

## Sifat mekanik komposit sandwich skin serat karbon menggunakan *core polylactic acid (PLA)* tipe *infill gyroid*

Muhammad Ridlwan<sup>a1</sup>, Asty Astuty Shetiawaty<sup>a</sup>, Hafiz Ramadhan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

[ridlwanm@uii.ac.id](mailto:ridlwanm@uii.ac.id)

### ABSTRACT

Sandwich composites are composed of three layers, a thick core in the middle and two thin skin at the outer parts. In this research, carbon fiber was used as a skin and polylactic acid (PLA) material, results from additive manufacturing, was used as a core. The carbon fiber used was carbon fiber kevlar fiber fabric 3k 2x2 200 gsm PLAIN & TWILL Grade A. PLA core material made using the Fused Deposition Modeling (FDM) process with variations in density of 10% - 50% gyroid type infill. Sandwich composite fabrication using the vacuum infusion method. This study aims to determine the tensile strength and bending rigidity of sandwich composites. Based on the tensile test results on the PLA core, the tensile strength at a density of 10% was 9.43 MPa, and at 50% was 15.76 MPa. Meanwhile, the PLA bending core rigidity of 10% infill density was 1,092,987 N.mm<sup>2</sup> and 50% infill density of 3,375,232 N.mm<sup>2</sup>. Adding carbon fiber skin to the sandwich composite increased its tensile strength by 192% and its bending rigidity by 406%. However, if the sandwich composite's weight is considered, the highest specific tensile strength is at 20% infill density of 0.61 MPa/gr and specific bending rigidity of 97,701 N.mm<sup>2</sup>/gr. From the test results, it can be concluded that carbon fiber skin plays a significant role in the mechanical properties of the sandwich composite. In addition, cores with a gyroid infill density of 20% have better specific mechanical properties than other infill core densities.

**Keywords:** sandwich composite, PLA core, carbon fiber skin, tensile strength, rigidity

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

### PENDAHULUAN

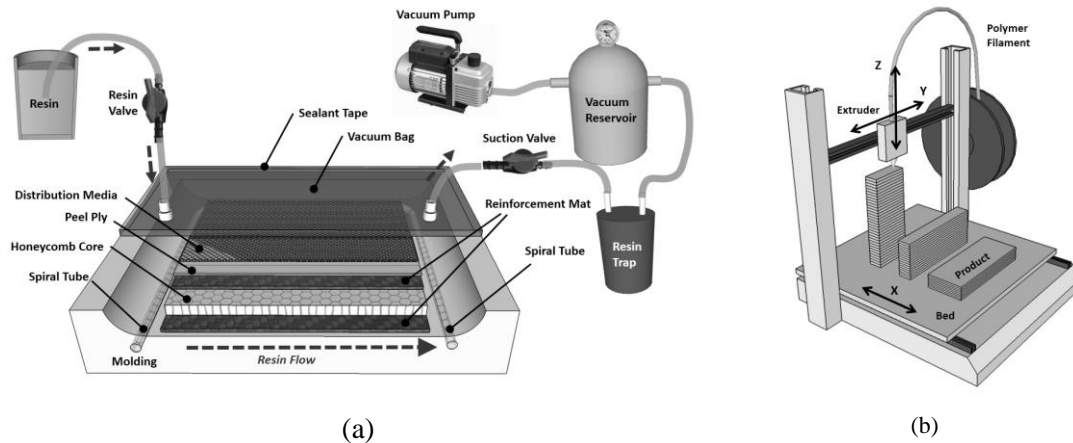
Komposit sandwich terbentuk dari struktur lapisan dengan permukaan kaku pada lapisan atas dan lapisan bawah (seperti pelat paduan aluminium, komposit serat kaca, atau komposit serat karbon) mengapit lapisan inti (*core*) yang bersifat ringan (seperti *honeycomb*, *truss*, *foam*) [1]. Keunggulan material komposit sandwich adalah memiliki kekakuan struktur tinggi dan ringan, sehingga banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi rekayasa yang memerlukan sifat ringan dan kaku.

