

Pengaruh *Bed Temperature* Dan *Print Speed* Pada Proses Fdm Menggunakan Filamen *Polypropelene* Terhadap Kuat Tarik

Idola Brilian¹, idiar¹, Pristiansyah^{1*}

¹Politeknik Manufaktur Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail: pristian_pay@yahoo.com

Received 3 Desember 2025; Received in revised form 10 Desember 2025; Accepted 10 Desember 2025

Abstract

The experimental results demonstrate that bed temperature and print speed exert significant effects on the tensile strength of polypropylene components produced via FDM. An increase in bed temperature consistently improves tensile performance, with the optimal strength obtained at 75°C. Higher bed temperatures promote stronger interlayer diffusion and reduce residual thermal stress. In contrast, increasing print speed generally leads to a decline in tensile strength due to limited bonding time and the formation of voids within the printed structure. The combination of high bed temperature and low print speed yields the most favorable mechanical properties. Overall, the study confirms that precise control of thermal and kinetic parameters is essential for enhancing the mechanical integrity of polypropylene parts manufactured through the FDM process.

Keywords: FDM; Polypropylene; Bed Temperature; Print Speed; Impact Strength.

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi *bed temperature* dan *print speed* terhadap karakteristik mekanik spesimen *polypropylene* (PP) yang diproduksi melalui proses *Fused Deposition Modeling* (FDM). Eksperimen dilakukan menggunakan rancangan Taguchi L₉ (3²) dengan tiga level *bed temperature* (55°C, 65°C, 75°C) dan tiga level *print speed* (40 mm/s, 60 mm/s, 80 mm/s). Pengujian kuat tarik dilakukan mengikuti standar ASTM D638 untuk mengevaluasi respons mekanik terhadap perubahan parameter proses. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan temperatur *bed* berkontribusi positif terhadap peningkatan kuat tarik, sedangkan peningkatan kecepatan pencetakan menunjukkan hubungan yang berlawanan. Nilai kuat tarik tertinggi sebesar 23,1 MPa dicapai pada kombinasi *bed temperature* 75°C dan *print speed* 40 mm/s, sedangkan nilai terendah sebesar 17,2 MPa diperoleh pada 55°C dan 80 mm/s. Peningkatan sifat mekanik pada temperatur *bed* tinggi dikaitkan dengan perbaikan difusi antar-layer dan berkurangnya tegangan sisa, sementara penurunan pada kecepatan tinggi disebabkan oleh terbatasnya waktu bonding dan meningkatnya porositas. Temuan ini menegaskan bahwa optimasi simultan antara parameter termal dan kinetik diperlukan untuk memperoleh part PP-FDM dengan kinerja mekanik yang optimal.

Kata kunci: FDM, *Polypropylene*, *Bed Temperature*, *Print Speed*, Kuat Tarik.

1. PENDAHULUAN

Teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM), yang juga dikenal sebagai *Fused Filament Fabrication* (FFF), telah menunjukkan perkembangan yang substansial dan kini menjadi salah satu metode manufaktur aditif yang paling banyak digunakan pada berbagai bidang industri [1]. Peningkatan adopsi teknologi ini tidak terlepas dari sifatnya yang ekonomis, kecepatan proses yang tinggi, serta kemudahan dalam pengoperasiannya, sehingga FDM menjadi pilihan yang efektif untuk pembuatan prototipe maupun produksi komponen fungsional [2]. Secara operasional, proses FDM bekerja

dengan melelehkan material termoplastik dan mengekstrusikannya melalui sebuah nozzle, kemudian mendepositkannya secara bertahap (*layer-by-layer*) hingga membentuk objek tiga dimensi sesuai dengan model yang dirancang melalui perangkat *Computer-Aided Design* (CAD) [3].

Polypropylene (PP) merupakan material termoplastik yang secara luas dimanfaatkan pada industri otomotif, kemasan, perangkat medis, serta berbagai produk konsumen karena karakteristik unggul yang dimilikinya [4]. Material ini memiliki densitas rendah, sekitar 0,9 g/cm³, serta menunjukkan ketahanan kimia yang sangat

baik terhadap pelarut polar, asam non-oksidasi, basa berbasis *aqueous*, dan berbagai jenis larutan garam, disertai stabilitas termal dan ketahanan benturan yang memadai [5]. Selain bersifat non-toksik dan biokompatibel, PP juga memiliki tingkat penyerapan kelembapan yang sangat rendah, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi yang memerlukan kontak dengan bahan kimia maupun produk pangan [6]. Dari sisi sifat mekanik, PP dikenal memiliki fleksibilitas yang baik serta ketahanan fatigue yang tinggi, mampu menahan siklus pembengkokan berulang, dan dapat menghasilkan kualitas adhesi antar-lapisan yang optimal ketika diproses menggunakan parameter pencetakan yang tepat [7].

