



Evaluasi Kekuatan Tarik Printer 3D dengan Variasi Suhu dan Ketebalan Layer pada Material PLA berdasarkan Standar ASTM D-638

Sugeng Hadi Susilo^{1*}, Eko Yudiyanto², Agus Setiawan³

^{1,2,3}Teknik Mesin Politeknik negeri Malang

*Email Penulis: sugeng.hadi@polinema.ac.id, Eko.yudiyanto@polinema.ac.id, agus.setiawan@polinema.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 19/06/2023
Naskah Direvisi 27/06/2023
Naskah Disetujui 29/06/2023
Naskah Online 30/06/2023

ABSTRAK

In the context of modern developments, 3D printers are an important necessity in a world that is constantly developing. Although there is limited information about the strength of products produced by 3D printers, this tool is very suitable for realizing one's imagination in creating various kinds of products, such as coffee cups, children's toys, and metal tools. This research is focused on 3D printers that use plastic materials, especially PLA, and aims to evaluate the tensile strength of 3D printer products with ASTM D-638 type 1 standards. This research method involves two independent variables, namely temperature with a variation of 200° C, 220° C, and 240° C, as well as different layer thickness with a thickness of 0.1 mm, 0.2 mm, and 0.3 mm. Based on the research results, it was found that a temperature of 200° C with a layer thickness of 0.1 mm had the highest average stress of 35.90 N/mm².

Kata kunci: printer 3D, kekuatan tarik, suhu, ketebalan layer.

1. PENDAHULUAN

Pada era perkembangan zaman yang modern ini, alat printer 3D telah menjadi suatu kebutuhan penting dalam dunia yang senantiasa berkembang. Meskipun keberadaan printer 3D sangat diperlukan, masih terdapat keterbatasan informasi mengenai kekuatan produk yang dihasilkannya. Namun, alat ini memiliki potensi besar untuk mewujudkan imajinasi seseorang dalam menciptakan berbagai macam produk, seperti cangkir kopi, mainan anak-anak, dan bahkan alat-alat berbahan logam. Printer 3D dapat menggunakan berbagai jenis bahan, termasuk plastik dan logam, namun dalam penelitian ini fokus akan diberikan pada printer 3D yang menggunakan bahan plastic [1].

Perkembangan teknologi printer 3D telah diakui oleh banyak pemerintah dan perusahaan sebagai sebuah inovasi yang dapat mengubah dunia. Printer 3D merupakan alat yang mampu menghasilkan produk dengan dimensi tiga, dengan proses pembuatannya yang dikontrol oleh komputer sesuai dengan desain yang telah dibuat sebelumnya [2]-[3]. Proses pemrosesan pada printer 3D melibatkan suhu temperatur untuk melelehkan bahan yang akan digunakan, dan setiap suhu yang berbeda menghasilkan tingkat panas yang berbeda pula. Variasi suhu ini dapat mempengaruhi hasil akhir produk, sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimen dengan variasi suhu untuk membandingkan kekuatan produk yang dihasilkan [4].

Selain suhu, ketebalan layer juga merupakan faktor penting dalam proses pembuatan produk pada printer 3D [5]. Proses cetak 3D menggunakan teknologi additive manufacturing, di mana produk dibangun atau dicetak dengan membentuk lapisan demi lapisan [6]. Setiap ketebalan layer yang berbeda juga akan memberikan perbedaan pada kekuatan produk yang dihasilkan. Ketebalan layer yang lebih kecil cenderung menghasilkan kualitas permukaan produk yang lebih baik [7]. Oleh karena itu, penelitian ini juga akan mempertimbangkan variasi ketebalan layer dalam pengujian kekuatan produk printer 3D.

Proses pembuatan produk pada printer 3D melibatkan desain menggunakan aplikasi CAD, konversi format menjadi STL, dan pengaturan parameter menggunakan aplikasi slicer [8]. Parameter yang telah diatur kemudian disalin ke dalam kartu SD untuk proses pembacaan kode G pada printer 3D. Selain itu, pemilihan bahan filamen juga menjadi pertimbangan penting. Dalam penelitian ini, bahan filamen yang digunakan adalah PLA, yang dikenal sebagai bahan yang ramah lingkungan dan mudah diurai [9].