Kekakuan komposit sandwich berasal dari penggunaan inti (*core*) cukup tebal terbuat dari material yang ringan (polimer, aluminium). Lapisan inti dan lamina direkatkan oleh suatu bahan perekat. Bahan yang digunakan sebagai lapisan inti harus mempunyai sifat yang ringan, memiliki kekuatan geser untuk mendistribusikan tegangan antara kedua kulit dan kekuatan tekanan yang baik untuk menahan beban [2].

Metode *vacuum infusion* yaitu metode manufaktur untuk membuat material komposit memanfaatkan tekanan vakum agar resin akan

mengalir mengisi cetakan komposit, Gambar 1. Selain itu, tekanan atmosfer diluar cetakan memberikan tekanan merata pada cetakan komposit, sehingga dapat menghasilkan produk komposit yang memiliki kehalusan permukaan pada kedua sisinya [3].

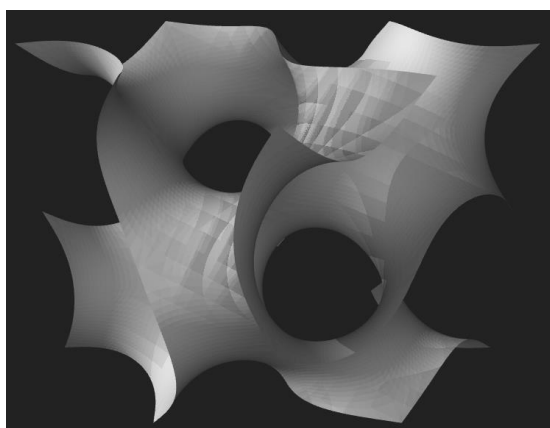
Salah satu teknologi 3D printing yang banyak digunakan adalah Fused Deposition Modeling (FDM). Pada proses FDM, Gambar 1, ini filamen polimer dilewatkan nosel panas (*extruder*) yang temperturnya melebihi temperatur leleh filamen (*melting temperature*), sehingga filamen mencair keluar nosel menempel pada platform. Cairan ini dengan cepat membeku membentuk deposit. Nosel bergerak dalam arah x-y sesuai dengan bentuk penampang produk. Setelah satu lapisan selesai dikerjakan, nosel dinaikkan, atau platform diturunkan (untuk jenis mesin 3D printer yang berbeda), sejauh tebal satu lapisan. Langkah-langkah tersebut diulang-ulang hingga produk terbentuk seluruhnya.



Gambar 1. (a). Metode *Vacuum Infusion*, (b) Proses *Fused Deposition Modeling* (FDM)

Sifat-sifat mekanik produk 3D Printing FDM ini dipengaruhi oleh beberapa parameter proses printing, yaitu jenis material filamen, orientasi peletakan model, densitas *infill*, dan temperatur nosel [4]. Orientasi peletakan model pada saat pembuatan produk 3D Printing metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) mempengaruhi nilai kekuatan tarikannya. Jumlah serat yang searah dengan arah pembebanan tarik dapat meningkatkan kekuatan tarik produk dan sebaliknya batas antar lapisan merupakan bagian lebih lemah dibandingkan serat maupun raster saling silang [5]. Kekakuan spesifik (*rigidity specific*) orientasi  $0^\circ$  lebih tinggi dari orientasi  $90^\circ$ . Hal ini disebabkan karena *infill honeycomb* pada  $0^\circ$  searah dengan beban lentur, sedangkan *infill honeycomb* pada suhu  $90^\circ$  tegak lurus terhadap arah beban lentur. Momen inersia penampang lentur pada *infill honeycomb* orientasi  $0^\circ$  lebih besar dibandingkan dengan orientasi  $90^\circ$  [6].

