

Pengaruh *Print Speed* dan *Layer Height* Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printer Berfilamen TPU-95A

Rizal Lesmana^{a,1,*}, Dani Mardiyana^{a,2}, Lazuardi Akmal Islami³

^aTeknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Indonesia

¹rizal.lesmana_tm21@nusaputra.ac.id. ²dani.mardiyana@nusaputra.ac.id. ³lazuardi.akmal@nusaputra.ac.id

ABSTRAK

3D Printing salah satu mesin paling efisien dan inovatif dengan teknologi *Additive Manufacturing* (AM) yang mampu menciptakan sebuah objek 3D. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter *print speed* dan *layer height* terhadap kekuatan tarik produk yang dicetak menggunakan filament TPU-95A pada teknologi *3D printing*. TPU-95A merupakan material elastomer dengan karakteristik yang fleksibel, elastis, dan memiliki kekuatan tarik yang baik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan printer *Ender-3 Pro*, serta berbagai variasi *print speed* (70, 80, dan 90 mm/s) dan *layer height* (0,15 mm dan 0,20 mm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kecepatan cetak yang lebih rendah dan ketebalan lapisan yang lebih tipis menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Kecepatan cetak 70 mm/s dan ketebalan lapisan 0,15 mm, memberikan kekuatan tarik terbaik, sedangkan kombinasi kecepatan cetak 90 mm/s dan ketebalan lapisan 0,2 mm menghasilkan kekuatan tarik terendah. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam optimalisasi parameter *3D printing* untuk aplikasi material fleksibel seperti TPU-95A.

Kata kunci

3D printing
TPU 95A
Print speed
Layer height
Uji Tarik

1. Pendahuluan

Pada era industri 4.0 perkembangan teknologi cetak tiga dimensi (*3D printing*) telah menciptakan peluang baru di sektor manufaktur, terutama dalam pembuatan prototipe dan komponen dengan bentuk yang rumit [1]. *3D Printing* adalah salah satu mesin paling efisien dan inovatif dengan teknologi *Additive Manufacturing* (AM) yang mampu menciptakan sebuah objek 3D dengan struktur unik dan beragam bentuk [2]. *Fused Deposition Modeling* (FDM) yaitu teknik yang paling umum digunakan dalam pemodelan AM dan diproduksi dengan proses ini dapat bersaing pada industri manufaktur konvensional (*Injection Moulding*) [3][4].

Prinsip kerja dari *3D printing* menggunakan metode *layer by layer* yaitu dengan cara memanaskan *filament* yang di cetak secara berlapis-lapis hingga terbentuk suatu objek 3D yang secara detail [5]. Material utama *3D printing* salah satunya *filament* yang berfungsi sebagai pengisi cetakan. Beberapa jenis *filament* umumnya seperti material *polylactic acid* (PLA), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polyethylene terephthalate glycol* (PETG), dan *polycarbonate* (PC), perlu kita ketahui teknologi FDM saat ini terus mengalami perubahan berkembang, terutama di bagian penggunaan material sebagai bahan pembentuk utama untuk material yang memiliki sifat fleksibel [6][7]. Salah satu material yang memiliki sifat fleksibel adalah TPU-95A (*Thermoplastic Polyurethane*) khususnya jenis TPU-95A memiliki karakteristik elastis, fleksibel, dan daya tarik yang baik [8].

Namun, diperlukan beberapa pengaturan parameter pada percetakan *3D printing* yang tepat, seperti *print speed*, *layer height*, *infill density*, dan *printing temperature* untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik dari segi kekerasan dan kekuatan tarik yang optimal untuk produk berfilament TPU 95A. Penelitian mengenai penggunaan material elastomer dan non-elastomer dengan proses FDM telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan berbagai tujuan. Hasdiansah et al. (2018) meneliti pengaruh parameter proses *3D printing* terhadap elastisitas produk TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) [9]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa suhu *ekstruder* dan ketebalan lapisan memiliki pengaruh signifikan terhadap elastisitas produk yang dihasilkan dari *filament* TPU. Selain itu, Setiawan, (2017) menemukan bahwa parameter terbaik untuk kekuatan tarik dengan *print speed* 80 mm/s dan *layer height* 0,15 mm, dan suhu cetak 220°C, dengan hasil kontribusi sebesar 30, 46 Mpa [10].