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, penerapan *polypropylene* (PP) dalam proses FDM masih menghadapi sejumlah tantangan teknis yang signifikan. Sebagai polimer semi-kristalin dengan tingkat kristalinitas tinggi, PP mengalami penyusutan volumetrik yang besar selama fase pendinginan [8]. Berbeda dengan polimer amorf seperti *Polylactic Acid* (PLA) maupun *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), PP mulai memasuki tahap kristalisasi segera setelah suhu material menurun di bawah titik lelehnya ($T_m \approx 160\text{--}170^\circ\text{C}$), dan lapisan yang telah mengkristal tidak lagi mampu mengalami aliran maupun deformasi yang berarti pada saat proses deposisi berlangsung [9]. Kondisi ini menghasilkan akumulasi tegangan kontraksi termal yang jauh lebih tinggi dibandingkan bahan FDM lainnya, sehingga memicu terjadinya warping yang lebih ekstrem [10].

Selain itu, rendahnya energi permukaan PP menyebabkan kemampuan adhesinya terbatas dan umumnya hanya berikatan dengan material PP itu sendiri [11]. Interaksi antara shrinkage akibat kristalisasi yang tinggi dan sifat adhesi permukaan yang rendah menimbulkan kondisi yang kurang menguntungkan bagi proses FDM [12]. Komponen berbahan PP sering kali mengalami pelepasan dari build platform serta deformasi warping, bahkan setelah proses pencetakan selesai, akibat adanya residual stress yang masih tersisa dalam struktur [13]. Studi yang dilakukan Spoerk et al. juga menunjukkan bahwa filamen PP homopolimer isotaktik tidak tersedia secara komersial karena kecenderungan warping yang sangat tinggi, sehingga mengurangi presisi geometris komponen yang dicetak [14].

Kinerja mekanik produk FDM secara umum sangat dipengaruhi oleh konfigurasi

parameter proses [15]. Parameter-parameter tersebut mencakup karakteristik material (jenis, komposisi, dan diameter filamen), parameter termal (temperatur ekstrusi, temperatur *bed*, dan kondisi ruang pencetakan), parameter geometrik (ketebalan *layer*, *infill density*, *raster angle*, serta orientasi pencetakan), dan parameter kinetik (*print speed*, kecepatan *retraction*, dan *flow rate*) [16]. Di antara parameter tersebut, temperatur pencetakan—baik pada *nozzle* maupun *bed*, serta kecepatan pencetakan merupakan faktor yang paling sering dilaporkan memiliki dampak signifikan terhadap respons mekanik material tercetak [17].

Meta-analisis yang dilakukan oleh Farashi dan Vafaei mengindikasikan bahwa peningkatan temperatur ekstruder memberikan pengaruh positif yang substansial terhadap kuat tarik, dengan nilai *standard mean difference* (SMD) sebesar 2.85 dan interval kepercayaan 95% [1.71, 3.98] [18]. Peningkatan temperatur *nozzle* meningkatkan fluiditas aliran material dan memperkuat pembentukan ikatan antar-lapisan. Sebaliknya, peningkatan kecepatan pencetakan menunjukkan efek negatif yang signifikan dengan SMD = -2.49, 95% CI [-4.29, -0.69] [18], yang dikaitkan dengan berkurangnya waktu ikat antar-lapisan dan meningkatnya porositas internal [19].

Temperatur bed juga memiliki peran penting dalam menentukan adhesi lapisan awal dan mengendalikan warping pada material semi-kristalin [20]. Untuk PP, temperatur *bed* yang direkomendasikan berada pada rentang $90\text{--}110^\circ\text{C}$, yang cukup tinggi untuk menjaga material berada di atas *glass transition temperature* (T_g) atau mendekati temperatur kristalisasinya sehingga dapat memperlambat laju pendinginan dan meminimalkan distorsi [21–22]. Penelitian Zakaria dan Mativenga menunjukkan bahwa elemen *heated bed* menyumbang sekitar 70% dari total konsumsi energi sistem FDM, dan pengaturan temperatur sekitar $11,5^\circ\text{C}$ di bawah T_g mampu menurunkan konsumsi energi hingga 50% tanpa mengurangi kualitas adhesi maupun kestabilan dimensi komponen [23].

