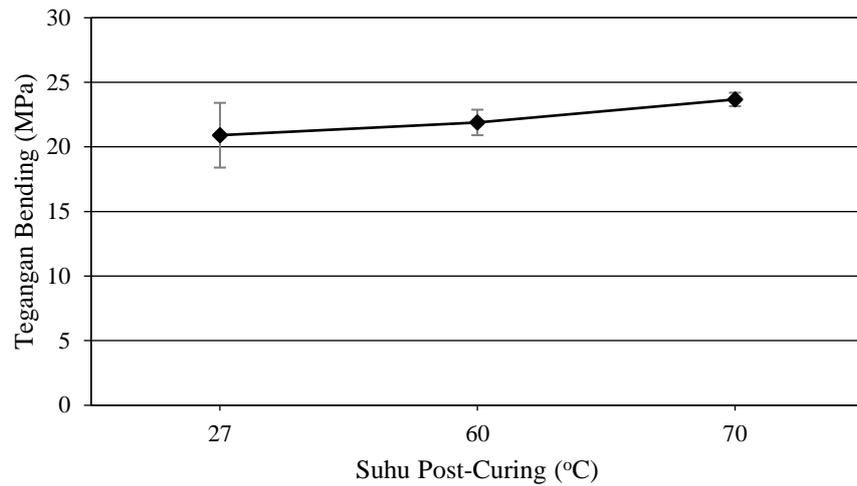
Void yang sebelumnya banyak ditemukan di pertemuan antar anyaman karbon fiber sudah sepenuhnya terisi oleh resin seperti dapat dilihat pada Gambar 4(c) dan 4(d). Sehingga, melalui proses *post-curing*, *void-void* pada spesimen yang terjebak dapat dihilangkan. Minimnya *void* pada spesimen ini memiliki hubungan berbanding lurus dengan tegangan *bending* spesimen komposit sandwich yang dibuat. Dimana semakin sedikit *void* yang terjadi pada spesimen, semakin tinggi pula tegangan *bending*-nya.

Tabel 1. Parameter proses pencetakan core 3D print menggunakan filamen PLA

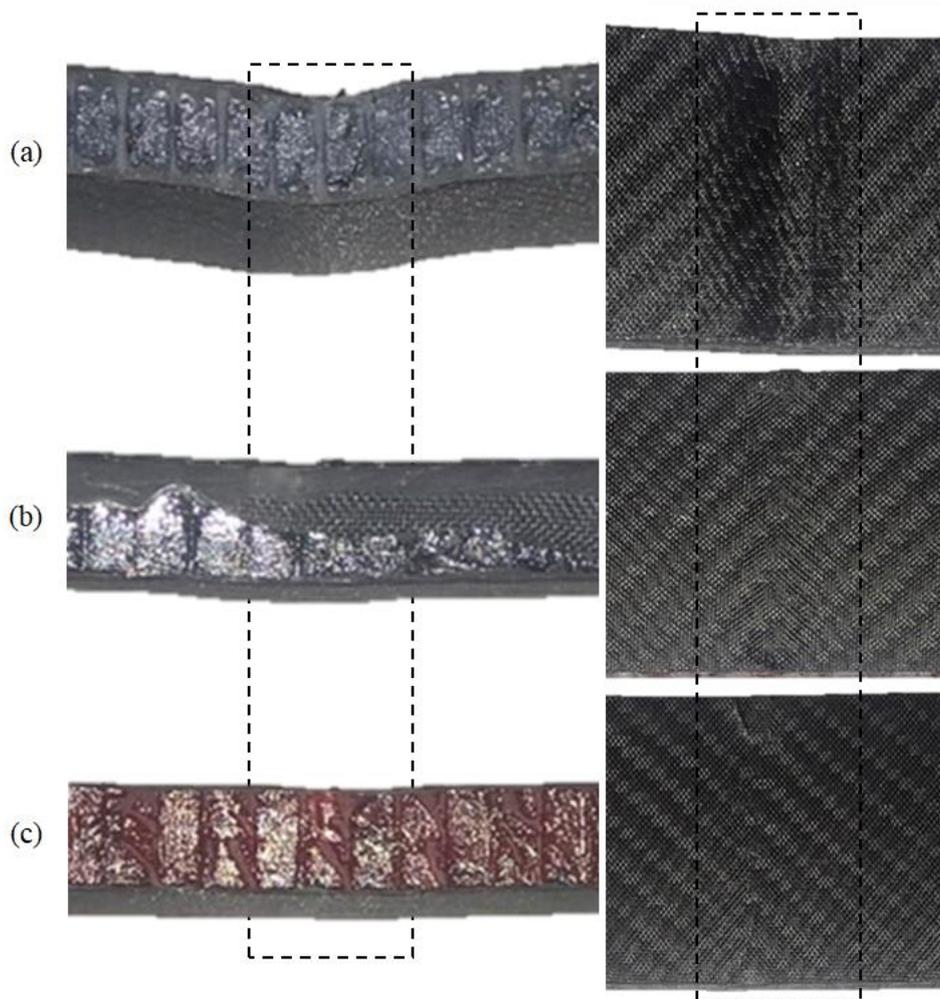
No.	Parameter	Nilai
1	<i>Infill Density</i>	100 %
2	<i>Infill Pattern</i>	<i>Square</i>
3	<i>Layer Thickness</i>	0,2 mm
4	<i>Bed Temperature</i>	50 °C
5	<i>Suhu Nozzle</i>	215 °C
6	<i>Printing Speed</i>	100 mm/s