Untuk mengevaluasi kekuatan tarik produk yang dihasilkan oleh printer 3D dengan bahan filamen PLA, dilakukan pengujian tarik sesuai dengan standar ASTM D-638 tipe 1 [10]. Spesimen uji memiliki dimensi panjang 165 mm, lebar 19 mm, dan ketebalan 3,2 mm. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kekuatan tarik produk printer 3D berdasarkan variasi suhu dan

ketebalan layer, sehingga dapat memberikan wawasan yang berharga untuk pengembangan lebih lanjut dalam teknologi printer 3D.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dirancang untuk mendapatkan data yang komprehensif mengenai pengaruh variasi suhu dan ketebalan layer terhadap kekuatan tarik produk printer 3D. Berikut adalah langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini:

1. Persiapan Alat dan Bahan:

Memastikan kesiapan semua alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian.

2. Desain Spesimen Uji Tarik:

Menggunakan perangkat lunak untuk mendesain spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASTM D-638 tipe 1. Mengonversi desain dari SolidWorks menjadi format ASTL untuk digunakan dalam proses selanjutnya di Ultimaker Cura. Mengatur parameter yang dibutuhkan dalam proses pencetakan, termasuk variasi suhu (200°C, 220°C, 240°C) dan ketebalan layer (0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm).

3. Penyimpanan File dan Pengaturan Gcode:

Menyimpan file desain yang telah ditetapkan parameter-parameternya dalam bentuk gcode. Salin file gcode ke kartu memori dan memasukkan kartu memori ke tempat memori pada printer 3D untuk proses pembacaan desain saat pencetakan.

4. Persiapan Filamen:

Memasukkan filamen ke saluran nozzle sebelum melakukan pencetakan pada printer 3D.

5. Leveling Meja Printer:

Melakukan leveling atau pengaturan jarak antara nozzle dan meja printer untuk memastikan filamen keluar dengan baik dan menempel pada meja printer secara optimal saat proses pencetakan. Leveling dilakukan pada keempat sudut meja printer 3D dan diulang hingga 3 kali jika diperlukan.

6. Pencetakan:

Menghidupkan printer 3D dengan memasukkan kabel printer ke saluran listrik. Menekan tombol "on" pada printer dan memilih menu "print" untuk memulai proses pencetakan. Memilih file gcode yang telah disimpan pada kartu memori.

7. Pendinginan dan Pengukuran Spesimen:

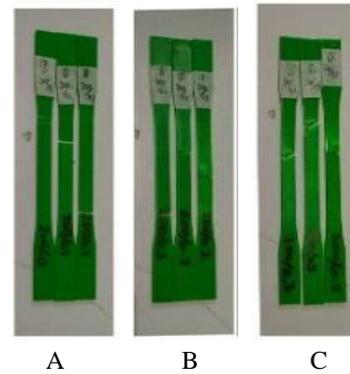
Setelah selesai proses pencetakan, mematikan printer 3D dengan menekan tombol "off". Menunggu spesimen pendingin pada meja printer selama sekitar 30 menit untuk memudahkan pengambilan spesimen yang telah selesai dicetak. Melakukan pengukuran pada spesimen yang telah dicetak.

8. Pengujian Kekuatan Tarik:

Melakukan pengujian kekuatan tarik pada spesimen yang telah selesai dicetak untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan. Pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan.

