

## Pengaruh Temperatur Nozel Dan Arah Orientasi Posisi Obyek Hasil *Additive Manufacturing* Terhadap Kekuatan Impak

Fina Andika Frida Astuti<sup>1)</sup>, Arif Rochman Fachrudin<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Politeknik Negeri Malang, Kota Malang

Email korespondensi: fina.andika@polinema.ac.id

### Abstrak

Teknologi 3D printing dikenal dengan sebutan *additive layer manufacturing*. Salah satu teknologi 3D printing yang terkenal adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM). Prinsip kerja FDM dengan cara ekstrusi termoplastik melalui nosel yang panas pada melting temperature selanjutnya produk dibuat lapis per lapis. Penelitian pengaruh parameter 3D printing telah banyak dilakukan dengan menggunakan filamen PLA. Perkembangan filamen sangat pesat seiring dengan berkembangnya manufaktur 3D printing. Filamen PLA berkembang menjadi filamen PLA+. Filamen PLA+ memiliki tingkat ketahanan lebih baik dibandingkan PLA biasa. Penelitian pengaruh parameter 3D printing untuk filamen PLA+ perlu dikembangkan untuk mendapatkan parameter yang terbaik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengaruh temperatur nozle dan arah orientasi obyek terhadap kekuatan impak hasil *additive manufacturing* dengan menggunakan filamen PLA+. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah secara experimental. Variasi temperatur nozel yang digunakan adalah 195°C, 210°C, 215°C, dan 220°C. Orientasi obyek digunakan adalah vertikal dan horisontal. Hasil penelitian menunjukkan temperatur nozel dan orientasi posisi obyek mempengaruhi kekuatan impak material PLA+. Kekuatan impak terbesar pada arah orientasi horisontal pada temperatur nozel 220°C. Semakin meningkat temperatur nozel dalam proses 3D printing maka semakin meningkat kekuatannya.

**Kata Kunci:** additive manufacturing, impak, orientasi obyek, PLA+, temperatur nozel.

### Abstract

*3D printing technology is known as additive layer manufacturing. One of the well-known 3D printing technologies is Fused Deposition Modeling (FDM). The working principle of FDM is to extrude thermoplastic through a hot nozzle at melting temperature, then the product is made layer by layer. Research on the influence of 3D printing parameters has been carried out using PLA filament. The development of filaments is very rapid along with the development of 3D printing manufacturing. PLA filaments develop into PLA+ filaments. PLA+ filament has a better level of durability than regular PLA. Research into the influence of 3D printing parameters for PLA+ filament needs to be developed to obtain the best parameters. This research aims to determine the effect of nozzle temperature and object orientation on the impact strength of additive manufacturing results using PLA+ filament. The method used in this research is experimental. The nozzle temperature variations used are 195°C, 210°C, 215°C, and 220°C. The object orientation used is vertical and horizontal. The research results show that the nozzle temperature and object orientation influence the impact strength of the PLA+ material. The greatest impact strength is in the horizontal orientation at a nozzle temperature of 220°C. The more the nozzle temperature increases in the 3D printing process, the greater the impact strength.*

**Keywords:** additive manufacturing, impact, object orientation, PLA+, nozzle temperature.

### Pendahuluan

*Additive manufacturing* adalah sebuah proses manufaktur yang secara langsung menghasilkan produk tiga dimensi lapis demi lapis bantuan perangkat lunak CAD. Additive manufacturing dapat dibagi menjadi banyak kategori berbeda. *Fused deposition*

*modeling* (FDM) merupakan salah satu kategori yang paling umum digunakan (Shashikumar & Sreekanth, 2023).

FDM memiliki banyak aplikasi industri; ini secara khusus cocok untuk pembuatan produk khusus yang memerlukan pengerjaan cepat. Pencetakan dengan FDM mempunyai banyak keuntungan antara lain produk yang dihasilkan ringan, beragam bahan untuk dikerjakan, biaya per bagian yang rendah, dan kemungkinan untuk mencetak prototipe untuk dilakukan pemeriksaan fungsinya (Fafenrot et al., 2017).

