

Pengaruh *Print Speed* Pada Proses Ekstrusi 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Dan *Bending* Hasil Cetakan Menggunakan Material PLA

Iqbal mustaqim¹, Zainal Abadi², Syahril³, Rifelino⁴

¹²³⁴Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang
iqbalmustaqim73@gmail.com

Abstrak

Teknologi 3D printing telah menjadi inovasi penting dalam berbagai bidang, terutama dengan penggunaan material ramah lingkungan seperti Polylactic Acid (PLA). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan ekstrusi pada proses 3D printing terhadap kekuatan tarik dan kekuatan lentur (*bending*) hasil cetakan PLA. Metode eksperimen digunakan dengan variabel bebas berupa kecepatan cetak (40, 45, 50, 55, dan 60 mm/s) dan parameter tetap seperti suhu nozzle (210°C), suhu meja (60°C), ketebalan lapisan (0,2 mm), dan bentuk infill (*triangle*). Pengujian dilakukan di Laboratorium Manufaktur Universitas Negeri Padang pada 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan cetak optimal untuk kekuatan tarik tertinggi adalah 45 mm/s, sedangkan untuk kekuatan lentur terbaik tercapai pada kecepatan 50 mm/s. Data menunjukkan bahwa kecepatan cetak yang terlalu tinggi dapat menurunkan kekuatan tarik akibat lemahnya adhesi antar lapisan, sedangkan pada uji lentur, material menunjukkan performa yang baik bahkan pada kecepatan lebih tinggi. Penelitian ini memberikan rekomendasi kecepatan cetak optimal untuk meningkatkan kualitas cetakan PLA dalam aplikasi industri dan prototipe.

Kata Kunci: *3D Printing, PLA, Kecepatan Ekstrusi, Kekuatan Tarik, Kekuatan Lentur*

Abstract

3D printing technology has become an important innovation in various fields, especially with the use of environmentally friendly materials such as Polylactic Acid (PLA). This study aims to analyze the effect of extrusion speed variation in the 3D printing process on the tensile strength and bending strength of PLA prints. The experimental method was used with independent variables in the form of printing speed (40, 45, 50, 55, and 60 mm/s) and fixed parameters such as nozzle temperature (210°C), table temperature (60°C), layer thickness (0.2 mm), and infill shape (*triangle*). The test was conducted at the Manufacturing Laboratory of Padang State University in 2024. The results showed that the optimum molding speed for the highest tensile strength was 45 mm/s, while the best flexural strength was achieved at 50 mm/s. The data shows that too high molding speed can reduce the tensile strength due to weak adhesion between layers, while in

the flexural test, the material shows good performance even at higher speeds. This study provides recommendations for optimal molding speed to improve the quality of PLA molds in industrial and prototype applications.

Keywords: *3D Printing, PLA, Extrusion Speed, Tensile Strength, Flexural Strength.*

PENDAHULUAN

3D printing adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dari model digital dengan membangun lapisan demi lapisan material tertentu. Ini berbeda dengan metode tradisional pembuatan objek, yang seringkali melibatkan pemotongan atau pengurangan material untuk mencapai bentuk yang diinginkan (Muttaqin, 2023). 3D cetak juga dikenal sebagai prototyping cepat teknologi adalah proses desain dimana panduan pemrograman komputer pembuatan Model tiga dimensi melalui layering bahan fabrikasi (Hakim et al., 2019). Insinyur, desainer dan teknisi akan mendapat manfaat dari produksi prototipe maju. Baru-baru ini Teknologi baru telah dikembangkan memproduksi banyak keuntungan bagi mereka yang membutuhkan teknologi prototipe cepat (Kusnanjaya, 2013).

Printer 3D tersedia saat ini adalah lebih cepat, lebih mudah dan lebih terjangkau daripada teknologi fabrikasi sebelumnya (Rusianto et al., 2019). Cetak 3D juga menghilangkan kebutuhan untuk alat mahal dan pengrajin terampil untuk menghasilkan desain prototipe, membuat proses lebih terjangkau, biaya efisien (Hakim et al., 2019). Teknologi FDM digunakan sebagai rapid prototyping atau pembuatan prototipe cepat dengan polimer sebagai filamen materialnya (Yeyen et al., 2024). Ada banyak material filamen yang tersedia, pemilihan material sendiri bergantung pada jenis serta karakteristiknya sesuai dengan kebutuhan dalam pembuatan prototipe. Pada saat ini umumnya material filamen yang digunakan antara lain polyactic acid (PLA), nylon, high density polyethylene (HDPE), polycarbonate (PC), dan acrylonitrile butadiene styrene (ABS) (ARDIYANTO, 2021). Dan disini peneliti menggunakan filament PLA sebagai bahan.