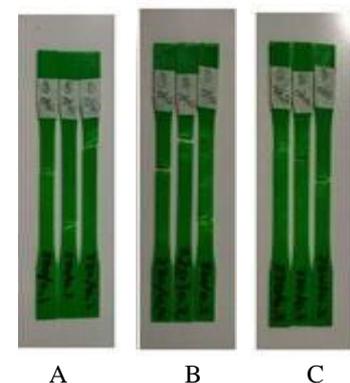
3.2 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan pada spesimen yang telah selesai dicetak dan dilakukan di Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



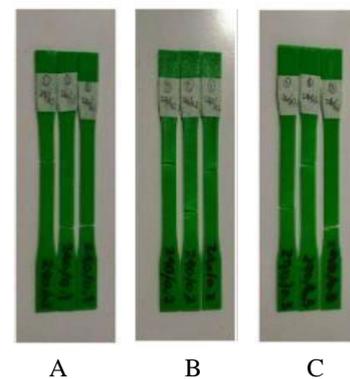
Gambar 1. Spesimen dengan Suhu 200°C

Pada Gambar 1, terlihat contoh spesimen yang telah menjalani pengujian tarik dengan suhu 200°C dan ketebalan layer A (0,1 mm), layer B (0,2 mm), dan layer C (0,3 mm).



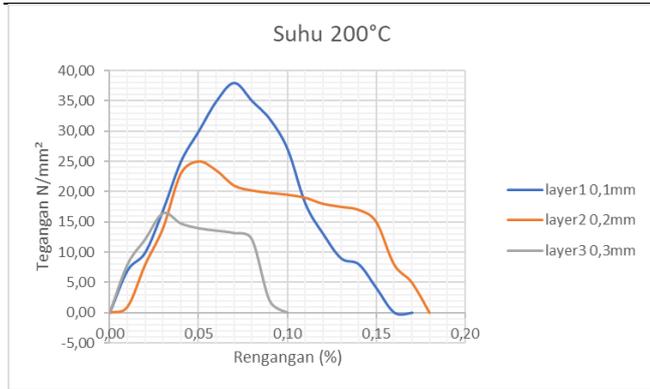
Gambar 2. Spesimen dengan Suhu 220°C

Gambar 2 menampilkan contoh spesimen yang telah menjalani pengujian tarik dengan suhu 220°C dan ketebalan layer A (0,1 mm), layer B (0,2 mm), dan layer C (0,3 mm).



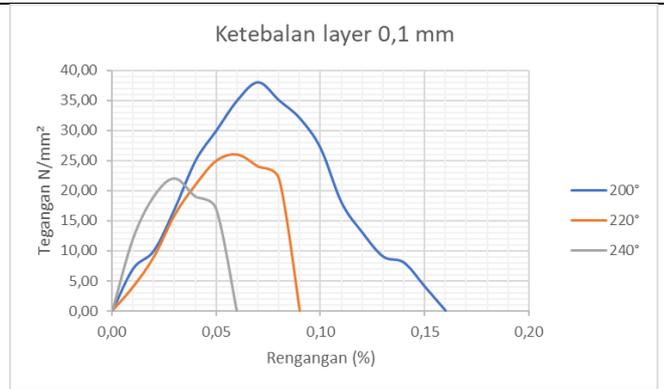
Gambar 3. Spesimen dengan Suhu 240°C

Pada Gambar 3, dapat dilihat contoh spesimen yang telah menjalani pengujian tarik dengan suhu 240°C dan ketebalan layer A (0,1 mm), layer B (0,2 mm), dan layer C (0,3 mm). Untuk memvisualisasikan perbedaan dalam variasi ketebalan layer, dapat dilihat pada Gambar 4-6.



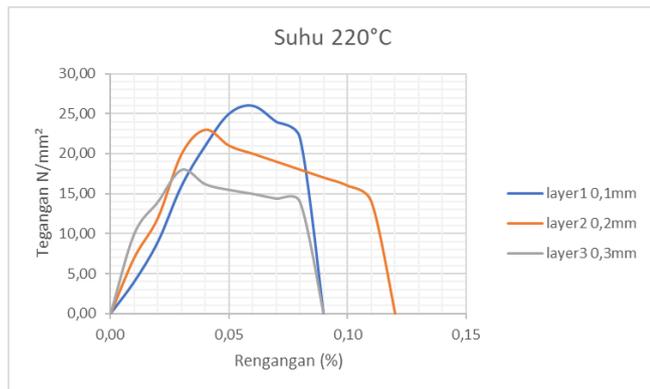
Gambar 4 Hubungan Tegangan-Regangan pada Ketebalan Layer 0,1 mm

Pada Gambar 4, terlihat bahwa ketebalan layer 0,1 mm memiliki tegangan maksimum tertinggi sebesar 38,08 N/mm² dengan regangan 0,16.