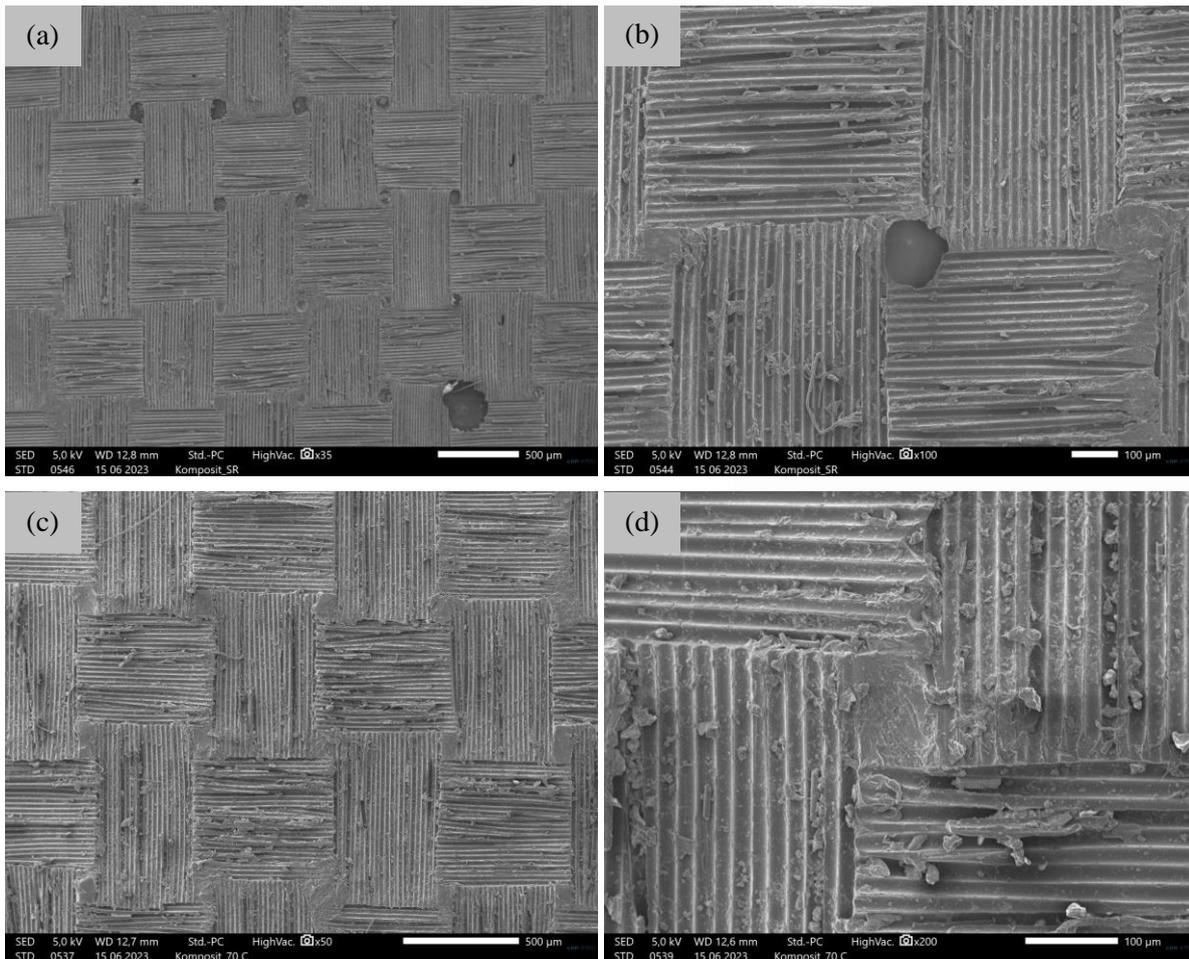
Gambar 1. Ilustrasi rongga pada *core* dan susunan komposit *sandwich*



Gambar 2. Grafik hubungan antara tegangan *bending* dan suhu *post-curing*



Gambar 3. Mode kegagalan spesimen dengan variasi suhu *post-curing* pada (a) suhu ruang, (b) 60 °C, dan (c) 70 °C



Gambar 4. Foto SEM spesimen dengan perlakuan post-curing pada (a) suhu ruang dengan perbesaran 35X, (b) suhu ruang dengan perbesaran 100X, (c) 70 °C dengan perbesaran 50X, dan (d) 70 °C dengan perbesaran 100X

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu spesimen yang diterapkan *post-curing* pada suhu 60 dan 70 °C tegangan bendungnya mengalami peningkatan sebesar 4.5% menjadi 21.89 MPa dan terjadi peningkatan sebesar 11.7% menjadi 23.67 MPa dibandingkan dengan spesimen yang di-*curing* pada suhu ruang.