Gyroid adalah *Triply Periodic Minimal Surfaces* (TPMS) yang tidak berpotongan, terhubung tanpa batas, tidak mengandung garis lurus dan



Gambar 2. Model 3D unit sel gyroid (<https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroid>)

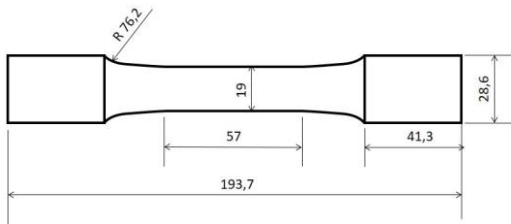
memiliki kelengkungan rata-rata nol pada setiap titik di permukaannya, Gambar 2. Struktur gyroid terinspirasi oleh struktur yang ditemukan secara alami pada sayap kupu-kupu dan lipid, ditemukan oleh ilmuwan NASA Alan Schoen pada tahun 1970 [7].

Struktur gyroid tidak memiliki sambungan atau diskontinuitas sehingga mampu meminimalkan efek konsentrasi tegangan [8]. Keuntungan dari struktur seluler adalah sifat mekanik yang kuat dan dapat disesuaikan dengan permintaan desain [9]. Struktur kisi seluler gyroid memiliki topologi yang dirancang dengan inti bola pusat yang dibangun dengan mengulang sel unit. Struktur kompleks gyroid hanya mungkin diproduksi dengan teknologi *additive manufacturing* [10]. Salah satu sifat yang paling menarik dari struktur gyroid adalah sifat kekuatan tekannya [11].

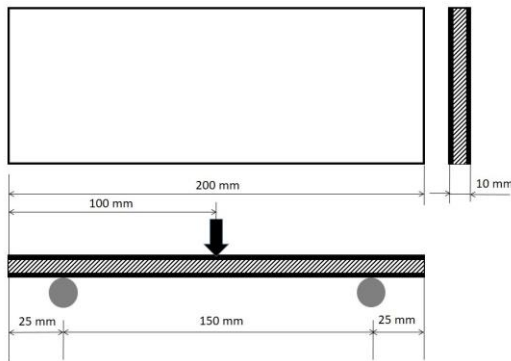
Penelitian ini bertujuan adalah menguji kekuatan kekuatan tarik dan kekakuan bending komposit sandwich *skin* serat karbon dengan *core* hasil proses FDM *infill* tipe gyroid *polyactic acid* (PLA). Metode fabrikasi komposit sandwich menggunakan metode *vacuum infusion*.

## METODE PENELITIAN

Pengujian tarik menggunakan standar ASTM D638 tipe III, Gambar 6.A, dan pengujian lentur tiga titik menggunakan standar ASTM C393 *three point bending*, Gambar 6.B. Dimensi spesimen pengujian tarik pada Gambar 3 dan dimensi spesimen pengujian lentur pada Gambar 4.



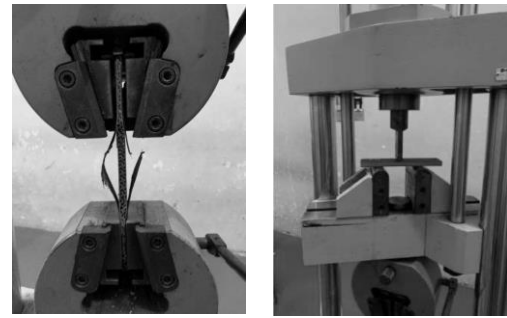
Gambar 3. Dimensi spesimen pengujian tarik ASTM D638 tipe III.



Gambar 4. Dimensi spesimen pengujian lentur tiga titik ASTM C393.



Gambar 5. Proses pembuatan spesimen menggunakan metode *vacuum infusion*.

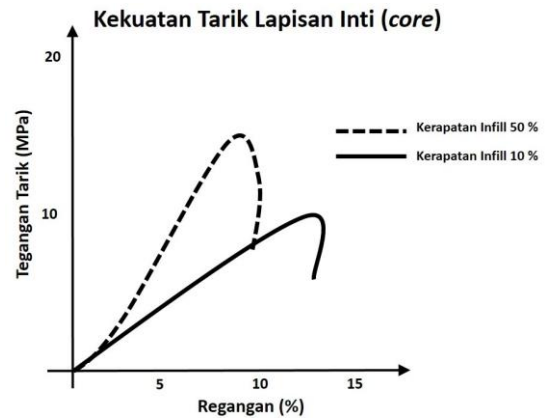


Gambar 6. (A) Pengujian tarik komposit sandwich menggunakan standar ASTM D638 tipe III; (B) Pengujian bending tiga titik komposit sandwich menggunakan standar ASTM C393..