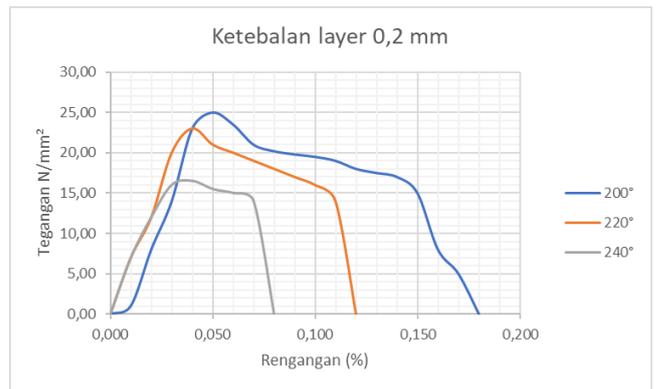
Gambar 7 Hubungan Tegangan-Regangan pada Ketebalan Layer 0,1 mm

Pada Gambar 7 terlihat bahwa ketebalan layer 0,1 mm pada suhu 200°C memiliki tegangan maksimum tertinggi sebesar 38,08 N/mm² dengan regangan 0,17.



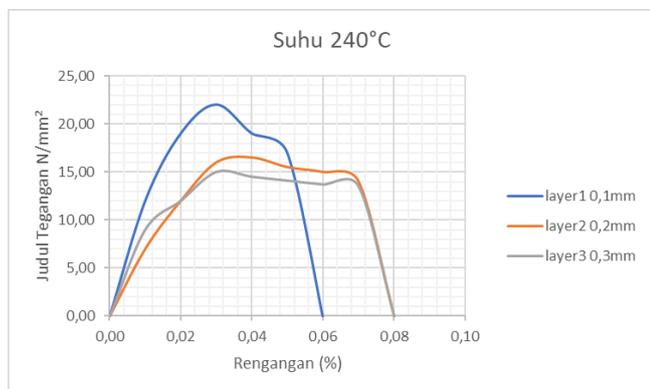
Gambar 5: Hubungan Tegangan-Regangan pada Ketebalan Layer 0,2 mm

Gambar 5 menunjukkan bahwa ketebalan layer 0,1 mm memiliki tegangan maksimum tertinggi sebesar 22,97 N/mm² dengan regangan 0,06.



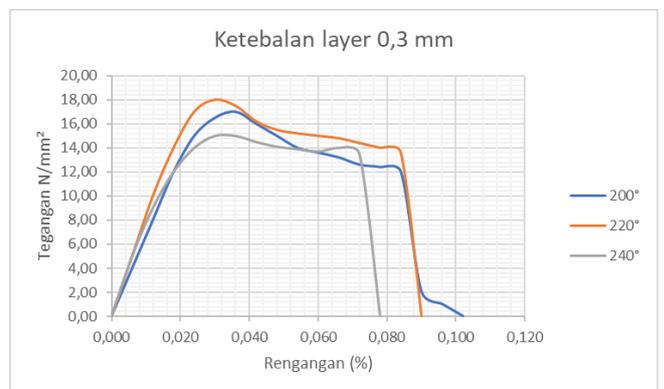
Gambar 8: Hubungan Tegangan-Regangan pada Ketebalan Layer 0,2 mm

Pada Gambar 8, terlihat bahwa ketebalan layer 0,2 mm pada suhu 200°C memiliki tegangan maksimum tertinggi sebesar 25,43 N/mm² dengan regangan 0,18.



Gambar 6: Hubungan Tegangan-Regangan pada Ketebalan Layer 0,3 mm

Gambar 6 menjelaskan bahwa ketebalan layer 0,1 mm memiliki tegangan maksimum tertinggi sebesar 22,11 N/mm² dengan regangan 0,05.