PLA adalah singkatan dari Polylactic Acid, sebuah polimer yang diproduksi dari bahan alami seperti jagung atau tepung singkong (Kit, 2022). Ini adalah salah satu jenis filamen yang paling umum digunakan dalam pencetakan 3D karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah dicetak, dan biodegradable. PLA biasanya digunakan untuk mencetak prototipe, model, mainan, dekorasi, dan berbagai jenis produk lainnya dalam industri pencetakan 3D (Setyawan et al., 2022). Keunggulan PLA meliputi kekuatan yang baik, rendahnya warp (perubahan bentuk saat pendinginan), dan kemampuan untuk mencetak dengan detail halus. Selain itu, PLA juga tidak mengeluarkan bau yang tidak sedap selama proses pencetakan, membuatnya menjadi pilihan yang populer di kalangan pengguna 3D printing (Haqqi & Wijayati, 2019).

Adapun beberapa akademisi yang telah melakukan penelitian material PLA ini seperti (Solikin, 2019). Pengujian dilakukan pada 81 sampel dengan menggunakan kecepatan pencetakan infill, densitas fill, suhu ekstruder, dan tinggi lapisan sebagai parameter. Hasilnya, nilai tegangan tertinggi yang tercatat adalah 1,092 N/m², yang

dicapai dengan kombinasi kecepatan cetak infill 60 mm/s, densitas fill 40%, temperatur ekstruder 200°C, dan tinggi lapisan 0,1 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter temperatur ekstruder memiliki pengaruh paling signifikan terhadap nilai uji tarik, sedangkan parameter tinggi lapisan memiliki pengaruh paling kecil terhadap nilai spesimen uji. Dan ada juga penelitian Investigasi dilakukan dengan menggunakan model PRUSA 3D Printing FDM yang memiliki dimensi 220 mm x 220 mm x 250 mm dan menggunakan nozzle 0,4 mm. Bahan yang digunakan adalah filamen PLA + dengan diameter 1,75 mm, dan penelitian ini melibatkan variasi pengaturan suhu nozzle (205°C, 215°C, 225°C), ketebalan lapisan 0,2, suhu bed 60°C, kecepatan gerak 100, kecepatan cetak 50, dan jenis infill yang berbeda (seperti Grid, Lines, Triangles, Tri Hexagon, Cubic, Cubic Subdivision, Octet, Quarter Cubic, Concentric, Zig Zag, Cross, Cross 3D, dan Gyroid) yang ditentukan dengan menggunakan perangkat lunak Ultimaker Cura 4.4.0, yang menghasilkan 39 sampel yang dicetak. Pengujian menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada sampel ke-22, mencapai 43,20 MPa, yang dicapai dengan pengaturan suhu nozzle 215°C dan jenis pengisi Concentric. Sebaliknya, nilai kekuatan tarik terendah ditemukan pada sampel ke-22, mencapai 24,50 MPa, yang diperoleh dengan pengaturan suhu nosel 205°C dan tipe pengisi Cross. Pada penelitian kali ini peneliti akan melakukan penelitian terhadap pengaruh kecepatan pada saat ekstrusi 3D printing terhadap hasil cetakan menggunakan material pla dengan parameter yaitu Nozzle temperature (215°C), Suhu meja (60°C), Ketebalan Lapisan (0,2 mm), Infill Percentage (100%) Bentuk Infill (Triangle), dengan variasi kecepatan 40mm/s, 45mm/s, 50mm/s, 55mm/s, 60mm/s.