Kecepatan pencetakan memberikan dampak yang kompleks terhadap akurasi dimensi dan sifat mekanik hasil cetakan [24]. Pandey et al. melaporkan bahwa penyimpangan dimensi cenderung lebih rendah pada kombinasi kecepatan rendah dan temperatur ekstrusi tinggi, sementara nilai kuat tarik maksimum ditemukan pada kecepatan pencetakan yang relatif tinggi [25].

Pengaruh Bed Temperature Dan Print Speed Pada Proses Fdm Menggunakan Filamen Polypropelene Terhadap Kuat Tarik (Idola Brilian)

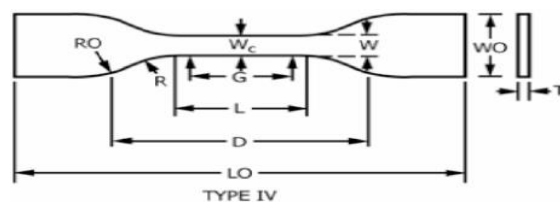
Fenomena ini dipengaruhi oleh perbedaan mekanisme pendinginan: kecepatan rendah meningkatkan waktu bonding namun juga memperbesar risiko distorsi termal, sedangkan kecepatan tinggi mempercepat pendinginan sehingga mengurangi kristalisasi dan shrinkage berlebih. Meskipun demikian, kecepatan pencetakan yang terlalu tinggi meningkatkan risiko *under-extrusion*, lemahnya ikatan antar-lapisan, serta munculnya cacat seperti delaminasi [26].

Interaksi antara temperatur ekstrusi dan *print speed* memperlihatkan kompleksitas tambahan pada pemilihan parameter proses [27]. Murariu et al. menemukan bahwa untuk mencapai kuat tarik optimal pada material PLA, diperlukan ketebalan *layer* sangat kecil ($h = 0.1$ mm) dan temperatur ekstrusi mendekati 300°C [29]. Pemilihan parameter yang tidak tepat dapat menurunkan kuat tarik hingga 30–40% dari nilai optimum [28]. Tantangan serupa bahkan lebih besar pada PP, mengingat rentang proses (*processing window*) material ini lebih terbatas dan sangat sensitif terhadap riwayat termal (*thermal history*) selama proses pencetakan berlangsung.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Material dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode



Gambar 1. Desain Spesimen untuk Pencetakan

Tabel 1. Dimension Specimen

Dimensi	Panjang (mm)	Toleransi (mm)
W = Width of narrow section	6	± 0.5
L = Length of narrow section	33	± 0.5
$W0$ = Width overall	19	$+ 6.4$
$L0$ = Length overall	115	No max
G = Gage Length	25	± 0.13
D = Distance between grips	65	± 5
R = Radius of fillet	14	± 1
$R0$ = Outer radius	25	± 1

2.4. Pengujian Ui Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan sesuai standar ASTM D638 dengan kecepatan *crosshead* 5 mm/menit. Sebelum pengujian,

Design of Experiments (DOE) Taguchi untuk menentukan parameter optimal proses *Fused Deposition Modeling* (FDM) dalam memproduksi spesimen *polypropylene* yang diuji kuat tariknya.

2.2. Variabel Penelitian

Desain Taguchi L_9 digunakan dengan dua faktor bebas, yaitu *bed temperature* (55°C , 65°C , 75°C) dan *print speed* (40, 60, 80 mm/s). Variabel terikat adalah kuat tarik (MPa). Setiap kombinasi perlakuan direplikasi sebanyak tiga kali, sehingga diperoleh 27 spesimen.

