



PENGARUH JENIS FILAMENT DAN TEMPERATUR EXTRUSI TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL CETAKAN PADA PROSES 3D PRINTING

Abdul Syukur¹, Agus Harijono²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang
Alamat: Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur, 65141.

Korespondensi penulis: syurbomers15@gmail.com

A B S T R A K

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis filament (PLA, ABS, dan PETG) serta temperatur ekstrusi (235°C, 240°C, dan 245°C) terhadap kekuatan tarik hasil cetakan 3D menggunakan metode Fused Deposition Modeling (FDM). Pengujian dilakukan dengan mencetak spesimen sesuai standar ASTM D638, kemudian diuji tarik menggunakan mesin uji tarik untuk memperoleh nilai tegangan maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis filament dan temperatur ekstrusi memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Filament PLA menghasilkan kekuatan tarik tertinggi pada seluruh variasi temperatur, dengan nilai maksimum sebesar 77,54 MPa pada suhu 245°C. Sementara itu, PETG menunjukkan nilai terendah meskipun meningkat seiring kenaikan suhu. Analisis statistik menggunakan Two Way ANOVA menunjukkan bahwa baik jenis filament, temperatur ekstrusi, maupun interaksinya berpengaruh nyata terhadap kekuatan tarik ($p\text{-value} < 0,05$). Kesimpulan dari penelitian ini adalah kombinasi jenis material dan suhu ekstrusi yang tepat sangat menentukan kualitas mekanik hasil cetakan 3D.
Kata kunci: 3D printing, FDM, filament PLA, ABS, PETG, temperatur ekstrusi, kekuatan tarik, ASTM D638.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the effect of varying filament types (PLA, ABS, and PETG) and extrusion temperatures (235°C, 240°C, and 245°C) on the tensile strength of 3D prints using the Fused Deposition Modeling (FDM) method. Testing was conducted by printing specimens according to ASTM D638 standards, then subjecting them to tensile testing using a tensile testing machine to obtain the maximum stress value. The results showed that filament type and extrusion temperature significantly influenced tensile strength. PLA filament produced the highest tensile strength across all temperature variations, with a maximum value of 77.54 MPa at 245°C. Meanwhile, PETG showed the lowest value, although it increased with increasing temperature. Statistical analysis using a two-way ANOVA showed that both filament type, extrusion temperature, and their interaction significantly affected tensile strength ($p\text{-value} < 0.05$). The conclusion of this study is that the correct combination of material type and extrusion temperature significantly determines the mechanical quality of 3D prints

Article History

Received: Juli 2025

Reviewed: Juli 2025

Published: Juli 2025

Plagiarism Checker No
234

Prefix DOI : Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Keywords: 3D printing, FDM, PLA, ABS, PETG filament, extrusion temperature, tensile strength, ASTM D638.

1. LATAR BELAKANG

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi pencetakan 3D telah mengalami perkembangan yang pesat dan menjadi salah satu inovasi terpenting dalam industri manufaktur. Pencetakan 3D tidak hanya digunakan dalam pembuatan prototipe, tetapi juga dalam produksi barang jadi yang kompleks dan kustom. Keunggulan dari 3D print adalah dapat membuat produk dengan fleksibilitas tinggi (Mubarak et al., n.d.). Salah satu aspek penting dari proses pencetakan 3D adalah pemilihan jenis filamen dan pengaturan suhu, yang secara langsung mempengaruhi kualitas dan kekuatan produk akhir. Fenomena ini menjadi semakin relevan di tengah meningkatnya permintaan akan produk yang lebih kuat dan tahan lama, khususnya dalam sektor industri, kesehatan, dan otomotif (Hadi et al., 2023).