Pada penelitian kali ini peneliti menggunakan dua uji yaitu uji tarik dan uji bending sebagai pengujian. Uji tarik adalah metode pengujian mekanis yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan suatu material atau produk dengan mengukur gaya yang diterapkan saat benda tersebut ditarik. Ada banyak manfaat yang diperoleh dari uji tarik dengan memberikan gaya tarik pada material sampai putus maka semua susunan struktur material bisa diketahui dengan jelas sehingga dapat menentukan kualitas dari material tersebut. Sedangkan Pengujian bending merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang diletakkan terhadap spesimen dan bahan, baik bahan yang digunakan pada kontraksi atau komponen yang menerima pembebanan terhadap suatu bahan pada satu titik tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan. Uji bending sering digunakan untuk pengujian bahan-bahan produksi seperti baja, besi cord dan filamen 3D printing, selain itu alat ini juga digunakan untuk menguji kekuatan mekanis. Uji bending bertujuan untuk menentukan kekuatan material dengan menerapkan beban pada spesimen pada titik tengahnya dan mengetahui titik batas elastisitasnya Adapun salah satu contoh penelitian yang menggunakan uji tarik dan bending dilakukan oleh (Suzen, Z. S. 2020)

Kecepatan ekstrusi merupakan parameter kunci yang dapat memengaruhi kualitas mekanis dari cetakan 3D (Akbar et al., 2024). Material PLA telah menjadi pilihan yang umum dalam industri 3D printing karena sifatnya yang mudah dicetak dan ramah lingkungan. Namun, perubahan dalam kecepatan ekstrusi dapat mempengaruhi struktur internal dan sifat mekanis dari cetakan PLA.

Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang bagaimana variasi kecepatan ekstrusi memengaruhi kekuatan tarik dan bending adalah esensial untuk meningkatkan kualitas dan aplikasi dari teknologi 3D printing dalam berbagai industri. Dan dengan ini peneliti akan melakukan penelitian dengan menggunakan parameter PLA yaitu Nozzle temperature (210°C), Suhu meja (60°C), Ketebalan Lapisan (0,2 mm), Infill Percentage (100%) Bentuk Infill (Triangle), dengan variasi kecepatan 40 mm/s, 45mm/s, 50mm/s, 55 mm/s, 60 mm/s. Dengan menggunakan pengujian tarik dan bending terhadap hasil cetakan. Variasi kecepatan ini dipilih oleh peneliti karena parameter ini sering digunakan untuk mencetak 3D printing dan peneliti juga tertarik mempelajari jurnal ([Analisa Pengaruh Parameter Proses Terhadap Uji Tarik Produk Hasil 3D Printing Berbahan Polylatic Acid](#) oleh Lubis, G.S, 2021) sebagai refrensi penelitian ini.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian ini bertujuan untuk menguji hipotesis mengenai pengaruh variasi kecepatan proses ekstrusi pada 3D printing terhadap kekuatan tarik hasil cetakan menggunakan material PLA. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Manufaktur Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang dari Juni hingga Desember 2024, meliputi tahap pengajuan proposal, pembuatan spesimen pengujian, hingga penyusunan laporan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan ekstrusi 3D printing, sementara variabel terikatnya adalah kekuatan tarik hasil cetakan. Parameter tetap seperti jenis material (PLA), suhu ekstrusi, desain cetakan, dan kondisi lingkungan dijaga konsisten selama proses eksperimen. Data dikumpulkan melalui studi literatur, eksperimen, wawancara dengan ahli laboratorium, dan analisis data hasil pengujian. Proses analisis data menggunakan metode Analysis of Variance (ANOVA) untuk menentukan pengaruh signifikan dari variasi kecepatan ekstrusi terhadap kekuatan tarik cetakan. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi kecepatan ekstrusi optimal untuk kualitas cetakan maksimum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Tensile Strenght Dan Bending Strenght PLA

Tensile Strenght PLA

Hasil penelitian yang di dapatkan dari hasil data uji tarik dengan parameter cetak yaitu *Nozzle temperature* (210°C), Suhu meja (60°C), Ketebalan Lapisan (0,2 mm), *Infill Percentage* (100%) Bentuk Infill (*Triangle*), dengan variasi kecepatan 40 mm/s, 45mm/s, 50mm/s, 55 mm/s, 60 mm/s. Penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali dari masing-masing variasi kecepatan. Dari penjelasan diatas didapat hasil *tensile strenght* filament PLA :



Gambar 1. Patahan pengujian Tensile Strength

Dari gambar 1 terlihat bahwa patahan spesimen terlihat sangat bervariasi, ada patahan bagian tengah, bagian sisi kiri atau bagian sisi kanan. Tidak hanya itu bentuk patahan pun sangat bervariasi mulai dari patahan lurus, miring hingga patahan yang tidak beraturan. Faktor ini di dasari pada variasi yang digunakan selama pengujian ini ,maka dari itu variasi juga mempengaruhi bentuk patah yang akan terjadi.