2.3. Desain dan Pencetakan Spesimen

Spesimen uji tarik dibuat sesuai standar ASTM D638 Type IV, dimodelkan menggunakan SolidWorks, lalu diekspor dalam format .STL. File tersebut di-slice menggunakan Cura 5.0 untuk menghasilkan g-code sesuai variasi parameter sebelum dicetak dengan metode FDM. Desain spesimen uji tarik tipe ASTM D638 Type IV ditunjukkan oleh Gambar 1. Spesifikasi dari spesimen yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1.

diemensi setiap spesimen diukur untuk menghitung luas penampang. Spesimen dipasang pada grip UTM dan ditarik hingga putus. Gambar 2 menunjukkan proses pengujian kuat tarik.



Gambar 2. Pengujian kuat tarik

2.5. Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode menggunakan pendekatan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dengan kriteria *larger-the-better* untuk memaksimalkan kuat tarik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

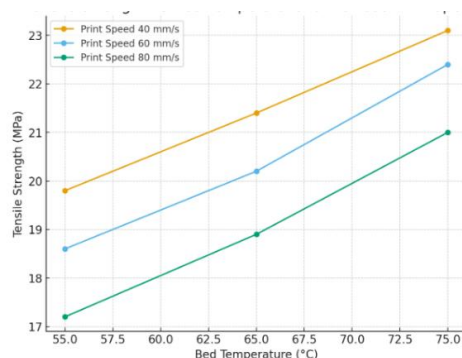
3.1. Hasil Pengujian Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat tarik spesimen menggunakan filamen *polypropilen* dengan

variasi *bed temperature* dan *print speed* ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 3. Kuat tarik tertinggi diperoleh pada kombinasi *bed temperature* 75°C dengan *print speed* 40 mm/s sebesar 23,1 Mpa, sedangkan kuat tarik terendah terjadi pada *bed temperature* 55°C dengan *print speed* 80 mm/s sebesar 17,2 Mpa.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Spesimen *Polypropilen*

Eksp	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rata-Rata
1	19.7	19.8	19.9	19.8
2	18.5	18.6	18.8	18.6
3	17.1	17.2	17.3	17.2
4	21.3	21.4	21.5	21.4
5	20.1	20.2	20.3	20.2
6	18.8	18.9	19.0	18.9
7	23.0	23.1	23.2	23.1
8	22.3	22.4	22.6	22.4
9	20.9	21.0	21.2	21.0



Gambar 3. Pengaruh *Bed Temperature* dan *Print Speed* Terhadap Kuat Tarik

Berdasarkan data pada Tabel 2, peningkatan *bed temperature* dari 55°C menjadi 65°C menunjukkan kenaikan kuat tarik rata-rata sebesar 9,1%, yang

mengindikasikan bahwa elevasi *bed temperature* mampu meningkatkan kualitas ikatan antar-layer. Kenaikan *bed temperature* lebih lanjut hingga 75°C juga memberikan

Pengaruh Bed Temperature Dan Print Speed Pada Proses Fdm Menggunakan Filamen Polypropelene Terhadap Kuat Tarik (Idola Brilian)

peningkatan kuat tarik tambahan sebesar 7,7%, sehingga memperkuat temuan bahwa tingginya temperatur *bed* berkontribusi positif terhadap performa mekanik spesimen.

Sebaliknya, variasi *print speed* memperlihatkan tren penurunan kuat tarik pada seluruh level *bed temperature*. Pada *bed temperature* 55°C, peningkatan *print speed* dari 40 mm/s menjadi 80 mm/s menyebabkan penurunan kuat tarik sebesar 13,1%, menunjukkan bahwa kecepatan deposisi yang lebih tinggi cenderung mengurangi waktu ikatan antar-lapisan sehingga memengaruhi integritas mekanik material yang dihasilkan.

Berdasarkan data pengujian yang telah dilakukan, temperatur *bed temperature*

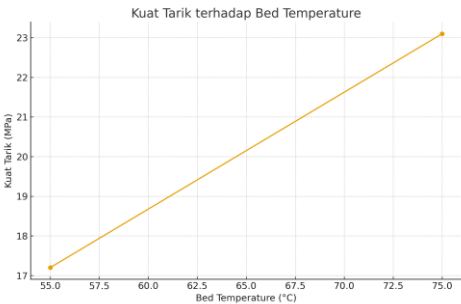
menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan impact spesimen. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian kekuatan impact pada berbagai kombinasi parameter printing.