Dari pengamatan foto makro, terjadi kegagalan tipe *core crush* dan terjadi *face wrinkling* atau *buckling* pada skin bagian atas. Fenomena ini terjadi akibat kurangnya *support* dari *core* serta lemahnya *skin* ketika menerima gaya aksial. Akan tetapi, *core crush* dan *face wrinkling* mulai tidak terlihat dengan jelas pada spesimen setelah dilakukan *post-curing* pada suhu 60 °C. Bahkan, kedua mode kegagalan tersebut hampir tidak terlihat pada spesimen setelah dilakukan *post-curing* pada suhu 70 °C. Foto SEM juga menunjukkan bahwa pada spesimen yang di-*curing* pada suhu ruang masih banyak terlihat

dengan jelas *void* yang ditemukan pada pertemuan antar anyaman karbon fiber sedangkan spesimen yang dilakukan *post-curing* pada suhu 70 °C sudah tidak ditemukan lagi void. Minimnya *void* pada spesimen dengan perlakuan *post-curing* pada suhu ini berhubungan erat dengan nilai tegangan bending yang diperoleh dimana semakin sedikit void yang terjadi pada spesimen, semakin tinggi pula tegangan bendungannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia atas dukungannya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. R. Mutasiana, "Pengaruh Variasi Ketebalan Core terhadap Karakteristik Bending Komposit Sandwich Serat Cantula dengan Core Honeycomb Kardus Tipe A-Flute," *J. Nosel*, 2014.

- [2] N. Hayta and G. Kaya, "Experimental investigation on impact response of sandwich composites integrated with a novel 3D multi-layer stitched core," *Compos. Struct.*, vol. 296, Sep. 2022.
- [3] D. Cao, D. Bouzolin, H. Lu, and D. T. Griffith, "Bending and shear improvements in 3D-printed core sandwich composites through modification of resin uptake in the skin/core interphase region," *Compos. Part B Eng.*, vol. 264, p. 110912, Sep. 2023.
- [4] S. S. Alghamdi, S. John, N. R. Choudhury, and N. K. Dutta, "Additive manufacturing of polymer materials: Progress, promise and challenges," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 5, pp. 1–39, 2021.
- [5] L. Caporarello and R. Giesecke, "Lecture Notes in Information Systems and Organisation 18 Digitally Supported Innovation," pp. 273–284, 2016.
- [6] F. Calignano *et al.*, "Overview on additive manufacturing technologies," *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 4, pp. 593–612, 2017.
- [7] H. Gunawan, "Studi Pengaruh Jenis, Ketebalan, dan Core Density Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Dicitak Menggunakan Filamen ABS," Universitas Islam Indonesia, 2022.
- [8] A. Nurhidayat, "Analisis variasi ketebalan core komposit sandwich serbuk limbah tempurung kelapa terhadap sifat mekanik," *J. Tek.*, vol. 7, no. April, pp. 21–27, 2021.
- [9] A. T. P. Nugroho, "Pengaruh Tebal Skin dan Core Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Rami-Polyester Dengan Core Sekam Padi Urea Formaldehyde," *Skripsi Tek. Mesin UNS*, vol. 13, pp. 15–38, 2011.
- [10] V. Zharvan, M. Muris, and S. Subaer, "Studi Struktur Mikro dan Kuat Lentur Komposit Geopolimer Serat Bambu dengan Temperatur Curing Berbeda," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 9, no. 3, p. 100, 2013.
- [11] J. P. Rahmani, "Studi Pengaruh Jenis Perekat Dan Varasi Suhu Curing Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Menggunakan Core 3D Printing," *Univ. Islam Indones.*, 2022.
- [12] W. B. Utomo and N. S. Drastiawati, "Pengaruh Variasi jenis core , temperatur curing dan post-curing karakteristik bending komposit sandwich serat karbon dengan metode vacuum infusion," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 45–54, 2021.
- [13] T. Partuti, Y. Dwiyantri, A. Trenggono, and F. Utari, "Pengaruh Temperatur Proses Curing Terhadap Sifat Termal Komposit Epoksi Berpengisi Nanopartikel Sn-3.5Ag," *J. Metal. dan Mater. Indones.*, no. June, 2019.