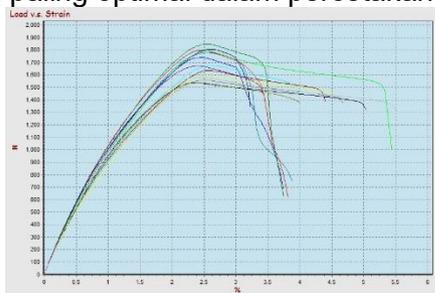
Tabel 2. Tabel Uji Tarik

No	Variasi kecepatan	Uji Tarik		
		Max Force	Yield Strength	Tensile Strength
1.	Level 1 40 mm/s	174030	3549	3618
2.		177829	3696	3697
3.		179817	3578	3738
4.	Level 2 45 mm/s	184881	3692	3844
5.		179168	3725	3725
6.		180685	3589	3756
7.	Level 3 50 mm/s	167333	3313	3474
8.		167385	3480	3480
9.		163650	3203	3402
10.	Level 4 55 mm/s	155749	3174	3238
11.		153635	2961	3194
12.		154064	3052	3203
13.	Level 5 60 mm/s	153729	3071	3196
14.		159265	3311	3311
15.		158281	3073	3291

Tabel 3. Tabel rata-rata Uji Tarik

No	Variasi kecepatan	Uji Tarik		
		Max Force	Yield Strength	Tensile Strength
1.	Level 1 40 mm/s	177125.33	3607.67	3684.33
2.	Level 2 45 mm/s	181578	3668.67	3775
3.	Level 3 50 mm/s	166122.67	3332	3452
4.	Level 4 55 mm/s	154482.67	3062.33	3211.67
5.	Level 5 60 mm/s	157091.67	3161.67	3266

Dari hasil yang didapatkan pada tabel 9 mengenai rata-rata dari pengujian Tensile Strength maka didapatkan hasil bahwa nilai Max Force yang tertinggi terdapat pada Print Speed 45mm/s, sedangkan nilai tertinggi pada Yield Strength terdapat pada Print Speed 45m/s, dan pengujian tertinggi pada Tensile Strength terdapat pada Print Speed 45 mm/s. Hal ini dapat dibuktikan bahwa pada kecepatan Print Speed 45 mm/s menjadi variasi kecepatan yang paling optimal dalam percetakan 3D Print.



Gambar 2 Grafik pengujian Tensile Strength

Dari hasil pengujian Tensile Strength dan Bending Strength eksperimen PLA maka dapat di hasilkan bahwa: Berdasarkan data yang diberikan, berikut adalah analisis dan pembahasan mengenai hasil uji tarik dari cetakan 3D dengan variasi kecepatan cetak yang berbeda. Data mencakup Max Force, Yield Strength, dan Tensile Strength untuk setiap level kecepatan cetak.

Analisis Data

1. Max Force (Gaya Maksimum)

- Tren: Secara umum, nilai gaya maksimum cenderung menurun seiring meningkatnya kecepatan cetak dari Level 1 (40 mm/s) hingga Level 5 (60 mm/s).
- Contoh: Pada Level 1, nilai gaya maksimum mencapai 177,829 N, sedangkan pada Level 5, nilai ini turun menjadi 159,265 N. Penurunan

gaya maksimum ini menunjukkan bahwa material mungkin kurang terikat atau mengalami defek akibat kecepatan cetak yang lebih tinggi.