Gambar 11: Hubungan Tegangan-Regangan pada Ketebalan Layer 0,3 mm

Pada Gambar 11, terlihat bahwa ketebalan layer 0,3 mm pada suhu 220°C memiliki tegangan maksimum tertinggi sebesar 17,74 N/mm² dengan regangan 0,08.

3.4 Analisis Hasil Pengujian Kuat Tarik

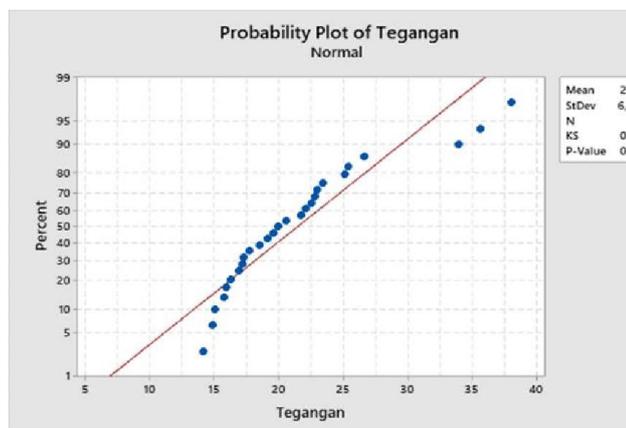
Analisis statistik dilakukan menggunakan metode two-way with interaction melalui aplikasi Minitab 2019. Pengolahan data ini meliputi analisis variansi dan pembuatan grafik. Hasil analisis variansi dapat ditemukan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Analysis of variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu	2	199,37	99,686	33,36	0,000
Ketebalan Layer	2	613,81	306,906	102,72	0,000
Suhu*Ketebalan Layer	4	154,59	38,648	12,93	0,000
Error	18	53,78	2,988		
Total	26	1021,56			

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai p-value untuk faktor suhu adalah 0,000. Oleh karena itu, p-value suhu dapat disimpulkan kurang dari nilai α (tingkat signifikansi) sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hal yang sama berlaku untuk faktor ketebalan layer, di mana nilai p-value adalah 0,000. Selain itu, interaksi antara suhu dan ketebalan layer juga memiliki nilai p-value sebesar 0,000. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa suhu, ketebalan layer, dan interaksi keduanya berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik.

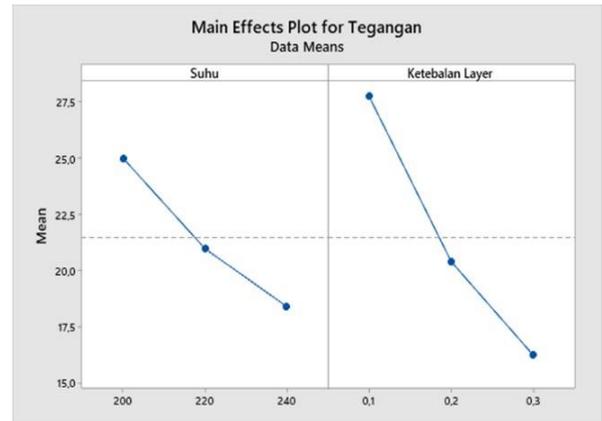
Selanjutnya, F-value dibandingkan dengan nilai F-tabel. Jika F-value lebih besar dari F-tabel, maka terdapat pengaruh dalam penelitian. F-value untuk faktor suhu adalah 33,36, sedangkan F-tabel memiliki nilai 3,37. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap pengujian kuat tarik karena F-value > F-tabel. Begitu pula, F-value untuk faktor ketebalan layer adalah 102,72, sedangkan F-tabel memiliki nilai 3,37. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ketebalan layer memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kuat tarik karena F-value > F-tabel. Selain itu, interaksi antara suhu dan ketebalan layer memiliki F-value sebesar 12,93, sedangkan F-tabel memiliki nilai 2,74. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa interaksi antara suhu dan ketebalan layer juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kuat tarik karena F-value > F-tabel.