3.2. Analisis Pengaruh *Bed Temperature* dan *Print Speed*

Peningkatan *bed temperature* menghasilkan kondisi termal yang lebih stabil, sehingga mampu meningkatkan kualitas ikatan antar *layer* dan berkontribusi pada kenaikan kuat tarik. Sebaliknya, peningkatan *print speed* mengurangi waktu kontak antar *layer* sehingga menurunkan difusi molekular dan berujung pada penurunan kuat tarik. Tabel 3 menunjukkan hasil analisis Anova dari parameter yang diuji pada penelitian. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara *Bed Temperature* dengan kekuatan tarik.

Tabel 3. Analisis pengaruh *Bed Temperature*

<i>Bed Temperature</i> (°C)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)	<i>Delta</i>	<i>Rank</i>
55	11.23	–	3
65	12.73	–	2
75	14.12	–	1



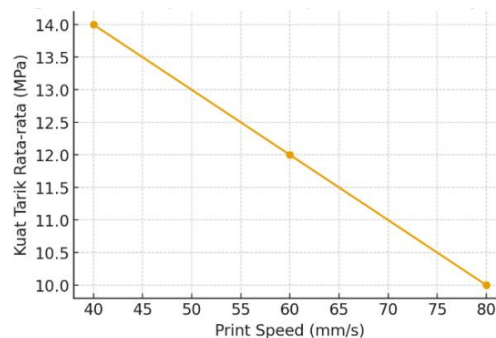
Gambar 4. Hubungan antara *Bed Temperature* dan kuat tarik.

Berdasarkan hasil pada Tabel 3, peningkatan *bed temperature* memberikan efek positif yang konsisten terhadap kuat tarik spesimen polypropylene. Kuat tarik rata-rata meningkat dari 11.23 MPa pada 55°C menjadi 12.73 MPa pada 65°C, dan mencapai nilai tertinggi 14.12 MPa pada 75°C. Tren ini mengindikasikan bahwa kondisi termal yang lebih tinggi pada permukaan pencetakan mampu meningkatkan kualitas ikatan antar-lapisan selama proses deposisi Visualisasi pada Gambar 4 menunjukkan pola kenaikan

yang hampir linear, menegaskan bahwa elevasi *bed temperature* berkontribusi pada peningkatan stabilitas termal dan memperlama waktu difusi molekular antar-lapisan. Dengan demikian, *bed temperature* 75°C dapat diidentifikasi sebagai parameter paling optimal dalam menghasilkan kekuatan tarik maksimum pada sampel yang diuji. Tabel 4 menunjukkan hasil analisis pengaruh *print speed* terhadap kuat tarik. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara *print speed* dengan kekuatan tarik.

Tabel 4. Analisis pengaruh *Print Speed*

<i>Print Speed</i> (mm/s)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)	<i>Delta</i>	<i>Rank</i>
40	Tertinggi	–	1
60	Sedang	–	2
80	Terendah	–	3



Gambar 5. Pengaruh *Print Speed* Terhadap Kekuatan Tarik

Analisis pada Tabel 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa *print speed* memiliki pengaruh signifikan terhadap variasi nilai kuat tarik material hasil proses FDM. Berdasarkan data, kecepatan cetak 40 mm/s memberikan nilai kekuatan tarik tertinggi dan menempati peringkat pertama. Kondisi ini menggambarkan bahwa laju deposisi yang rendah memungkinkan terjadinya transfer panas dan difusi antar lapisan secara lebih optimal, sehingga menghasilkan ikatan antarmuka yang lebih kuat dan struktur internal yang lebih homogen. Pada kecepatan menengah, yaitu 60 mm/s, nilai kuat tarik mengalami penurunan dan berada pada peringkat kedua. Hal ini mengindikasikan bahwa berkurangnya waktu kontak antar lapisan mulai memengaruhi efektivitas difusi termal, sehingga kualitas ikatan antarlapisan tidak sebaik kondisi pada kecepatan rendah. Penurunan yang lebih jelas terlihat pada kecepatan 80 mm/s, yang menunjukkan nilai kekuatan tarik paling rendah dan menempati peringkat ketiga. Peningkatan *print speed* menyebabkan waktu pemanasan lokal menjadi sangat singkat, menghambat pelelehan dan penyatuan lapisan secara memadai. Akibatnya, terbentuk struktur lapisan yang kurang menyatu dan cenderung memiliki cacat mikro yang melemahkan sifat mekanik material.