Permasalahan utama yang sering dihadapi dalam proses pencetakan 3D adalah tidaknya tercapainya kekuatan tarik yang diharapkan, terutama ketika objek dicetak untuk keperluan struktural atau fungsional. Ketidaksiuaian antara jenis filament dan parameter proses sering kali menjadi penyebab lemahnya kekuatan hasil cetakan. Hal ini menunjukkan perlunya penelitian yang lebih mendalam mengenai hubungan antara jenis filament dan temperatur ekstrusi, serta pengaruhnya terhadap kekuatan tarik produk akhir. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan proses dan hasil dari teknologi 3D printing agar mampu memenuhi standar kualitas yang diharapkan (Kumar et al., 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jenis filament dan temperatur ekstrusi terhadap kekuatan tarik hasil cetak 3D, khususnya pada teknologi fused deposition modeling (FDM). Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam pemahaman mengenai pengaruh parameter tersebut terhadap sifat mekanik material, serta menjadi acuan praktis bagi pengguna teknologi 3D printing, baik di industri maupun pendidikan.

Manfaat penelitian ini meliputi pengembangan ilmu material terkait 3D printing dan penerapan praktik manufaktur yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Hasil penelitian juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan panduan operasional dan inovasi material baru yang mendukung keberlanjutan industri.

2. KAJIAN TEORITIS

Penelitian mengenai pengaruh jenis filament terhadap kekuatan tarik hasil cetakan 3D printing telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, seiring dengan meningkatnya pemanfaatan teknologi manufaktur aditif dalam berbagai bidang. Salah satu penelitian yang relevan dilakukan oleh (Duman & Suzen, 2023) mengkaji pengaruh tipe infill dan temperatur nozzle terhadap kekuatan tarik pada produk 3D printing menggunakan filament PLA+ Esun. Penelitian ini menggunakan mesin 3D printer FDM model PRUSA dengan dimensi cetak 220 mm × 220 mm × 250 mm dan nozzle berukuran 0,4 mm. Variasi parameter yang diuji meliputi temperatur nozzle (205°C, 215°C, dan 225°C) serta 13 tipe infill berbeda seperti Grid, Lines, Concentric, Zigzag, dan lainnya. Pengujian tarik dilakukan pada 39 spesimen yang dicetak berdasarkan standar ASTM D638 TYPE IV.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi, sebesar 43,20 MPa, diperoleh pada temperatur nozzle 215°C dengan tipe infill Concentric. Sebaliknya, kekuatan tarik terendah, sebesar 24,50 MPa, ditemukan pada temperatur nozzle 205°C dengan tipe infill Cross. Hal ini menegaskan bahwa kombinasi parameter proses seperti temperatur nozzle dan tipe infill memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan mekanis produk cetak 3D.

Penelitian yang dilakukan oleh (Noor Ikhsanto, 2022) bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu nozzle pada kekuatan bending filament ABS dan PLA dalam hasil cetak 3D. Penelitian ini menggunakan variasi suhu nozzle yaitu 230°C, 237°C, dan 244°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan bending meningkat seiring kenaikan suhu nozzle. Filamen ABS memiliki



kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan PLA, namun PLA lebih lentur dibandingkan ABS. Pada suhu nozzle 244°C , kekuatan ABS mencapai 28,236 N, sedangkan PLA mencapai 28,06 N. Fenomena ini menunjukkan bahwa pada suhu tertentu, sifat mekanik kedua filament dapat mendekati kesamaan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan standar ASTM D638 untuk menguji pengaruh berbagai parameter pencetakan terhadap kekuatan tarik hasil cetakan FDM, termasuk jenis filament, suhu ekstrusi, arah pencetakan (orientasi), serta kerapatan infill.

Salah satu penelitian dilakukan oleh (Cahyati & Putra, 2023) yang mengkaji pengaruh arah pencetakan (raster orientation) terhadap kekuatan tarik dan lentur spesimen PLA yang dicetak menggunakan metode FDM. Penelitian ini menunjukkan bahwa arah pencetakan sangat memengaruhi kekuatan tarik, dengan orientasi paralel terhadap gaya tarik memberikan nilai kekuatan lebih tinggi dibandingkan orientasi tegak lurus. Pengujian dilakukan menggunakan prosedur ASTM D638 sebagai acuan bentuk dan ukuran spesimen uji tarik.