Gambar 12 normalitas data untuk hasil penelitian tegangan pada pengujian kuat tarik

Selain analisis variansi, grafik normalitas data juga penting untuk diperhatikan. Gambar 12 menunjukkan grafik normalitas data untuk hasil penelitian tegangan pada pengujian kuat tarik. Grafik ini digunakan untuk melihat sebaran nilai data dalam kelompok atau variabel apakah terdistribusi secara normal atau tidak. Dalam Gambar 12, titik-titik plot mendekati garis

diagonal, menunjukkan bahwa nilai tegangan terdistribusi secara normal.



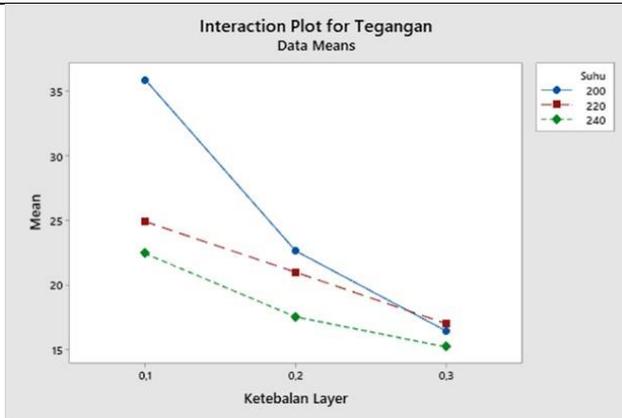
Gambar 13. Hubungan interaksi antara suhu dan ketebalan layer terhadap tegangan.

Dalam penelitian ini, terdapat grafik "main effects plot" yang menggambarkan pengaruh interaksi antara suhu dan ketebalan layer terhadap tegangan. Grafik tersebut memberikan gambaran tentang bagaimana perubahan suhu dan ketebalan layer dapat mempengaruhi tegangan yang terjadi.

Pada variabel suhu, ditemukan bahwa rata-rata total tegangan tertinggi terjadi pada suhu 200°C dengan nilai tegangan sebesar 25,00 N/mm². Hal ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa pada suhu 200°C, proses pencetakan berlangsung dengan cepat dan mengering dengan baik. Dalam kondisi ini, penambahan lapisan layer terjadi secara terus-menerus atau kontinu, sehingga pembuatan spesimen dapat dilakukan dengan cepat dan tidak terjadi over-temperature. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu yang optimal untuk mencapai tegangan tertinggi dalam penelitian ini adalah 200°C.

Selanjutnya, pengaruh ketebalan layer terhadap tegangan juga diamati dalam penelitian ini. Dalam grafik "main effects plot", terlihat bahwa pada ketebalan layer 0,1 mm, nilai rata-rata total tegangan tertinggi adalah 27,75 N/mm². Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak penumpukan lapisan layer saat proses pencetakan dengan ketebalan layer 0,1 mm menghasilkan padatan yang lebih padat dan kuat. Oleh karena itu, ketebalan layer yang optimal untuk mencapai tegangan tertinggi dalam penelitian ini adalah 0,1 mm.

Melalui penelitian perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa suhu dan ketebalan layer memiliki pengaruh signifikan terhadap tegangan yang terjadi pada material yang dicetak. Suhu 200°C dan ketebalan layer 0,1 mm menunjukkan hasil yang optimal dalam mencapai tegangan tertinggi. Namun, perlu diingat bahwa hasil ini hanya berlaku dalam konteks penelitian ini dan dapat berbeda dalam situasi atau kondisi lainnya.



Gambar 14. hubungan tebal layer dengan tegangan

Grafik interaksi antara ketebalan layer dan suhu dapat ditemukan pada Gambar 14. Terlihat bahwa nilai tegangan rata-rata tertinggi terjadi pada suhu 200°C dengan ketebalan layer 0,1 mm, yaitu sebesar 35,90 N/mm². Sebaliknya, nilai tegangan rata-rata terendah terjadi pada suhu 240°C dengan ketebalan layer 0,3 mm, yaitu sebesar 15,20 N/mm².