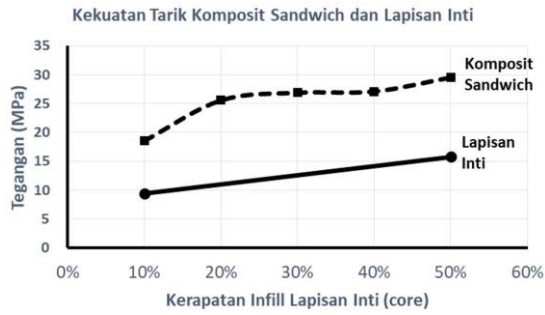
Proses pembuatan lapisan inti (*core*) menggunakan mesin 3D printer FDM dengan material PLA (*polylactic acid*), tebal layer 0.2 mm, suhu bed 50°C, suhu nozzle 220°C, speed 100 mm/detik serta variasi kerapatan infill 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, fill pattern gyroid. Pelapisan skin serat karbon pada bagian atas dan bawah menggunakan metode *vacuum infusion*, Gambar 5. Serat karbon yang digunakan adalah kevlar fiber fabric 3k 2x2 200 gsm PLAIN & TWILL Grade A.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data-data hasil pengujian tarik dan pengujian bending, kemudian ditampilkan ke dalam grafik-grafik berikut.

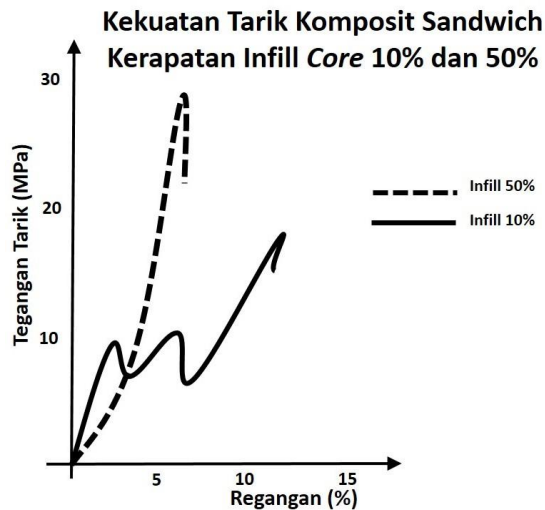


Gambar 7. Perbandingan kekuatan tarik lapisan inti (*core*) antara kerapatan *infill* 10% dengan 50%.



Gambar 8. Pengaruh kerapatan *infill* lapisan inti (*core*) terhadap kekuatan tarik komposit sandwich.

Kekuatan tarik komposit sandwich meningkat sebanding dengan peningkatan kekuatan tarik lapisan inti akibat penambahan kerapatan *infill*-nya. Semakin rapat struktur *infill* dari *core* maka luas penampang yang menahan beban tarik semakin besar, sehingga kekuatan tarik meningkat, Gambar 7.