Berdasarkan dua penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa parameter proses pencetakan seperti suhu nozzle dan tipe infill, serta jenis filament yang digunakan, memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan mekanik hasil cetakan 3D, khususnya kekuatan tarik dan kekuatan lentur (bending). Secara keseluruhan, kedua penelitian tersebut menegaskan bahwa suhu nozzle yang optimal memainkan peran penting dalam pembentukan sifat mekanik hasil cetakan 3D. Selain itu, pemilihan jenis filament dan desain internal (infill pattern) juga mempengaruhi kualitas dan kekuatan produk akhir. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih lanjut pengaruh jenis filament ABS, PETG, dan PLA (Anis et al., 2023) serta temperatur ekstrusi (235°C , 240°C , dan 245°C) terhadap uji tarik dari hasil cetakan pada proses 3D printing.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen dan pengolahan data secara statistik. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis *filament* dan temperatur ekstrusi terhadap kekuatan tarik hasil cetakan pada proses *3D printing*. Pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Teknik Material, sedangkan pengujian kualitas yang diterapkan adalah kualitas sifat mekanik material yang diujikan yaitu kekuatan terhadap gaya tarik (Nugraha & Wahyujati, 2022). Dilaksanakan di Laboratorium Uji Material sesuai dengan standar ASTM D638. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi jenis filament dan *temperatur ekstrusi* yang memberikan hasil kekuatan tarik tertinggi, serta mengamati interaksi antara kedua variabel tersebut.

Untuk pencetakan spesimen uji tarik menggunakan mesin 3D printer dengan teknik Fused Deposition Modelling (FDM) (Sundari et al., 2022). Fused Deposition Modeling (FDM) merupakan salah satu metode paling populer dalam teknologi Additive Manufacturing (AM) atau pencetakan 3D. Secara prinsip, FDM bekerja dengan cara memanaskan filament termoplastik hingga mencapai titik lelehnya, kemudian mengekstrusi material tersebut melalui nozzle ke atas permukaan alas cetak (build plate) (Rajan et al., 2022). Bahan yang digunakan dalam proses pencetakan 3D dengan metode Fused Deposition Modeling (FDM), filament merupakan bahan utama yang digunakan sebagai media pencetak objek tiga dimensi. Filamen 3D printing merupakan bahan termoplastik berbentuk gulungan yang umumnya tersedia dalam dua ukuran standar, yaitu 1.75 mm dan 2.85 mm yang digulung dalam bentuk spool (Elviana, Supardianningsih, et al., 2025). Filament ini dipanaskan melalui komponen hotend pada printer 3D hingga meleleh dan kemudian diekstrusi melalui nozzle, membentuk lapisan-lapisan tipis yang akan membangun objek secara bertahap dari bawah ke atas. Variasi jenis filamen yang digunakan adalah ABS, PETG, dan PLA. Sementara variasi temperature ekstrusi yang diuji adalah 235°C , 240°C , dan 245°C .

Desain penelitian menggunakan rancangan faktorial 3×3 , yang berarti terdapat 3 level arah serat dan 3 level fraksi volume, menghasilkan total 9 kombinasi perlakuan. Masing-masing kombinasi diuji sebanyak 3 kali, sehingga total terdapat 27 data pengujian. Data kekuatan tarik dihitung dari tegangan maksimum spesimen dibagi luas penampang spesimen, lalu dianalisis



menggunakan ANOVA dua arah untuk melihat pengaruh signifikan dari masing-masing variabel dan interaksinya. Proses analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik Minitab untuk memperoleh nilai F, signifikansi (*p-value*), dan grafik interaksi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Data Uji Tarik

Pada pengujian tarik nilai yang didapat adalah beban (kg) serta regangan (mm) tiap beban. Dari nilai beban yang didapat diambil beban yang paling tinggi, dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik

Temperatur (°C)	Jenis Filamen		
	ABS	PETG	PLA
230	54.6	40.6	70.6
	54.8	40.8	70.8
	54.6	40.8	70.4
235	56.8	48.8	73.4
	56.6	48.4	73.4
	56.2	48.8	73.8
240	58.4	52.2	77.6
	58.8	52.4	77.8
	58.8	51.8	77.2