Gambar 5 memperkuat temuan tersebut, dimana grafik memperlihatkan kecenderungan penurunan kekuatan tarik seiring meningkatnya *print speed*. Tren ini konsisten dengan prinsip proses FDM yang menekankan pentingnya keseimbangan antara laju deposisi dan waktu difusi termal.

Semakin tinggi kecepatan pencetakan, semakin terbatas kesempatan bagi lapisan baru untuk berikatan dengan baik dengan lapisan sebelumnya, sehingga menghasilkan penurunan performa mekanik. Secara keseluruhan, kombinasi data pada Tabel 4 dan pola grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa *print speed* yang lebih rendah lebih efektif dalam meningkatkan kualitas ikatan antar lapisan, yang berimplikasi langsung pada peningkatan kekuatan tarik material.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen, dapat disimpulkan bahwa *bed temperature* dan *print speed* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tarik spesimen *polypropylene* yang dicetak menggunakan metode FDM. Peningkatan *bed temperature* secara konsisten meningkatkan kuat tarik, dengan nilai optimal diperoleh pada temperatur 75°C. Kondisi termal yang lebih tinggi memungkinkan terjadinya difusi molekuler yang lebih efektif antar-layer serta mengurangi akumulasi tegangan termal. Sebaliknya, peningkatan *print speed* cenderung menurunkan kuat tarik akibat terbatasnya waktu kontak antar-lapisan, yang berdampak pada menurunnya kualitas *interlayer bonding* dan meningkatnya *void* internal. Kombinasi *bed temperature* tinggi dan *print speed* rendah menghasilkan performa mekanik terbaik dengan peningkatan kuat tarik yang signifikan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian parameter proses, khususnya dalam aspek termal dan kinetik,

merupakan faktor krusial dalam meningkatkan kualitas mekanik produk FDM berbahan *polypropylene*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada laboratorium teknik mesin polmanbabel ang telah menyediakan fasilitas serta peralatan yang diperlukan selama proses pencetakan dan pengujian mekanik. Penghargaan juga diberikan kepada para dosen pembimbing dan rekan peneliti atas masukan ilmiah, diskusi konstruktif, serta pendampingan yang berkelanjutan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Segala kontribusi yang diberikan telah berperan penting dalam memperkaya kualitas dan keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. V. Wong and A. Hernandez, "A review of additive manufacturing," *ISRN Mechanical Engineering*, vol. 2012, Article ID 208760, pp. 1–10, 2012.
- [2] F. M. Mwema and E. T. Akinlabi, "Basics of fused deposition modelling (FDM)," in *Fused Deposition Modeling. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology*, Springer, Cham, pp. 1–15, 2020.
- [3] N. Turner, R. Strong, and S. A. Gold, "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 192–204, 2014.
- [4] S. H. Ahn, M. Montero, D. Odell, S. Roundy, and P. K. Wright, "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 248–257, 2002.
- [5] C. Duty et al., "What makes a material printable? A viscoelastic model for extrusion-based 3D printing of polymers," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 35, pp. 526–537, 2018.
- [6] Wulandari, S., Pristiansyah, P., & Husman, H. (2024). Peningkatan Kuat bentur Produk 3D Printing Fused Deposition Modeling menggunakan Filamen Polypropylene. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2(1). DOI: <https://doi.org/10.33504/jitt.v2i1.144>
- [7] M. Fischer and V. Schöppner, "On the 3D printing of polypropylene and post-processing optimization," *OSTI Technical Report*, DOE/NETL-2021/2989, 2021.
- [7] "What is the strongest 3D printing material?" UltiMaker. [Online], diakses pada 1 November 2025, Available: <https://ultimaker.com/learn/what-is-the-strongest-3d-printing-material/>
- [8] D. Rahmatabadi et al., "Characterization of polypropylene–polyolefin elastomer blends for FDM additive manufacturing," *Iranian Polymer Journal*, Dec. 2024.
- [9] M. Spoerk, J. Gonzalez-Gutierrez, C. Lichal, H. Cajner, G. R. Berger, S. Schuschnigg, L. Cardon, and C. Holzer, "Optimisation of the adhesion of polypropylene-based materials during extrusion-based additive manufacturing," *Polymers*, vol. 10, no. 5, p. 490, 2018.
- [10] O. S. Carneiro, A. F. Silva, and R. Gomes, "Fused deposition modeling with polypropylene," *Materials & Design*, vol. 83, pp. 768–776, 2015.
- [11] "What are the ideal print conditions for polypropylene?" 3D Printing Stack Exchange. [Online], diakses pada 1 November 2025, Available: <https://3dprinting.stackexchange.com/questions/938/>
- [12] "3D Printing PP (Polypropylene) - Why and How?" [Online], diakses pada 1 November 2025. Available: <https://magigoo.com/blog/3d-printing-polypropylene-why-and-how/>
- [13] M. Goldsupplier, "Ultimate guide: 3D printing with polypropylene filament," *Goldsupplier Blog*, June 2024.
- [14] Pristiansyah, P., Hasdiansah, H., & Sugiyarto, S. Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), 33-40, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33504/manutech.v11i01.98>
- [15] Pristiansyah, P., Hasdiansah, H., & Ferdiansyah, A. "Pengaruh Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament ABS CCTREE". *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, Vol. 14, No. 01, pp. 16-23, 2022.