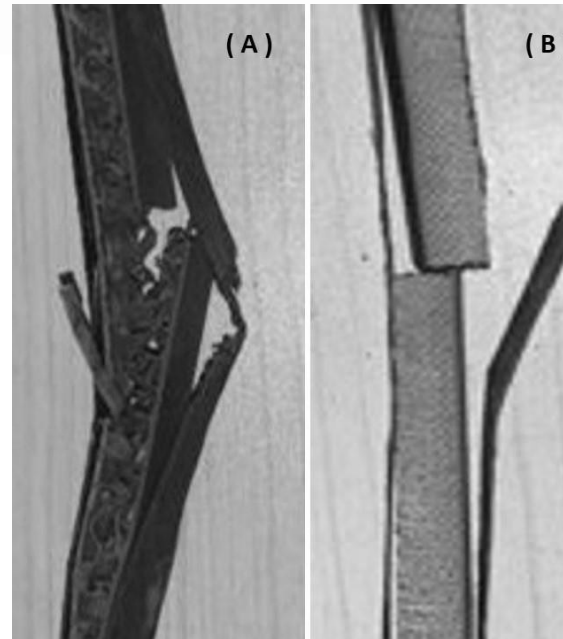


Gambar 9. Perbandingan kekuatan tarik komposit sandwich antara kerapatan *infill core* 10 % dengan 50 %.

Penambahan *skin* komposit serat karbon dapat meningkatkan kekuatan tarik lapisan inti sebesar 192 %, Gambar 8. Hal itu dikarenakan *skin* komposit serat karbon memiliki kekuatan tarik lebih tinggi daripada *core*.

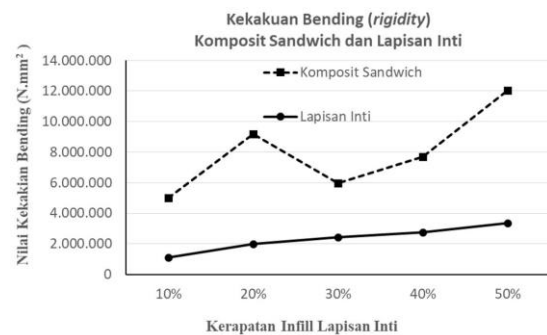
Dari grafik pada Gambar 9 terlihat bahwa keuletan spesimen kerapatan *infill core* 50% lebih rendah dibandingkan kerapatan *infill core* 10%. Spesimen dengan kerapatan *infill* 10% memiliki bentuk patahan yang miring pada bagian *infill core*-nya dan mampu teregang cukup besar. Pada kerapatan *infill core* 50%, bentuk patahannya *core*-nya lurus melintang tepat pada sambungan antar struktur gyroid dan patahan

skin letaknya tidak jauh dari posisi patahan *core*, Gambar 10.



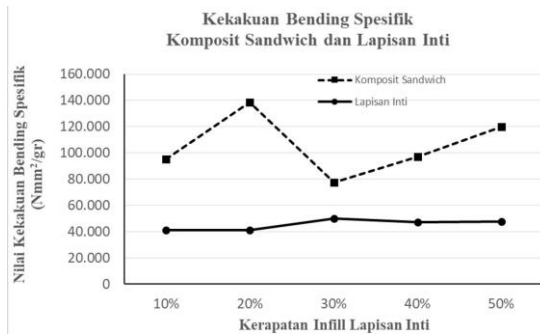
Gambar 10. Bentuk kegagalan uji tarik pada spesimen komposit sandwich dengan kerapatan *infill* lapisan inti (A). 10% dan (B). 50%.

Penambahan *skin* komposit serat karbon pada lapisan inti (*core*) mampu meningkatkan nilai kekakuan bending (*rigidity*), Gambar 11, dan kekakuan bending spesifik (*specific rigidity*), Gambar 12. Peningkatan kekakuan bending komposit sandwich dibandingkan lapisan inti berkisar antara 243 % - 406 %. Hal tersebut dikarenakan komposit serat karbon yang digunakan sebagai *skin* memiliki kekuatan tekan dan kekuatan tarik cukup tinggi untuk menahan tegangan tekan pada bagian atas dan tegangan tarik pada bagian bawah akibat beban bending.