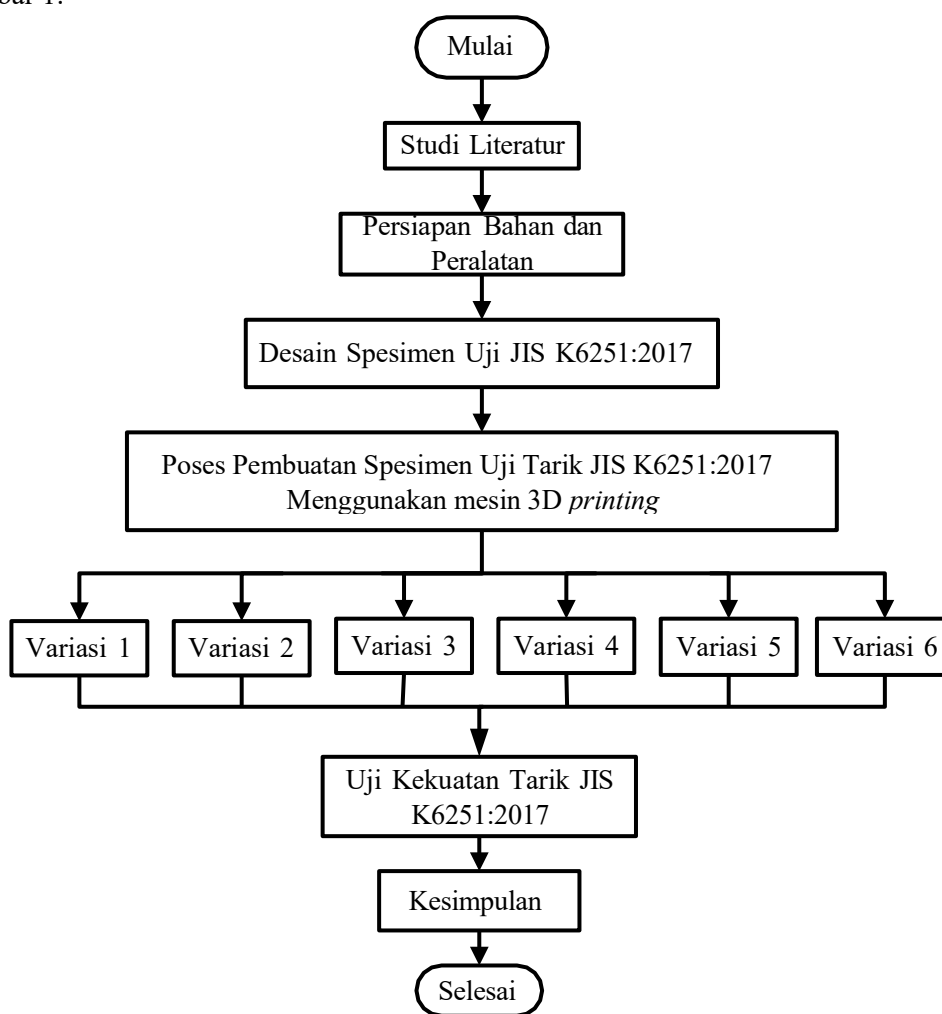
Berdasarkan latar belakang dan tinjauan yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian ini difokuskan pada dua parameter cetak, yaitu kecepatan cetak dan ketebalan lapisan, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan tarik material TPU-95A. Meskipun kecepatan cetak dan ketebalan lapisan telah

diteliti sebelumnya, mengenai pengaruhnya terhadap material TPU 95A belum ada penelitiannya. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi secara luas dalam pengembangan teknologi *3D printing* menggunakan material fleksibel seperti *filament* TPU-95A.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Pada penelitian *3D printing* dengan menggunakan metode eksperimen dengan tujuan utama dari penelitian eksperimen berfungsi untuk memahami hubungan sebab-akibat antara variabel independen (yang dimanipulasi) dan variabel dependen (yang diukur). Pada 3D printer diperlukan *setting* parameter yang akurat dengan proses pembuatan spesimen *3D printing* disini diperlukan beberapa parameter proses seperti, 2 parameter yaitu parameter tetap dan parameter bervariasi.