Setelah didapat nilai beban maksimum, selanjutnya menghitung harga tegangan maksimum dengan menggunakan rumus persamaan (Markuwat et al., 2022) sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

σ = Tegangan (MPa)

F = Gaya maksimum yang diterima material (N)

A = Luas penampang awal spesimen (m^2)

Contoh perhitungan jenis filamen ABS dengan temperatur 235°C

$$F = m \times g$$

Keterangan:

m = Massa (kg)

g = Gaya gravitasi (m/s^2)

$$F = 54.6 \times 9.81$$

$$F = 535.626 \text{ N}$$

Selanjutnya menghitung luas penampang spesimen ASTM D638 dengan t = 3 mm dan l = 6 mm.

$$A = t \times l$$

Keterangan:

t = Tebal spesimen

l = Lebar

$$A = 3 \times 6$$

$$A = 18 \text{ mm}^2 = 18 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Selanjutnya dari nilai F dan A didapat dimasukkan ke rumus 4.1 sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{535.626}{18 \times 10^{-6}}$$



$$\sigma = 29.75 \frac{N}{m^2} = 29.76 \text{ MPa}$$

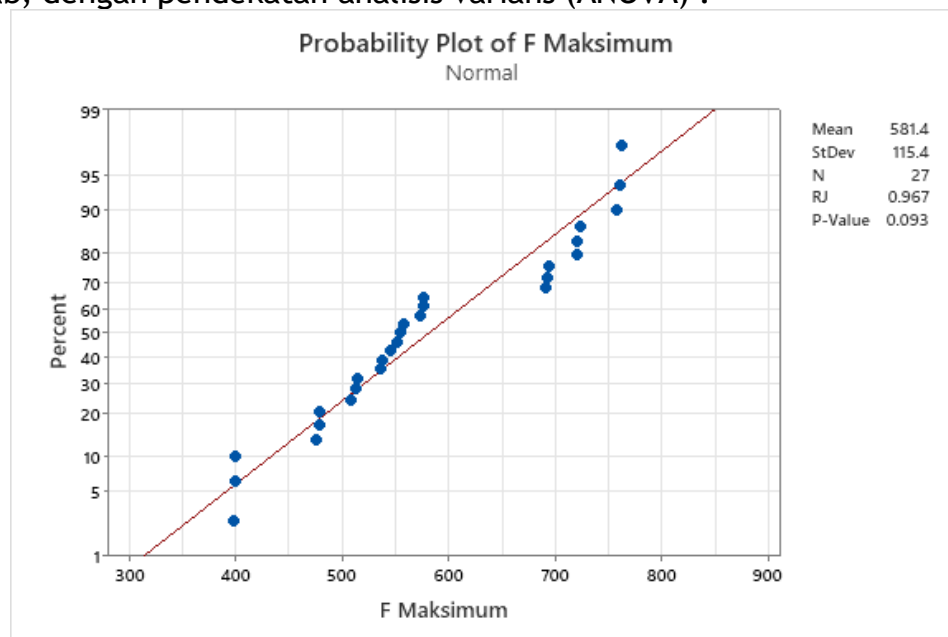
Dari hasil perhitungan diatas didapat nilai tegangan maksimum 29.76 Mpa. Sehingga didapatkan data dan dimasukkan kedalam tabel. Pada tabel 4.1 berikut merupakan data dari hasil pengujian tarik yang telah dihitung.

Tabel 4.2 Data Tegangan Maksimum

Temperatur (°C)	Jenis Filamen		
	ABS	PETG	PLA
230	29.76	22.13	38.48
	29.87	22.24	38.59
	29.76	22.24	38.37
235	30.96	26.60	40.00
	30.85	26.38	40.00
	30.63	26.60	40.22
240	31.83	28.45	42.29
	32.05	28.56	42.40
	32.05	28.23	42.07

B. Pengolahan Data Statistik

Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara statistik menggunakan perangkat lunak Minitab, dengan pendekatan analisis varians (ANOVA) .