Banyak bahan berbeda yang tersedia untuk produksi FDM. Bahan yang paling umum digunakan dalam *polylactic acid* (PLA). Perkembangan filamen sangat pesat seiring dengan berkembangnya manufaktur 3D printing. Filamen PLA berkembang menjadi filamen PLA+. Filamen PLA+ memiliki tingkat ketahanan lebih baik dibandingkan PLA biasa. Hasil manufaktur PLA+ juga lebih halus serta minim *wiredrawing*. Filamen PLA+ juga memiliki resiko retak yang lebih kecil pada hasil 3D printing dibandingkan PLA biasa sehingga produk yang dihasilkan akan menjadi lebih baik.

Beberapa penelitian mengamati kekuatan impact yang dihasilkan dari manufaktur 3D printing. Penelitian menggunakan bahan filamen dengan manufaktur 3D printing menyatakan bahwa kekuatan impact dipengaruhi secara signifikan oleh orientasi pencetakan (Tezel et al., 2021). Penelitian yang menguji kekuatan impact hasil 3D printing dengan beberapa bahan yang berbeda menggunakan variasi orientasi pencetakan menunjukkan bahwa orientasi pencetakan 3D printing merupakan faktor yang menentukan kekuatan impact. Hal ini dikarenakan orientasi pencetakan 3D printing mempengaruhi panjang retak dan jalur untuk menembus material selama patahan (Patterson et al., 2021).

Pengujian kekuatan impact hasil 3D printing dengan orientasi horisontal dan vertikal menunjukkan bahwa orientasi horisontal mempunyai nilai kekuatan impact yang lebih tinggi dibandingkan orientasi vertikal. Orientasi horisontal memiliki kemampuan menyerap energi yang lebih banyak hingga patah dibandingkan dengan orientasi vertikal (Upadhyay Kshitiz, 2016). Pengaruh orientasi pencetakan material filamen pada pengujian impact menunjukkan bahwa orientasi pencetakan dan kekasaran permukaan memainkan peran penting dalam kekuatan sampel secara keseluruhan (Vega et al., 2011). Namun pada penelitian yang mengamati konfigurasi pencetakan 3D 45°–45° memiliki

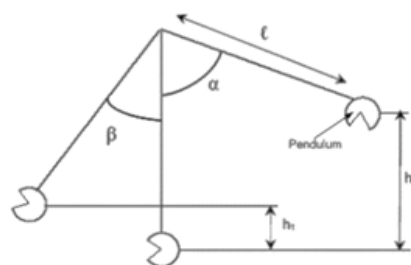
pengaruh yang kecil terhadap kekuatan impact dibandingkan dengan konfigurasi pencetakan sudut raster aksial  $0^\circ$ .

Pengaruh temperatur nozzle juga diamati dalam manufaktur 3D printing. Hasil menunjukkan bahwa temperatur nozzle juga mempengaruhi kekuatan impact. Temperatur nozzle yang menghasilkan kekuatan impact tertinggi adalah temperatur  $220^\circ\text{C}$  untuk material PLA (Bowo, Frandika Putra, Zaldy Sirwansyah Suzen, 2021). Penelitian uji impact metode charpy dengan material PLA+ menunjukkan kekuatan impact terbesar pada temperatur nozzle  $225^\circ\text{C}$  dan kekuatan impact terendah pada suhu  $215^\circ\text{C}$  (Ilham Akbar, Zaldy Sirwansyah Suzen, 2021). Akurasi dimensi hasil 3D printing juga akan mempengaruhi kekuatan impact. Akurasi dimensi dipengaruhi juga oleh temperatur nozzle (Malinda Christiliana, Priansyah, 2021).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan perlu dilakukan pengujian hasil *Additive manufacturing* material filamen PLA+ dengan memvariasikan temperatur nozzle dan orientasi manufaktur *3D printing* sehingga didapatkan parameter *3D printing* yang tepat untuk menghasilkan kekuatan impact yang tinggi untuk digunakan dalam pembuatan produk yang membutuhkan kekuatan impact tinggi.

### Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan impact dari spesimen hasil *3D printing*. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian impact. Pengujian impact merupakan pengujian dengan pembebanan cepat. Beban yang digunakan dalam uji impact adalah dinamik. Pada pengujian impact terjadi penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke spesimen. Proses penyerapan energi ini akan diubah dalam berbagai respon pada material seperti deformasi plastis, efek isterisis, gesekan dan efek inersia. Skema teoritis perhitungan energi impact seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Teoritis Perhitungan Energi Impact

Besarnya energi impact dan harga impact dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_0 = m \cdot g \cdot h_0 \quad (1)$$

$$E_1 = m \cdot g \cdot h_1 \quad (2)$$

$$E_{\text{impak}} = E_0 - E_1 \quad (3)$$

$$H_{\text{impak}} = \frac{\text{Energi Impact}}{\text{Luas penampang}} \quad (4)$$

$$h_0 = L - (L \cdot \cos \alpha) \quad (5)$$

$$h_1 = L - (L \cdot \cos \beta) \quad (6)$$

$$\text{Luas penampang} = \text{tinggi section dibawah takik} \times \text{tebal sampel} \quad (7)$$

Dimana:

$E_0$  = energi awal (*joule*)

$E_1$  = energi akhir (*joule*)

$m$  = massa pendulum (*kg*)

$h_0$  = ketinggian pendulum sebelum dilepas (*m*)

$h_1$  = ketinggian pendulum setelah dilepas (*m*)

$E_{\text{impak}}$  = energi impact (*joule*)

$H_{\text{impak}}$  = harga impact (*joule/mm<sup>2</sup>*)

$\alpha$  = Sudut awal pendulum ( $^{\circ}$ )

$\beta$  = Sudut akhir pendulum ( $^{\circ}$ )

Pengujian impact dengan metode *charpy* (*charpy test*) pada penelitian ini menggunakan panjang pendulum ( $L$ ) 0,6 m dengan massa pendulum ( $m$ ) adalah 8,3 kg. Sudut awal pendulum adalah  $120^{\circ}$ . Alat pengujian impact yang digunakan seperti pada Gambar 2.

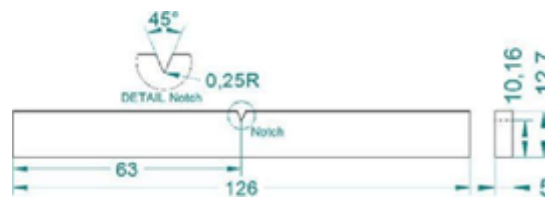
Spesimen uji impact yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan printer Prusa I3 Mk3s seperti pada Gambar 3. Pembuatan spesimen untuk pengujian impact (*charpy test*) dapat dilihat pada Gambar 4 menggunakan standar ASTM D6110-18 (Tanveer et al., 2019).



Gambar 2. Alat Uji Impak



Gambar 3. Printer Prusa I3 Mk3s



Gambar 4. Standar ASTM D 6110-18

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah filamen PLA+ seperti terlihat pada Gambar 5. Filamen PLA+ yang digunakan adalah merk eSun dengan diameter 1,75. Parameter pencetakan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pencetakan

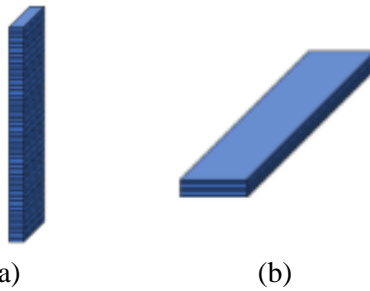
Parameter	Keterangan
<i>Layer height</i>	0,1 mm
<i>Infill Density</i>	100 %
<i>Nozzel Diameter</i>	0,4 mm
<i>Print Bed Temperature</i>	60°C
<i>Printing speed</i>	50 mm/s

Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi temperatur nozel dan orientasi manufaktur 3D *printing* terhadap kekuatan impak. Temperatur nozel yang digunakan dalam pencetakan spesimen uji impak ini adalah 195°C, 210°C, 215°C, dan 220°C.

Orientasi manufaktur yang digunakan dalam pencetakan spesimen adalah orientasi vertikal orientasi horisontal seperti pada Gambar 6.