Berdasarkan dari penelitian untuk mempermudah tahapan proses penelitian ini dibuat diagram alir seperti gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

2.1 Material

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah *filament* TPU 95A yang memiliki diameter 1.75 mm dan berwarna putih bening dengan diproduksi dari *Shenzhen Esun Industrial CO., Ltd. China (eSun Filament)* untuk membuat spesimen uji Tarik. Spesifikasi dari material TPU 95A yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *filament* TPU 95A

<i>Spesifikasi</i>	TPU 95A
Diameter	: 1.75 mm
<i>Printing Temperature</i>	: 220 – 250 °C
<i>Printing Speed</i>	: 20 – 100 mm/s
<i>Bed Temperature</i>	: 45 - 60 °C
<i>Net Weight</i>	: 1 Kg

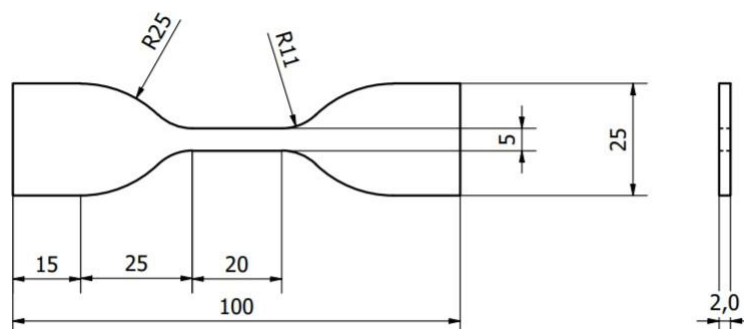
2.2 Proses Pembuatan Spesimen

Pada penelitian ini spesimen uji tarik dibuat menggunakan printer *Ender-3 Pro*. Dari spesimen uji tarik didesain menggunakan *software autodesk inventor2023*, untuk dimensi spesimen uji tarik mengacu pada standar pengujian tarik untuk material polimer dan campuran dan disimpan dalam format file *standard tessellation language* (STL), kemudian file STL tersebut dimasukkan kedalam *Software Ultimacer Cura* dengan setting parameter variasi lalu di rubah kedalam format *G code* dan di simpan atau *converter SD Card* untuk itu di lakukan proses pencetakan menggunakan mesin 3D Printer serta settingan terhadap mesin 3D printer. Adapun terdapat 2 Parameter yang digunakan dalam proses cetak spesimen uji tarik yaitu Parameter tetap dan parameter variasi, parameter tetap yang digunakan yaitu sebagai berikut: *Infill density* 100%, *bed temperature* 60⁰ C, *Printing temperature* 220° C dan *infill fatterns* berjenis *consentric*. Sedangkan untuk parameter variasi terdapat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Parameter Variasi

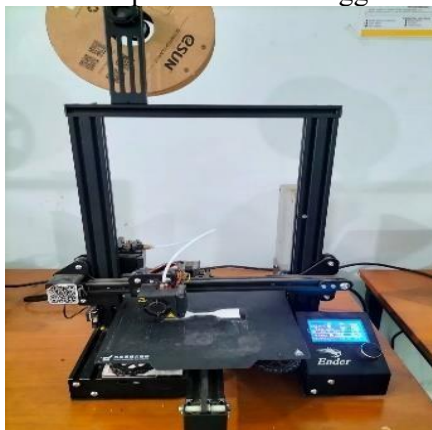
<i>Print speed</i> (mm/s)	<i>Layer height</i> (mm)	Variasi Parameter
70	0,15	Variasi 1
70	0,2	Variasi 2
80	0,15	Variasi 3
80	0,2	Variasi 4
90	0,15	Variasi 5
90	0,2	Variasi 6

Total sebanyak 6 spesimen uji tarik yang telah dibuat dengan menggunakan beberapa parameter variasi cetak. Seperti terdapat parameter tetap dan variasi parameteranya. Spesimen uji tarik dengan dimensi panjang keseluruhan ukuran 100 mm, terdapat pada gambar 2, mengikuti standar JIS K6251-2017.