Gambar 1. Propability Plot

Pada gambar 1. sebagian besar titik data mengikuti garis distribusi normal dengan baik, yang ditunjukkan oleh penyebaran titik-titik yang relatif dekat dengan garis merah referensi. Nilai p-value sebesar 0,093 ($> 0,05$) menunjukkan bahwa tidak ada cukup bukti untuk menolak hipotesis bahwa data berdistribusi normal pada tingkat signifikansi 5%. Dengan demikian, data kekuatan tarik yang diperoleh dari pengujian spesimen hasil cetakan 3D printing dapat dianggap berdistribusi normal.

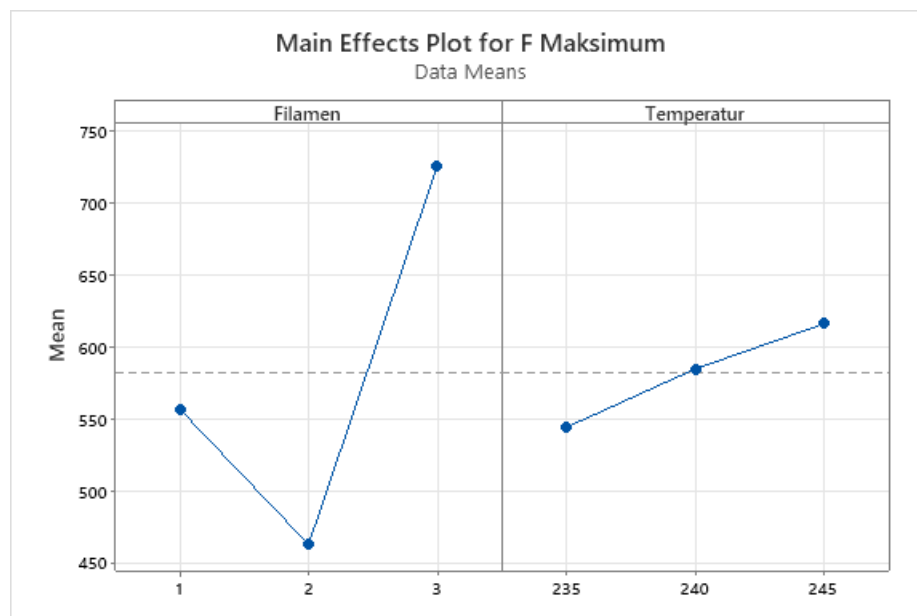


Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Filamen	2	317321	158660	19186.97	0.000
Temperatur	2	23415	11707	1415.79	0.000
Filamen*Temperatur	4	5257	1314	158.95	0.000
Error	18	149	8		
Total	26	346142			

Gambar 2. Analysis of Variance

Berdasarkan hasil uji Analysis of Variance (ANOVA) yang ditampilkan pada Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa faktor jenis filamen, temperatur ekstrusi, dan interaksi antara jenis filamen dan temperatur ekstrusi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik maksimum hasil cetakan pada proses 3D printing. Hal ini terlihat dari nilai p-value pada ketiga faktor yang semuanya bernilai 0,000, jauh lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perbedaan jenis filamen, variasi temperatur ekstrusi, dan interaksi antara keduanya bukan disebabkan oleh faktor kebetulan, melainkan benar-benar berpengaruh nyata terhadap kekuatan tarik hasil cetakan.