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ketebalan layer memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik pada produk printer 3D yang menggunakan material PLA. Ketebalan layer 0,1 mm menghasilkan nilai tegangan tertinggi (27,75 N/mm²), sedangkan ketebalan layer 0,3 mm menghasilkan nilai tegangan terendah (16,22 N/mm²). Suhu juga memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik pada produk printer 3D yang menggunakan material PLA. Suhu 200°C menghasilkan nilai tegangan tertinggi (25,00 N/mm²), sedangkan suhu 240°C menghasilkan nilai tegangan terendah (18,39 N/mm²).
2. Terdapat interaksi antara ketebalan layer dan suhu yang berpengaruh terhadap kekuatan tarik pada produk printer 3D yang menggunakan material PLA. Pada suhu 200°C dengan ketebalan layer 0,1 mm, terdapat nilai tegangan tertinggi (35,90 N/mm²), sedangkan pada suhu 240°C dengan ketebalan layer 0,3 mm, terdapat nilai tegangan terendah (15,20 N/mm²). Dalam penelitian ini, ketebalan layer 0,1 mm dan suhu 200°C menunjukkan hasil yang paling optimal dalam mencapai kekuatan tarik tertinggi. Namun, perlu dicatat bahwa kesimpulan ini hanya berlaku dalam konteks penelitian ini dan dapat berbeda dalam situasi atau kondisi lainnya.

4. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ponzetti, G. Chinna Rao Devarapu, N. Rucci, A. Carlone, and V. Saggiomo, "HistoEnder: A 3D printer-based histological slide autostainer that retains 3D printer functions," *HardwareX*, vol. 12, 2022, doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00370.
- [2] S. ichiro Kimura, T. Ishikawa, Y. Iwao, S. Itai, and H. Kondo, "Fabrication of zero-order sustained-release floating tablets via fused depositing modeling 3D printer," *Chem. Pharm. Bull.*, vol. 67, no. 9, 2019, doi: 10.1248/cpb.c19-00290.
- [3] A. Kumar, K. Kumari, R. Sadasivam, and M. Goswami, "Development of a 3D printer-scanner hybrid from

- e-waste," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 3, 2022, doi: 10.1007/s13762-021-03131-6.
- [4] S. Burleson, J. Baker, A. T. Hsia, and Z. Xu, "Use of 3D printers to create a patient-specific 3D bolus for external beam therapy," *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, vol. 16, no. 3, 2015, doi: 10.1120/jacmp.v16i3.5247.
- [5] C. F. Guo, M. Zhang, and B. Bhandari, "A comparative study between syringe-based and screw-based 3D food printers by computational simulation," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 162, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2019.04.032.
- [6] J. Ajay, C. Song, A. S. Rathore, C. Zhou, and W. Xu, "3D Gates: An instruction-level energy analysis and optimization of 3D printers," *ACM SIGPLAN Not.*, vol. 52, no. 4, 2017, doi: 10.1145/3037697.3037752.
- [6] L. P. G. da Costa et al., "3D printers in dentistry: a review of additive manufacturing techniques and materials," *Clin. Lab. Res. Dent.*, 2021, doi: 10.11606/issn.2357-8041.clrd.2021.188502.
- [7] J. L. Saorin, M. D. Diaz-Alemán, J. De La Torre-Cantero, C. Meier, and I. Pérez Conesa, "Design and validation of an open source 3D printer based on digital ultraviolet light processing (DLP), for the improvement of traditional artistic casting techniques for microsculptures," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 7, 2021, doi: 10.3390/app11073197.
- [8] M. Narita, T. Takaki, T. Shibahara, M. Iwamoto, T. Yakushiji, and T. Kamio, "Utilization of desktop 3D printer-fabricated 'Cost-Effective' 3D models in orthognathic surgery," *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 42, no. 1. 2020, doi: 10.1186/s40902-020-00269-0.
- [9] P. Holzmann, R. J. Breitenecker, and E. J. Schwarz, "Business model patterns for 3D printer manufacturers," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 31, no. 6, 2020, doi: 10.1108/JMTM-09-2018-0313.
- [10] B. Pérez, H. Nykvist, A. F. Brøgger, M. B. Larsen, and M. F. Falkeborg, "Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A review," *Food Chem.*, vol. 287, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.02.090.

Halaman ini sengaja dikosongkan