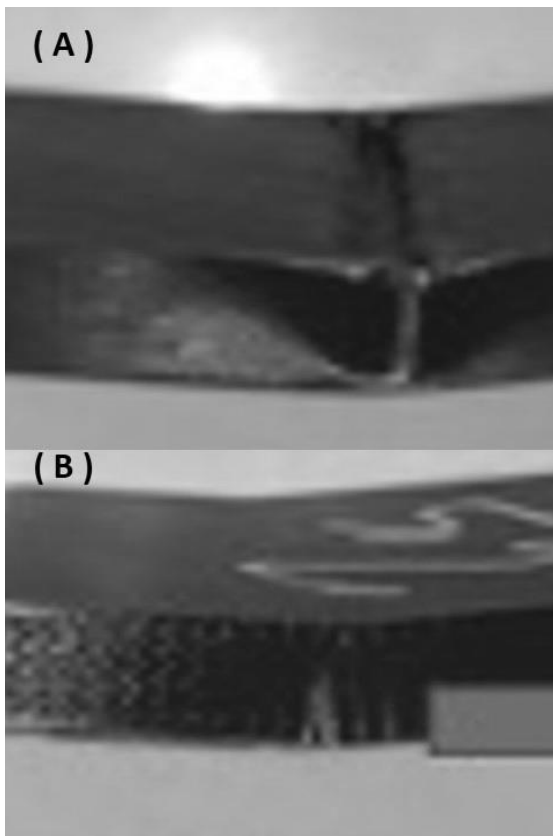
Gambar 11. Pengaruh kerapatan *infill* lapisan inti (*core*) terhadap nilai kekakuan bending (*rigidity*) komposit sandwich.





Gambar 12. Pengaruh kerapatan *infill* lapisan inti (*core*) terhadap nilai kekakuan bending spesifik (*specific rigidity*) komposit sandwich.

Kekakuan bending tertinggi pada spesimen komposit sandwich dengan kerapatan *infill core* 50%. Hal itu karena kekakuan bending *core*-nya memang lebih tinggi dibandingkan kerapatan *infill* lainnya. Namun, apabila berat dari spesimen ikut diperhitungkan, maka komposit sandwich dengan kerapatan *infill core* 20% memiliki kekakuan bending spesifik yang tertinggi dibandingkan kerapatan *infill* lainnya.

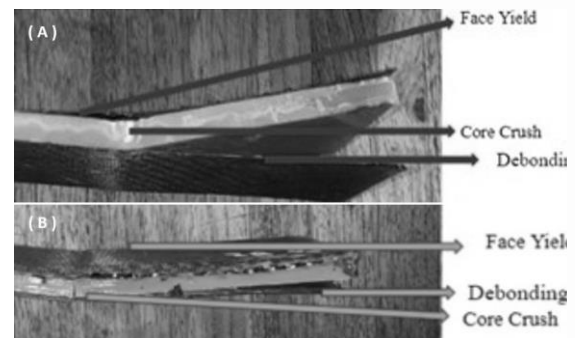


Gambar 13. Bentuk kegagalan uji bending tiga titik pada spesimen lapisan inti (*core*) dengan kerapatan *infill* (A). 10% dan (B). 50%.

Bentuk patahan pada pada spesimen lapisan inti (*core*) dengan kerapatan *infill* 10 % menunjukkan fenomena kegagalan *core crush* yaitu bagian

struktur *infill core* tidak mampu menahan beban arah vertikal sehingga permukaan bagian atasnya melesak kedalam struktur *infill*-nya, Gambar 13-A. Sedangkan bentuk patahan pada spesimen bending dengan kerapatan *infill* 50% dimulai dari permukaan bawah yang patah karena tegangan tarik yang terjadi. Patahan kemudian merambat ke bagian struktur *infill* dikarenakan kombinasi tegangan geser arah vertikal dan tegangan tarik arah horisontal akibat beban bending yang terus terjadi, Gambar 13-B.

Bentuk patahan komposit sandwich pada kerapatan *infill core* 10%, Gambar 14-A, dan 50%, Gambar 14-B, *skin* mengalami *face yield* (deformasi *skin* akibat perbedaan keuletan *skin* dengan *core*), *debonding* (kegagalan *interface* antar *core* dengan *skin*), dan *core crush* (*skin* kehilangan daya dukung akibat kegagalan struktur *infill*).