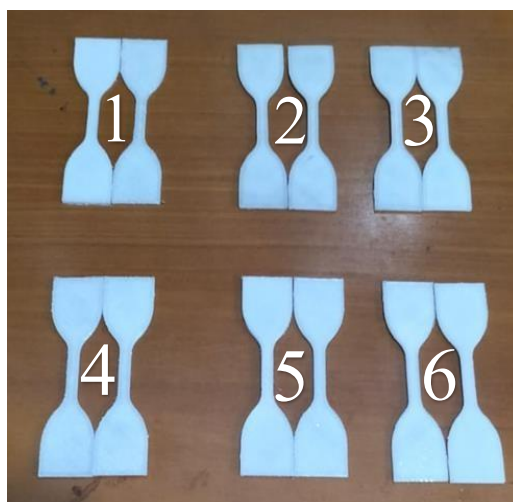
Gambar 2. Desain Dimensi Spesimen Uji Tarik

Dari gambar diatas terdapat desain spesimen uji tarik dengan standar JIS K6152-2017 dengan menggunakan *software autodesk inventor 2023*. Setelah desain spesimen uji tarik dilakukan proses pembuatan dengan pengaturan parameter tetap dan variasi menggunakan mesin *3D printing*.



Gambar 3. Proses Pembuatan Spesimen Menggunakan Mesin *3D Printing*

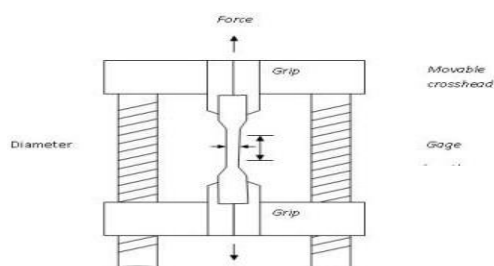
Berdasarkan gambar dibawah ini merupakan hasil dari proses pembuatan mesin *3D printing* dengan berbagai parameter tetap dan parameter variasi, sehingga terdapat hasil cetak 6 spesimen seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. Hasil Cetak Spesimen Uji Tarik

2.3 Prosedur Spesimen Pengujian Tarik

Pengujian tarik memiliki prinsip cara kerja seperti pada benda uji yang sudah disiapkan sesuai ukuran diletakan pada mesin uji tarik dan akan diberikan beban tarik uniaxial (satu arah) yang akan bertambah secara kontinyu, hingga material uji tarik tersebut putus dan pada saat yang bersamaan dengan penarikan tersebut, akan dilakukan pengamatan serta pengambilan data (Yogie, 2022).



Gambar 5. Deskripsi Uji Tarik [11]

Pada uji tarik beban ditambahkan secara bertahap, menyebabkan panjang material bertambah sebanding dengan gaya yang diterapkan. Hubungan proporsional ini berlanjut hingga material mencapai batas proporsionalitasnya. Spesifikasi mesin uji tarik bisa dilihat pada tabel 3, secara jelas dan detail mengenai komponen dan parameter tertentu.

Tabel 3. Spesifikasi Mesin Uji Tarik

<i>Spesifikasi</i>	<i>Universal Testing Machine</i>
<i>Merek</i>	: SHIMADZU
<i>Model</i>	: AGS – X,10N – 10kN
<i>P/N</i>	: 337 – 01261 – 21
<i>V</i>	: 100 – 110 / 115 – 130 / 220 – 230 / 240
<i>H_z</i>	: 50 / 60
<i>VA</i>	: 1.2k
<i>Fuse</i>	: 250V, 10A, Slow-Blow (100-130V) 250V, 5A, Slow-Blow (220-240V)
<i>Frame Capacity</i>	: 10 kN
<i>Frame Weight</i>	: 85kg

Setelah melewati batas ini, penambahan panjang akibat beban tambahan tidak lagi sebanding. Beban yang sama dapat menghasilkan pertambahan panjang yang lebih besar dibandingkan sebelumnya, hingga akhirnya batang uji mengalami pertambahan panjang tanpa penambahan beban lebih lanjut.