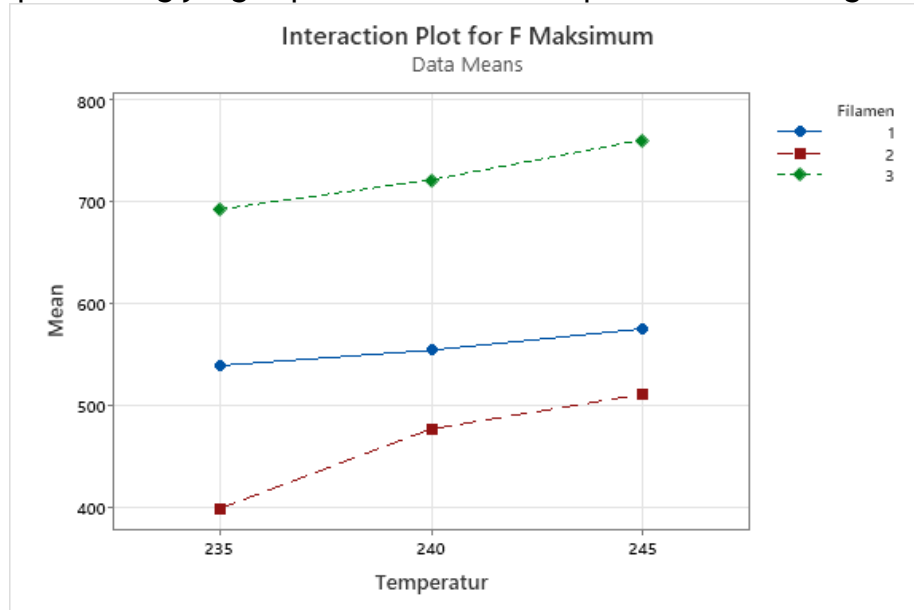
Gambar 3. Main Effects Plot

Berdasarkan hasil Main Effects Plot untuk F Maksimum, dapat dilihat bahwa baik jenis filamen maupun temperatur ekstrusi memiliki pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tarik maksimum hasil cetakan pada proses 3D printing. Pada bagian pertama grafik yang menggambarkan pengaruh jenis filamen, terlihat adanya perbedaan yang signifikan antar jenis filamen terhadap kekuatan tarik yang dihasilkan.

Pada bagian kedua grafik yang menggambarkan pengaruh temperatur ekstrusi, terlihat bahwa kenaikan temperatur ekstrusi memberikan peningkatan rata-rata kekuatan tarik maksimum. Namun, jika dibandingkan dengan pengaruh jenis filamen, kemiringan garis pada grafik temperatur ekstrusi tidak terlalu tajam, yang berarti pengaruh temperatur terhadap kekuatan tarik tidak sekuat pengaruh jenis filamen.

Dari keseluruhan analisis pada Main Effects Plot ini, dapat disimpulkan bahwa jenis filamen memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap kekuatan tarik maksimum dibandingkan dengan temperatur ekstrusi. Meskipun temperatur ekstrusi berpengaruh, efeknya bersifat menambah kekuatan tarik secara bertahap dan tidak seagresif perubahan yang disebabkan oleh perbedaan jenis filamen. Dengan demikian, dalam proses 3D printing, pemilihan jenis filamen yang tepat menjadi kunci utama untuk mendapatkan hasil cetakan

dengan kekuatan tarik maksimum yang optimal, sedangkan pengaturan temperatur ekstrusi menjadi faktor pendukung yang dapat memaksimalkan potensi dari masing-masing filamen.



Gambar 4. Interaction plot

Berdasarkan gambar Interaction Plot for F Maksimum di atas, dapat dilihat bahwa terdapat interaksi antara jenis filamen dan temperatur ekstrusi terhadap kekuatan tarik maksimum hasil cetakan pada proses 3D printing. Grafik ini menunjukkan pola hubungan antar variabel, dimana masing-masing jenis filamen memberikan respon yang berbeda terhadap perubahan temperatur ekstrusi. Filamen 1 adalah ABS, menunjukkan peningkatan kekuatan tarik secara bertahap seiring dengan kenaikan temperatur dari 235°C hingga 245°C. Kenaikan tersebut terlihat stabil dan tidak terlalu curam, yang menandakan bahwa pengaruh temperatur terhadap filamen ini bersifat konsisten, tetapi tidak terlalu signifikan.