Gambar 5. Filamen PLA+

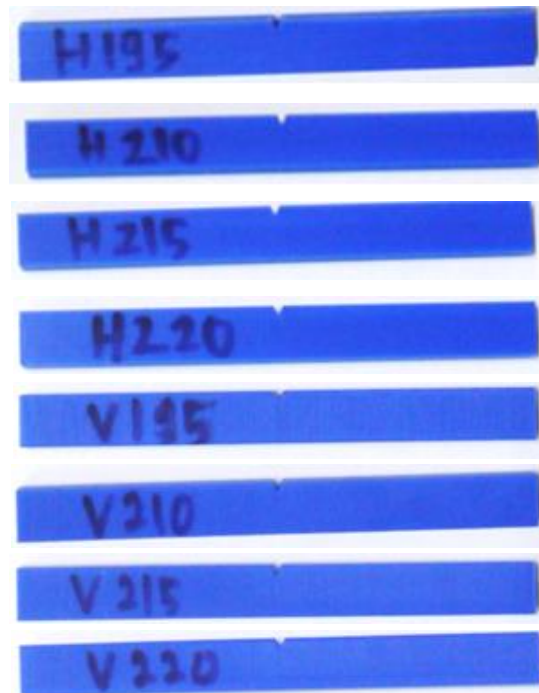


Gambar 6. (a) Orientasi Vertikal, (b) Orientasi Horisontal

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Penelitian

Hasil manufaktur *3D printing* untuk spesimen uji impak *charpy* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Spesimen Uji Impak Hasil Manufaktur *3D Printing*

Berdasarkan pengujian spesimen dengan replikasi 3 kali setiap varasi, didapatkan rata-rata sudut akhir pendulum adalah seperti pada Tabel 2. Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian tersebut akan dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan ketinggian akhir pendulum setelah dilepas. Perhitungan ketinggian akhir pendulum dengan menggunakan Persamaan 6, sedangkan untuk perhitungan ketinggian awal pendulum sebelum dilepas menggunakan Persamaan 5. Hasil perhitungan ketinggian pendulum dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Rata-Rata Sudut Akhir Pendulum

Temperatur Nozel (°C)	Orientasi Obyek	Rata-Rata Sudut Akhir (°)
195	Horisontal	117
210	Horisontal	116
215	Horisontal	114,33
220	Horisontal	113
195	Vertikal	118
210	Vertikal	117
215	Vertikal	116
220	Vertikal	115,33

Hasil perhitungan energi impak dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan energi impak tersebut menggunakan Persamaan 3, dengan energi awal dan energi akhir yang didapatkan dari Persamaan 1 dan 2. Perhitungan luas penampang menggunakan Persamaan 7.

Tabel 3. Ketinggian Pendulum

Temperatur Nozel (°C)	Orientasi Obyek	h <sub>0</sub> (m)	h <sub>1</sub> (m)
195	Horisontal	0,9	0,8724
210	Horisontal	0,9	0,8630
215	Horisontal	0,9	0,8472
220	Horisontal	0,9	0,8344
195	Vertikal	0,9	0,8817
210	Vertikal	0,9	0,8724
215	Vertikal	0,9	0,8630
220	Vertikal	0,9	0,8567

Berdasarkan ASTM D6110-18. Tinggi section di bawah takik adalah 10,16 mm, dan tebal spesimen uji impak adalah 5 mm

Maka:

$$\text{Luas Penampang} = 10,16 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} = 50,8 \text{ mm}^2$$

Hasil luas penampang ini akan digunakan untuk menghitung harga impact dengan menggunakan Persamaan 4. Hasil perhitungan harga impact dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Energi Impact

Temperatur Nozel (°C)	Orientasi Obyek	E <sub>0</sub> (Joule)	E <sub>1</sub> (Joule)	E impact (Joule)
195	Horisontal	73,2807	71,033	2,248
210	Horisontal	73,2807	70,270	3,011
215	Horisontal	73,2807	68,981	4,300
220	Horisontal	73,2807	67,943	5,338
195	Vertikal	73,2807	71,789	1,491
210	Vertikal	73,2807	71,033	2,248
215	Vertikal	73,2807	70,270	3,011
220	Vertikal	73,2807	69,755	3,526

Tabel 5. Harga Impact

Temperatur Nozel (°C)	Orientasi Obyek	Harga impact (joule/mm <sup>2</sup> )
195	Horisontal	0,0442
210	Horisontal	0,0593
215	Horisontal	0,0846
220	Horisontal	0,1051
195	Vertikal	0,0294
210	Vertikal	0,0442
215	Vertikal	0,0593
220	Vertikal	0,0694