Gambar 6. Mesin Uji Tarik

3. Hasil dan Pembahasan

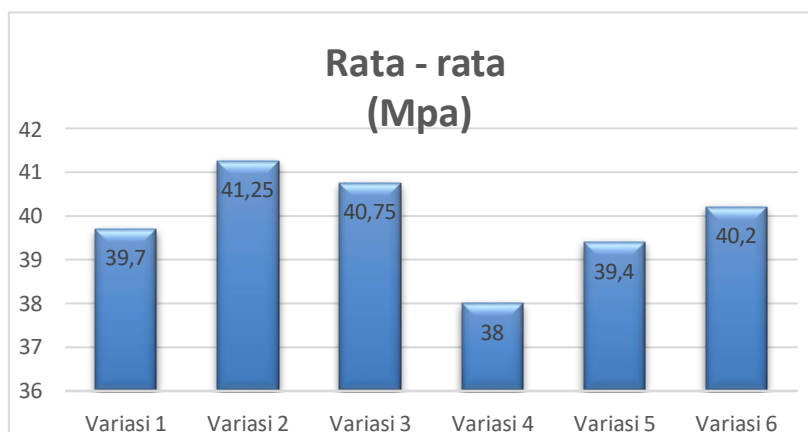
3.1. Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan Uji tarik sebagian besar digunakan untuk mendukung spesifikasi material dan menambah informasi desain dasar tentang kekuatan material (Dieter, 1987). Berdasarkan hasil dari pengujian tarik terdapat nilai yang signifikan mengenai *print speed* dan *layer height* sehingga terdapat hasil dari parameter tetap dan parameter variasi yang dimana terdapat enam bervariasi seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen

No Exp	Replikasi 1 (Mpa)	Replikasi 2 (Mpa)	Mean (Mpa)
Variasi 1	40,7	38,7	39,7
Variasi 2	43	39,3	41,25
Variasi 3	41,6	39,9	40,75
Variasi 4	37,2	38,8	38
Variasi 5	39,7	39,1	39,4
Variasi 6	40,3	40,1	40,2

Berdasarkan data hasil uji tarik terdapat spesimen Grafik terlihat bahwa semakin tinggi *print speed*, semakin menurun kekuatan tarik spesimen. Dari kecepatan cetak yang tinggi menyebabkan penurunan kualitas pengikatan antar lapisan karena *filament* tidak memiliki cukup waktu untuk membentuk ikatan yang kuat antar lapisan. Sehingga kecepatan cetak yang lebih lambat memberikan waktu yang cukup bagi lapisan *filament* untuk menemukan parameter yang terbaik, sehingga menghasilkan peningkatan kekuatan sifat mekanik terhadap kekuatan tarik.



Gambar 7. Grafik Hasil Nilai Rata-rata Uji Tarik

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *print speed* sebesar 70 mm/s memberikan kekuatan tarik terbaik (41.25 MPa) pada ketebalan lapisan 0.15 mm. Sedangkan pada kecepatan cetak 90 mm/s memberikan kekuatan tarik terendah (38.0 MPa) dengan ketebalan lapisan 0.20 mm. Berdasarkan sesuai dengan teori bahwa penurunan kualitas pengikatan antar lapisan terjadi ketika kecepatan cetak meningkat, karena waktu kontak antar lapisan menjadi lebih singkat, sehingga ikatan antar lapisan menjadi lebih rendah.

3.2. Pembahasan

Penelitian ini dilakukan dengan menguji variasi dua parameter utama yaitu kecepatan cetak (*print speed*) dan ketebalan lapisan (*layer height*). Dari kedua parameter mempengaruhi kekuatan mekanik dari material dari *filament* TPU-95A. Pada *Print speed* merujuk pada kecepatan cetak di mana mesin 3D printer memproses *filament* menjadi objek yang dicetak. Semakin tinggi kecepatan, semakin cepat proses pencetakan, namun berpotensi menurunkan kualitas pengikatan antara *layer by layer* terhadap lapisan *filament*. Sedangkan *Layer height* adalah ketebalan setiap lapisan yang dicetak dalam satu siklus. Ketebalan yang mempengaruhi detail dan kekuatan struktur produk yang dimana lapisan lebih tipis memungkinkan detail lebih baik namun memerlukan waktu lebih lama untuk dicetak.