Gambar 14. Bentuk kegagalan uji bending tiga titik pada spesimen komposit sandwich dengan kerapatan *infill* lapisan inti (A). 10% dan (B). 50%.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan pengujian bending yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan *skin* komposit serat karbon pada lapisan inti (*core*) PLA mampu meningkatkan kekuatan tarik sebesar 187 % - 197% dan kekakuan bending sebesar 243 % - 406 %.

Peningkatan kerapatan *infill* lapisan inti, maka sifat mekanik komposit sandwichnya akan semakin tinggi. Namun jika memperhitungkan berat spesimen, maka kerapatan *infill core* 20% menghasilkan kekuatan tarik spesifik dan kekakuan bending spesifik tertinggi dibandingkan kerapatan *infill core* lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada DPPM Universitas Islam Indonesia yang telah mendanai penelitian ini pada skema Riset Unggulan Universitas tahun 2023.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Santosh Kumar Sahum, P.S.Rama Sreekanth and S. V. Kota Reddy, "A Brief Review on Advanced Sandwich Structures with Customized Design Core and Composite Face Sheet", *Polymers* 2022, 14(20), 4267, doi: 10.3390/polym14204267.
- [2] Muchtiwibowo, R. L., Manik, P., Jokosisworo, S., "Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Material Komposit Sandwich dengan Metode Vacuum Infusion Sebagai Material Kapal". *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), 314–322, 2016.
- [3] Muhammad Ridlwan, Abdi Haritz Pratama, "Pengaruh Ketebalan dan Jenis Material 3dD Printed Core Terhadap Kekakuan Bending Komposit Sandwich Skin Serat Karbon", *Symposium Nasional RAPI XXI – 2022 FT UMS*, ISSN 2686-4274, 157-164, Desember 2022
- [4] Tanikella, N. G., et al, "Tensile Strength of Commercial Polymer Materials for Fused Filament Fabrication 3D Printing", *Additive Manufacturing*, March 2017, doi: 10.1016/j.addma.2017.03.005.
- [5] Prasetyo, A., Ridlwan, M., "Pengaruh Orientasi Peletakan Model Terhadap Kekuatan Tarik Produk Printer 3D Menggunakan Metode Fused Deposition Manufacturing (FDM) dengan Material Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)", *Prosiding Seminar Nasional XI Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin Di Industri; ITENAS*, Bandung, 2012
- [6] M. Ridlwan, N. M. Syafi'i, F. A. Nurgesang and R. Riza, "3D Printed Polymer Core and Carbon Fiber Skin Sandwich Composite: An Alternative Material and Process for Electric Vehicles Customization," *2022 7th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)*, Bali, Indonesia, 2022, pp. 34-37, doi: 10.1109/ICEVT55516.2022.9924696..
- [7] Schoen A H., "Infinite Periodic Minimal Surface Without Self-Intersections", *NASA Electronics Research Center Cambridge, Mass.* 02139, 1970.
- [8] Diab W. Abueidda, et. al., "Mechanical Properties Of 3D Printed Polymeric Gyroid Cellular Structures: Experimental And Finite Element Study", *Materials and Design*, Volume 165, 5 March 2019, article 107597, doi: 10.1016/j.matdes.2019.107597
- [9] W. Lee, D.-Y. Kang, J. Song, J.H. Moon, D. Kim, "Controlled Unusual Stiffness of Mechanical Metamaterials", *Sci. Rep.* 6 , 20312, 2016.
- [10] Monkova, K.; Monka, P.; Zetkova, I.; Hanzl, P.; Mandulak, D. "Three Approaches to the Gyroid Structure Modelling as a Base of Lightweight Component Produced by Additive Technology". *DEStech Trans. Comput. Sci. Eng. CMSAM* 2017
- [11] Da Silva, C.M.M., "3D Printing of Gyroid Structures for Superior Structural Behaviour". *Master's Thesis, The University of Porto, Porto, Portugal*, 2019; 184p
- [12] W. Lee, D.-Y. Kang, J. Song, J.H. Moon, D. Kim, "Controlled unusual stiffness of mechanical metamaterials", *Sci. Rep.* 6 , 20312, 2016