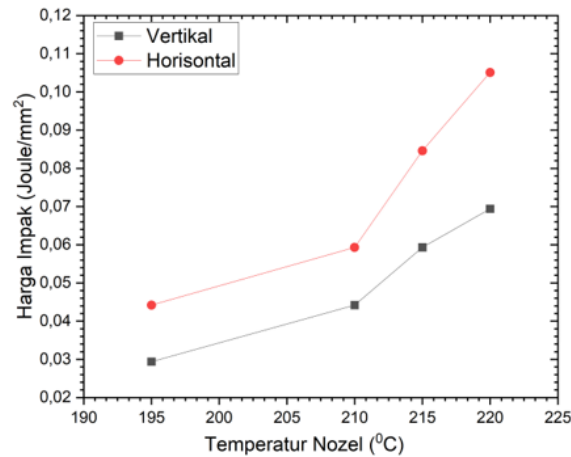
## Pembahasan

Temperatur nozel 195°C pada orientasi horisontal menghasilkan energi impact 2,248 Joule dan harga impact sebesar 0,0442 Joule/mm<sup>2</sup>. Temperatur yang sama untuk orientasi vertikal menghasilkan energi impact sebesar 1,491 Joule dan harga impact 0,0294 Joule/mm<sup>2</sup>. Temperatur nozel 220°C pada orientasi horisontal menghasilkan energi impact 5,338 Joule dan harga impact sebesar 0,1051 Joule/mm<sup>2</sup>. Temperatur nozel 220°C untuk orientasi vertikal menghasilkan energi impact sebesar 3,526 Joule dan harga impact 0,0694 Joule/mm<sup>2</sup>.

Temperatur nozel 220°C menghasilkan energi impact dan harga impact tertinggi untuk orientasi manufaktur *3D printing* secara vertikal dan horisontal. Temperatur nozel 195°C menghasilkan energi impact dan harga impact terendah untuk orientasi manufaktur *3D printing* secara vertikal dan horisontal sebagaimana pada Gambar 8. Semakin meningkat temperatur nozel dalam proses *3D printing* maka semakin meningkat kekuatan

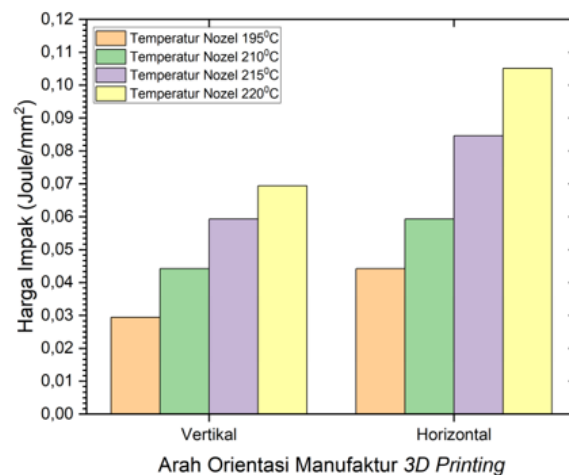


impaknya. Hal ini dikarenakan suhu nosel yang lebih tinggi dapat meningkatkan ikatan antar lapisan bagian yang dicetak, sehingga menghasilkan bagian yang lebih kuat (Shuto et al., 2022)



Gambar 8. Hubungan Temperatur Nozel Terhadap Harga Impak

Hubungan antara orientasi manufaktur *3D printing* terhadap harga impact ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan orientasi manufaktur *3D printing* terhadap harga impact

Orientasi obyek dengan manufaktur horisontal pada temperatur nozel 195°C dan manufaktur obyek vertikal pada temperatur nozel 210°C memiliki harga impact yang sama yaitu sebesar 0,0442 Joule/mm<sup>2</sup>. Harga impact untuk manufaktur obyek horisontal dan vertikal juga memiliki harga impact yang sama pada temperatur nozel 210°C orientasi obyek horisontal dan temperatur nozel 215°C orientasi obyek vertikal yaitu sebesar 0,0593 Joule/mm<sup>2</sup>.