2. *Yield Strength* (Kekuatan Tahan Lentur)

- Tren: Yield strength menunjukkan variasi yang lebih beragam, dengan puncaknya pada Level 2 dan penurunan di Level 3 dan seterusnya. Misalnya, pada Level 2, yield strength mencapai 3725 MPa, tetapi turun pada Level 3 menjadi 3203 MPa.
- Interpretasi: Penurunan ini dapat diindikasikan bahwa kecepatan yang lebih tinggi mengurangi kemampuan material untuk menahan deformasi plastis sebelum patah.

3. *Tensile Strength* (Kekuatan Tarik)

- Tren: Kekuatan tarik memiliki pola yang serupa dengan yield strength, di mana ada fluktuasi antara level kecepatan. Nilai tertinggi untuk tensile strength tercatat di Level 2 dengan 3844 MPa, sementara pada Level 5, nilai ini menurun menjadi 3191 MPa.
- Kesimpulan: Ini menunjukkan bahwa kecepatan cetak yang lebih tinggi dapat mengakibatkan kualitas cetak yang lebih rendah, mengurangi interlayer adhesi, dan mengakibatkan material menjadi lebih rapuh.

Pembahasan

Pengaruh Kecepatan Cetak: Kecepatan cetak yang lebih tinggi dapat menyebabkan berbagai masalah dalam proses pencetakan, termasuk pengurangan waktu pendinginan antar lapisan. Hal ini dapat mengakibatkan lapisan tidak terikat dengan baik, sehingga mengurangi kekuatan tarik dan lentur material.

- Kualitas Cetak: Pada kecepatan yang lebih rendah (seperti pada Level 1 dan 2), material memiliki lebih banyak waktu untuk mendingin dan membentuk ikatan yang lebih baik antar lapisan. Sebaliknya, pada kecepatan yang lebih tinggi, aliran filamen yang cepat dapat menyebabkan penurunan kualitas ikatan antar lapisan.

Bending Strenght PLA

Hasil penelitian yang di dapatkan dari hasil data uji bending dengan parameter cetak yaitu *Nozzle temperature* (210°C), Suhu meja (60°C), Ketebalan Lapisan (0,2 mm), *Infill Percentage* (100%) Bentuk Infill (*Triangle*), dengan variasi kecepatan 40 mm/s, 45mm/s, 50mm/s, 55 mm/s, 60 mm/s. Penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali dari masing-masing variasi kecepatan. Dari penjelasan diatas didapat hasil *bending strenght* filament PLA.



Gambar 3 Patahan pengujian Bending Strength

Pada hasil patahan eksperimen pengujian Bending Strength terdapat hasil dengan tidak semua eksperimen mengalami patah. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian bending yang terlihat pada gambar 16, pada gambar tersebut terlihat bahwa hanya sebagian eksperimen yang mengalami patah selebihnya hanya mengalami bengkok(tidak lurus) pada bagian yang diberikan tekanan. Hal ini berarti bahwa eksperimen mampu menahan beban dengan nilai yang terdapat pada tabel 4.

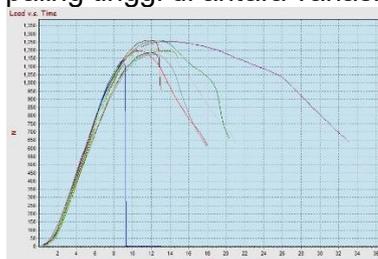
Tabel 4 Tabel Uji Bending

No	Variasi kecepatan	Uji Bending		
		Max Force	Modulus Bending	Bending Strength
1.	Level 1 40 mm/s	1138.298	874.599	61.468
2.		1144.891	879.664	61.824
3.		1194.595	917.854	64.508
4.	Level 2 45 mm/s	1261.776	969.471	68.136
5.		1160.064	919.224	62.643
6.		1167.912	925.443	63.067
7.	Level 3 50 mm/s	1253.614	993.353	67.695
8.		1167.912	925.443	63.067
9.		1262.299	1000.235	68.164
10.	Level 4 55 mm/s	1174.818	930.916	63.440
11.		1184.550	938.627	63.966
12.		1195.537	947.333	64.559
13.	Level 5 60 mm/s	1216.466	963.917	65.689
14.		1177.434	932.989	63.581
15.		1234.150	977.930	66.644