- [16] Christiliana, M., Pristiansyah, P., & Oktriadi, Y. Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 13(01), 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33504/manutech.v13i01.163>
- [17] Suzen, Z. S., Hasdiansah, H., & Trisaplin, R. D. Analisis Pengaruh Parameter Infill Pattern dan Nozzle Temperature Terhadap Tensile Strength Filamen PLA PRO. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 14(01), 2021. DOI: <https://doi.org/10.33504/manutech.v14i01.208>
- [18] Suzen, Z. S., Hasdiansah, H., & Yulianto. Pengaruh Tipe Infill Dan Temperature Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla + Esun. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 12(02), 73-80, 2020, DOI: <https://doi.org/10.33504/manutech.v12i02.133>
- [19] Hasdiansah, H., Masdani, Feriadi, I., & Pristiansyah, P. Optimasi Parameter Proses Terhadap Akurasi Dimensi PLA Food Grade Menggunakan Metode Taguchi. *Prosiding Seminar Nasional NCIET*, 1, 175-186, 2020.
- [20] V. Ambade, S. Rajurkar, G. Awari et al., "Influence of FDM process parameters on tensile strength of parts printed by PLA material, " *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 19, pp. 573–584, 2025.
- [21] H. Hasdiansah, R. I. Yaqin, P. Pristiansyah, M. L. Umar, and B. H. Priyambodo, 'FDM-3D printing parameter optimization using taguchi approach on surface roughness of thermoplastic polyurethane parts', *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 17, no. 6, pp. 3011–3024, Dec. 2023, <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01304-w>.
- [22] S. Farashi and F. Vafaei, "Effect of extruder temperature and printing speed on the tensile strength of fused deposition modeling (FDM) 3D printed samples: A meta-analysis study," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 16, pp. 305–316, 2022.
- [23] Pratama, W. H., & Hasdiansah, H. Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kuat Tarik Spesimen Uji ASTM D638 Type IV Menggunakan Filamen Esun PLA+. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 1(01), 210-215, 2021.
- [24] Hasdiansah, H., Pristiansyah, P., & Suzen, Z. S. Pengaruh Orientasi Posisi Printing Z Axis Mesin 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Menggunakan Filamen Super Tough PLA. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 14(01), 2022.
- [25] Hasdiansyah, H., & Pratama, Y. B. Pengaruh Parameter Proses Slicing Software Terhadap Kekasaran Permukaan Printing Part Menggunakan Filamen ST-PLA. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 13(01), 33-40, 2021.
- [26] Ferdiansyah, A., Pristiansyah, P., & Rollastin, B. Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament ABS CCTREE Menggunakan Metode Taguchi L9. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 1(01), 223-229, 2021.
- [27] Murariu, A. C., Sîrbu, N. A., Cocard, M., & Duma, I. "Influence of 3D Printing Parameters on Mechanical Properties of the PLA Parts Made by FDM Additive Manufacturing Process". *Engineering Innovations*, Vol. 2, pp. 7-20, 2022.
- [28] Pristiansyah, P., Yuliyanto, Y., Masdani, et al. Pengaruh Sudut Part Build Orientation Z-Direction Terhadap Kuat Tarik Spesimen Uji Standar Astm D638 Type IV Menggunakan Filamen Pla+. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 15(02), 2023.