Berdasarkan hasil dari *print speed* dan *layer height* memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik produk yang dicetak menggunakan material *filament* TPU-95A. Setelah itu kombinasi kecepatan cetak yang lebih rendah (70 mm/s) dan ketebalan lapisan yang lebih tipis (0.15 mm) memberikan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh waktu dan ruang yang lebih baik untuk pengikatan antar lapisan *filament*, sehingga kekuatan sifat mekanik produk meningkat.

Sedangkan, kecepatan cetak yang lebih tinggi (90 mm/s) dan ketebalan lapisan yang lebih tebal (0.2 mm) menghasilkan kekuatan tarik yang lebih rendah karena kurang optimalnya pengikatan antar lapisan *filament*. Penelitian ini berdasarkan dengan teori bahwa waktu cetak yang lebih lama dan lapisan yang lebih tipis memungkinkan ikatan antar lapisan yang terbaik sehingga meningkatkan kekuatan tarik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian terdapat beberapa uraian kesimpulan yang diharapkan dapat menyelesaikan diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa parameter *print speed* dan *layer height* sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik produk *3D printing* menggunakan filament TPU-95A.
2. Dari hasil kecepatan cetak yang lebih lambat 70 mm/s dan ketebalan lapisan yang lebih tipis (0,15 mm) menghasilkan kekuatan tarik yang terbaik.
3. *Print speed* dan *layer height* sangat memengaruhi kekuatan tarik produk yang dihasilkan, serta kombinasi yang paling optimal yaitu *print speed* sebesar 70 mm/s dan *layer height* sebesar 0,15 mm, yang menghasilkan produk dengan kekuatan tarik tertinggi.
4. Berdasarkan hasil Kombinasi kecepatan cetak 90 mm/s dan ketebalan lapisan 0.2 mm menghasilkan kekuatan tarik terendah.

Referensi

- [1] Dani mardiyana, "Optimalisasi Sifat Mekanik Produk 3D Printing FDM Berfilamen TPU 95A untuk Car Bumper Guard menggunakan Metode Taguchi."
- [2] C. Mawardi, "Pengantar 3D Printing," 2020.
- [3] G. S. Lubis, M. Taufiqurrahman, and M. Ivanto, "Analisa Pengaruh Parameter Proses Terhadap Uji Tarik Produk Hasil 3D Printing Berbahan Polylactic Acid," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, p. 39, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v5i2.877.
- [4] Hasdiansah and Herianto, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing," pp. 187–192, 2018.
- [5] silvia lourenza simamora, "Studi Tentang Implementasi 3D Printer Snapmaker Dalam Merancang Suatu Sampel Dasar Produk," <https://Repository.Uhn.Ac.Id/Handle/123456789/7400>, pp. 1–53, 2022.
- [6] P. Pristiansyah, H. Hasdiansah, and A. Ferdiansyah, "Pengaruh Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament ABS CCTREE," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 14, no. 01, pp. 15–22, 2022, doi: 10.33504/manutech.v14i01.210.
- [7] R. Avriansah, Erwanto, and Pristiansyah, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Filament Polyethylene Terephthalat Glycol," *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 394–400, 2022.
- [8] R. A. Sandika, "Studi Kelayakan Soft Mold yang Dicitak Menggunakan Teknologi Fused Filament Fabrication (FFF) Bermaterial Thermoplastic Polyurethane (TPU) pada Proses Vacuum Infusion untuk Pembuatan Produk Komposit," pp. 1–47, 2022.
- [9] Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto, "Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 0–7, 2019, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>

- [10] R. Redy, H. Hasdiansah, and Z. Sirwansyah Suzen, “Optimasi Parameter Produk 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Menggunakan Filamen TPU (Thermoplastic Polyurethane),” *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 312–317, 2023, doi: 10.33504/jitt.v1i2.19.
- [11] A. H. Rahman, *Pengaruh Ketebalan Variasi Core (3D Print) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Assisted Resin Infussion (Vari.* 2022.