Tabel 5 Hasil rata- rata Bending Strength

No	Variasi kecepatan	Uji Bending		
		Max Force	Modulus Bending	Bending Strength
1.	Level 1 40 mm/s	1159.261	890.706	62.200
2.	Level 2 45 mm/s	1196.584	938.046	64.615
3.	Level 3 50 mm/s	1227.942	973.010	66.309
4.	Level 4 55 mm/s	1184.968	938.959	63.988
5.	Level 5 60 mm/s	1210.017	958.279	65.305

Dari hasil tabel 5 tentang rata-rata pada pengujian Bending Strength didapatkan hasil rata-rata yang paling tinggi terdapat pada variasi kecepatan 50 mm/s hal ini dibuktikan dengan nilai Max Force, Modulus Bending, dan Bending Strength mendapatkan nilai paling tinggi di antara variasi yang lain.



Gambar 4 Grafik pengujian Bending Strength

Berdasarkan data hasil uji bending yang diberikan, berikut adalah analisis dan pembahasan mengenai performa material cetakan 3D dengan variasi kecepatan cetak yang berbeda. Data mencakup Max Force, Modulus Bending, dan Bending Strength untuk setiap level kecepatan cetak.

Analisis Data

1. *Max Force* (Gaya Maksimum)

- Tren: Secara keseluruhan, nilai gaya maksimum cenderung meningkat pada kecepatan cetak yang lebih tinggi (dari Level 1 ke Level 5). Pada Level 1, gaya maksimum mencapai 1194.595 N, sedangkan pada Level 5, nilai ini meningkat hingga 1234.150 N.
- Interpretasi: Peningkatan gaya maksimum ini menunjukkan bahwa meskipun kecepatan cetak meningkat, material masih mampu menahan beban lentur dengan lebih baik pada kecepatan yang lebih tinggi.

2. *Modulus Bending* (Modulus Lentur)

- Tren: Modulus bending menunjukkan peningkatan yang relatif konsisten dari Level 1 hingga Level 5. Nilai modulus bending tertinggi tercatat pada Level 3 dengan 1000.235 MPa.
- Kesimpulan: Modulus bending yang lebih tinggi menunjukkan bahwa material memiliki lebih banyak ketahanan terhadap deformasi elastis ketika dikenakan gaya lentur. Ini menunjukkan bahwa cetakan pada kecepatan yang lebih tinggi dapat meningkatkan kekakuan material.

3. *Bending Strength* (Kekuatan Lentur)

- Tren: Bending strength juga menunjukkan peningkatan secara keseluruhan, dengan nilai tertinggi tercatat pada Level 2 (68.136 MPa) dan Level 3 (68.164 MPa). Pada Level 5, nilai bending strength mencapai 66.644 MPa, yang masih menunjukkan performa yang baik meskipun ada sedikit penurunan dibandingkan dengan level sebelumnya.
- Interpretasi: Ini menunjukkan bahwa material tetap memiliki kekuatan lentur yang baik bahkan pada kecepatan cetak yang lebih tinggi, dengan perbedaan kecil antara level kecepatan yang mungkin disebabkan oleh variasi dalam proses pencetakan.

Pembahasan

Pengaruh Kecepatan Cetak: Berbeda dengan uji tarik, di mana peningkatan kecepatan sering kali menurunkan kekuatan mekanik, uji bending menunjukkan hasil yang lebih positif dengan peningkatan kekuatan lentur pada kecepatan yang lebih tinggi. Ini bisa jadi karena interaksi antar lapisan yang tetap baik meskipun kecepatan cetak meningkat.

Kualitas Cetak: Pada kecepatan yang lebih tinggi, walaupun ada risiko penurunan ikatan antar lapisan, tampaknya dalam hal uji bending, material tetap menunjukkan performa yang baik. Hal ini mungkin terkait dengan pengaturan suhu dan pendinginan yang tepat selama proses cetak.

Rekomendasi untuk Pencetakan: Berdasarkan hasil uji bending, pencetakan pada kecepatan yang lebih tinggi mungkin dapat diterima untuk aplikasi yang lebih fokus pada kekuatan lentur. Namun, tetap perlu dilakukan pengujian tambahan untuk memastikan bahwa hal ini juga berlaku untuk aplikasi nyata di lapangan.