Sementara itu, pada filamen 2 merupakan PETG, terjadi peningkatan kekuatan tarik yang lebih tajam dari 235°C ke 240°C, kemudian cenderung stabil ketika temperatur dinaikkan ke 245°C. Pola ini menunjukkan bahwa PETG sangat dipengaruhi oleh kenaikan temperatur pada awalnya, namun setelah melewati titik optimal, peningkatan kekuatan tariknya menjadi lambat. Hal ini mengindikasikan bahwa PETG memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap perubahan temperatur di bawah 240°C, yang penting untuk diperhatikan dalam pengaturan proses pencetakan.

Adapun pada filamen 3, yang kemungkinan adalah PLA, terlihat bahwa filamen ini memiliki kekuatan tarik tertinggi pada seluruh rentang temperatur yang diuji. Garis yang mewakili filamen 3 menunjukkan peningkatan kekuatan tarik yang signifikan di setiap kenaikan temperatur. Bahkan, dibandingkan dengan filamen lainnya, filamen 3 memiliki gradien garis yang lebih curam dan berada pada posisi tertinggi pada seluruh titik temperatur, yang menegaskan bahwa PLA memiliki performa kekuatan tarik terbaik dan sangat responsif terhadap peningkatan temperatur ekstrusi.

Dari pola interaksi yang terlihat, dapat disimpulkan bahwa jenis filamen dan temperatur ekstrusi tidak bekerja secara independen, melainkan saling mempengaruhi. Respon setiap filamen terhadap kenaikan temperatur tidak sama, sehingga untuk memperoleh kekuatan tarik maksimum, tidak cukup hanya mengatur temperatur saja, tetapi juga harus disesuaikan dengan karakteristik masing-masing jenis filamen. Interaksi ini juga menunjukkan bahwa pengaturan parameter proses 3D printing harus dilakukan secara spesifik untuk setiap material agar menghasilkan produk dengan kekuatan tarik yang optimal. Hasil ini menguatkan bahwa pemilihan kombinasi material dan temperatur yang tepat sangat menentukan kualitas hasil cetakan.



Gambar 5. Hasil Uji Tarik

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa variasi jenis filamen berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik (tegangan maksimum) hasil cetakan pada proses 3D printing berbasis teknologi Fused Deposition Modeling (FDM). Dari tiga jenis filamen yang diuji PLA, ABS, dan PETG filamen PLA menunjukkan nilai tegangan maksimum tertinggi pada seluruh variasi temperatur ekstrusi. PLA unggul dalam hal kekuatan tarik karena struktur polimernya yang mendukung pembentukan ikatan antarlapisan yang kuat, meskipun cenderung rapuh terhadap benturan dan tidak tahan suhu tinggi. Sementara itu, ABS dan PETG memiliki kekuatan tarik lebih rendah dibanding PLA, tetapi menawarkan ketahanan yang lebih baik terhadap suhu dan kelembaban, menjadikannya lebih cocok untuk aplikasi fungsional.

Variasi temperatur ekstrusi juga memberikan pengaruh langsung terhadap nilai kekuatan tarik pada semua jenis filamen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu ekstrusi (dalam rentang yang optimal), semakin besar nilai tegangan maksimum yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena suhu yang lebih tinggi menurunkan viskositas material, memperbaiki aliran filamen, dan memperkuat ikatan antar lapisan. Namun, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan cacat cetak seperti stringing atau bahkan degradasi termal. Oleh karena itu, penting untuk menyesuaikan suhu ekstrusi dengan karakteristik masing-masing filamen agar diperoleh hasil cetak yang optimal baik secara struktural maupun visual.