Harga impact pada orientasi manufaktur horisontal umumnya lebih tinggi pada masing-masing variasi temperatur nozzle dibandingkan dengan orientasi manufaktur vertikal. Hal ini dikarenakan spesimen yang dihasilkan dengan orientasi horisontal mendistribusikan beban sepanjang lapisan filamen, sedangkan orientasi vertikal membagi bagian-bagian sepanjang garis lapisan. Hal ini mengakibatkan patahan yang dihasilkan mengikuti batas lapisan hasil *3D Printing*.

## Simpulan dan Saran

### Simpulan

Berdasarkan penelitian pengujian hasil *additive manufacturing* material filamen PLA+ dengan memvariasikan temperatur nozzle dan orientasi manufaktur 3D printing didapatkan parameter 3D printing yang tepat untuk menghasilkan kekuatan impact yang tinggi.

1. Temperatur nozzle mempengaruhi kekuatan impact. Semakin meningkat temperatur nozzle dalam proses 3D printing maka semakin meningkat kekuatannya. Temperatur nozzle PLA+ untuk menghasilkan kekuatan impact tertinggi adalah pada temperatur nozzle 220°C.
2. Orientasi manufaktur 3D printing mempengaruhi kekuatan impact. Arah orientasi manufaktur secara vertikal memiliki kekuatan impact yang lebih kecil dibandingkan dengan orientasi manufaktur secara horisontal.

### Saran

Saran untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya bisa dilakukan pengujian yang lainnya untuk mengetahui pengaruh hasil manufaktur 3D printing
2. Penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan filamen yang berbeda.

## Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Malang atas dukungan keuangan sehingga terlaksananya penelitian ini.

## Daftar Pustaka

Bowo, Frandika Putra, Zaldy Sirwansyah Suzen, Y. O. (2021). *View of Pengaruh Infill Geometry, Printing Speed dan Nozzle Temperature terhadap Kekuatan Impact Menggunakan Filamen ST PLA.pdf*.

- Fafenrot, S., Grimmelsmann, N., Wortmann, M., & Ehrmann, A. (2017). Three-dimensional (3D) printing of polymer-metal hybrid materials by fused deposition modeling. *Materials*, *10*(10). <https://doi.org/10.3390/ma10101199>
- Ilham Akbar, Zaldy Sirwansyah Suzen, I. (2021). *Analisis Proses 3D Printing Terhadap Pengujian Impak Metode Charpy Pada Material PLA+*. *2*(8).
- Malinda Christiliana, Priansyah, Y. O. (2021). *View of Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade.pdf*.
- Patterson, A. E., Pereira, T. R., Allison, J. T., & Messimer, S. L. (2021). IZOD impact properties of full-density fused deposition modeling polymer materials with respect to raster angle and print orientation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, *235*(10), 1891–1908. <https://doi.org/10.1177/0954406219840385>
- Shashikumar, S., & Sreekanth, M. S. (2023). The effect of printing parameters on tensile properties of thermoplastics prepared by fused deposition modeling (FDM) based additive manufacturing technique. *Materials Today: Proceedings*, *90*, 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.212>
- Shuto, R., Norimatsu, S., Arola, D. D., & Matsuzaki, R. (2022). Effect of the nozzle temperature on the microstructure and interlaminar strength in 3D printing of carbon fiber/polyphenylene sulfide composites. *Composites Part C: Open Access*, *9*(November). <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100328>
- Tanveer, M. Q., Haleem, A., & Suhaib, M. (2019). Effect of variable infill density on mechanical behaviour of 3-D printed PLA specimen: an experimental investigation. *SN Applied Sciences*, *1*(12). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1744-1>
- Tezel, T., Ozenc, M., & Kovan, V. (2021). Impact properties of 3D-printed engineering polymers. *Materials Today Communications*, *26*(February). <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102161>
- Upadhyay Kshitiz, R. D. and A. K. S. (2016). Advances in 3D Printing & additive manufacturing technologies. *Advances in 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies*, November 2018, 1–186. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0812-2>
- Vega, V., Clements, J., Lam, T., Abad, A., Fritz, B., Ula, N., & Es-Said, O. S. (2011). The effect of layer orientation on the mechanical properties and microstructure of a polymer. *Journal of Materials Engineering and Performance*, *20*(6), 978–988. <https://doi.org/10.1007/s11665-010-9740-z>