SIMPULAN

Dari hasil yang di dapatkan bahwa hasil yang terbaik di dapatkan pada variasi Print Speed 45 mm/s untuk pembuatan eksperimen uji tarik, Sedangkan variasi terbaik Print Speed untuk pembuatan eksperimen pengujian bending terdapat pada kecepatan 50 mm/s. Hal ini didasarkan pada keseimbangan antara kecepatan dan pendinginan, minimnya getaran mesin, distribusi material yang merata daro nozzle dan suhu ekstruder yang sesuai. Dari data yang dianalisis, tampak bahwa peningkatan kecepatan cetak berhubungan dengan penurunan kekuatan tarik dan lentur. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan dan kekuatan material,

disarankan untuk mencetak pada kecepatan yang lebih rendah, jika memungkinkan, untuk memastikan kualitas cetakan 3D yang lebih baik. Data yang dianalisis menunjukkan bahwa pada uji *bending*, peningkatan kecepatan cetak berhubungan dengan peningkatan gaya maksimum, *modulus bending*, dan kekuatan lentur. Hasil ini menunjukkan bahwa cetakan 3D pada kecepatan lebih tinggi dapat menghasilkan material dengan kekuatan lentur yang baik, sehingga dapat dipertimbangkan untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan lentur tinggi. Pencetakan pada kecepatan sedang hingga tinggi tampaknya memberikan keseimbangan antara efisiensi dan kekuatan material.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, F., Garjati, V. N., & Luqyana, D. (2024). Extrusion Temperature Effects and Composition of Corn Skin Fiber Enhancer on Composite with Polypropylene (PP) Matrix for 3D Printing Filament Applications: Pengaruh Temperatur Ekstrusi dan Komposisi Penguat Serat Kulit Jagung pada Komposit dengan Matriks Polypropylene (PP) untuk Aplikasi Filamen 3D Printing. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 1, 357–363.
- Ardiyanto, D. (2021). *Uji Pengaruh Kecepatan Dan Perbedaan Suhu Antara Filment PLA Dengan Filament Petg Pada 3d Printer Ender 5 Pro*. DIII Teknik mesin Politeknik Harapan Bersama.
- Hakim, R., Saputra, I., Utama, G. P., & Setyoadi, Y. (2019). Pengaruh temperatur nozzle dan base plate pada material PLA terhadap nilai masa jenis dan kekasaran permukaan produk pada mesin Leapfrog Creatr 3D Printer. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 1(1), 1–8.
- Haqqi, H., & Wijayati, H. (2019). *Revolusi industri 4.0 di tengah society 5.0: sebuah integrasi ruang, terobosan teknologi, dan transformasi kehidupan di era disruptif*. Anak Hebat Indonesia.
- Kit, N. (2022). *Rancang Bangun Mesin FDM 3D Printer Dengan Metode QFD (Quality Function deployment) Untuk Pengguna Setingkat Pelajar SMP*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.
- Kusnanjaya, A. (2013). Rancang Bangun Sistem Informasi Data Guru Menggunakan Model Rapid Application Development. *Jurnal Pilar Nusa Mandiri*, 9(2), 147–152.
- Muttaqin, H. Z. (2023). *Pembuatan Topeng Pelindung Wajah Untuk Pemain Sepakbola yang Nyaman dan Kuat dengan Memanfaatkan Metode Reverse Engineering*. Universitas Islam Indonesia.
- Rusianto, T., Huda, S., & Wibowo, H. (2019). A riview: jenis dan pencetakan 3d (3d printing) untuk pembuatan prototipe. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 14–21.
- Setyawan, R., Judianto, O., Widyastuti, P. A., & Wijaya, M. R. R. (2022). Pemanfaatan Color Branding dalam Cetak Digital Tiga Dimensi Miniatur Konser KISS Band Skala 1: 27. *Desainpedia Journal of Urban Design, Lifestyle & Behaviour*, 1(2), 23–33.
- Solikin, I. (2019). Pengembangan Fitur Notifikasi E-Modul Pada Program Studi Manajemen Informatika. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 10(1), 189–196.
- Yeyen, Y., Zulfetriyanto, Z., & Pristiansyah, P. (2024). Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Transparansi Filamen Pla Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2(2), 294–302.