Adapun hasil interaksi antara jenis filamen dan suhu ekstrusi menunjukkan pengaruh simultan terhadap kekuatan tarik hasil cetakan. Setiap jenis filamen memiliki respon yang berbeda terhadap kenaikan temperatur, di mana peningkatan suhu ekstrusi memberikan efek yang paling signifikan pada PETG dan PLA, sedangkan ABS menunjukkan peningkatan yang lebih moderat. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik pada proses FDM tidak hanya dipengaruhi oleh satu faktor tunggal, melainkan hasil kombinasi antara jenis material dan kondisi proses pencetakan. Dengan memahami karakteristik tiap filamen dan responsnya terhadap suhu, pengguna dapat mengoptimalkan pengaturan parameter untuk menghasilkan cetakan yang kuat, presisi, dan sesuai dengan kebutuhan aplikatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada dosen pembimbing Ir. Agus Harijono, M.T. atas bimbingan dan arahannya yang sangat berharga. Terima kasih juga disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang serta semua rekan dan pihak yang terlibat dalam proses penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan menjadi dasar bagi pengembangan penelitian lebih lanjut di bidang material filament 3D printing. /disertasi/makalah konferensi/hasil penelitian.



DAFTAR REFERENSI

- Anis, N., Latib, N. A., Sa'ude, N., Latib, A., & Ude, S. ' N. (2023). Study On the Mechanical Properties of Pla, Abs and Petg Filament Printed by Various Type of Infill Design Using 3d Printing Machine. *RESEARCH PROGRESS IN MECHANICAL AND MANUFACTURING ENGINEERING*, 4(2), 162-167. <https://doi.org/10.30880/rpmme.2023.04.02.020>
- Cahyati, S., & Putra, R. A. (2023). THE EFFECT OF INFILL PATTERN AND DENSITY PARAMETERS ON TENSILE STRENGTH OF POLYMER MATERIALS IN 3D PRINTING. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(3), 753-761. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i3.1005>
- DUMAN, B., & SÜZEN, A. A. (2023). MODELING OF IOT-BASED ADDITIVE MANUFACTURING MACHINE'S DIGITAL TWIN FOR ERROR DETECTION. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(2), 486-497. <https://doi.org/10.21923/jesd.1251972>
- Hadi, A., Kadauw, A., & Zeidler, H. (2023). The effect of printing temperature and moisture on tensile properties of 3D printed glass fiber reinforced nylon 6. *Materials Today: Proceedings*, 91, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.641>
- Markuwat, I. M. A., Wawan Trisnadi Putra, & Yoyok Winardi. (2022). Pengaruh campuran plastik waste ldpe dan pet bermatrik resin polyester terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, 10(1), 51-58. <https://doi.org/10.37373/tekno.v10i1.280>
- Mubarak, M. H., Priharyoto Bayuseno, A., Ismail, R., Soedarto, J. H., & +62247460059, T. (n.d.). PENGARUH SUHU EKSTRUSI TERHADAP DENSITAS DAN LAJU DEGRADASI PADA FILAMEN 3D PRINT BERBAHAN PLA, PCL, DAN HA. In *Jurnal Teknik Mesin S-1* (Vol. 10, Issue 1).
- Noor Ikhsanto, L. (n.d.). ANALISA KEKUATAN BENDING FILAMEN ABS DAN PLA PADA HASIL 3D PRINTER DENGAN VARIASI SUHU NOZZLE. In *Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* (Vol. 21, Issue 1).
- Nugraha, F. K. A., & Wahyujati, B. B. (2022). Optimasi Parameter 3D Printing Menggunakan Material PP Daur Ulang pada Spesimen ASTM 638 D 10 type 1 dengan Response Surface Method. *Jurnal Teknologi*, 82-87. <https://doi.org/10.35134/jitekin.v12i2.78>
- Rajan, K., Samykano, M., Kadirgama, K., Harun, W. S. W., & Rahman, M. M. (2022). Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Vol. 120, Issues 3-4, pp. 1531-1570). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08860-7>
- Elviana, Supardianningsih, & Bayu Pinandoyo, D. (2025). Potensi Limbah Tutup Botol Kemasan sebagai Media 3D Printing Ramah Lingkungan. *Jurnal Sosial Dan Teknologi (SOSTECH)*, 5(5).
- Sundari, F., Naubnome, V., & Kardiman, K. (2022). Pengaruh Arus pada Sambungan Las Terhadap Sifat Mekanik SS304 dengan Media Pendingin Coolant Menggunakan Las MIG. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 18(2), 1. <https://doi.org/10.36499/jim.v18i2.6710>