CC BY

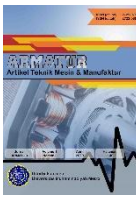
Armatur volume 7 nomor 1 (2026)
ISSN (cetak): 2722-080X, ISSN (online): 2722-0796

Contents list available at Sinta

A R M A T U R

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur



Analisis Pengaruh *Layer Height* dan *Printing Speed* pada Proses FDM Terhadap Kekuatan Mekanik Filamen PETG

Pristiansyah[1*], Luthfi Maulana A[2], Soni Afriansyah[3], Zaldy S Suzen[4]

[1, 3]Prodi Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin, Jurusan Rekayasa Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Kawasan Industri Airkantung, Sungailiat, Bangka.
[2, 4]Prodi Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin, Jurusan Rekayasa Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Kawasan Industri Airkantung, Sungailiat, Bangka.

A R T I C L E I N F O

Keywords:
3D
PETG
Layer height
Printing speed
Impact

A B S T R A C T

The rapid development of manufacturing technology is marked by the emergence of Additive Manufacturing (AM) or 3D Printing technology. This study aims to analyze the effect of layer height and printing speed on the mechanical strength of PETG material using the Fused Deposition Modeling (FDM) method. The printing process was carried out using an Ender 3 Pro 3D printer with process parameter variations of layer height (0.2, 0.3, and 0.4 mm) and printing speed (40, 50, and 60 mm/s) arranged according to the Taguchi L_9 (3^2) experimental design. eSUN PETG filament was selected due to its compatibility with the test requirements. The test specimens were fabricated according to the ASTM E23 standard with dimensions of 55 × 10 × 10 mm for impact strength testing. The results show that printing speed has a more significant influence on mechanical strength compared to layer height. The optimal combination was obtained at a layer height of 0.2 mm and a printing speed of 40 mm/s. Overall, the study highlights the critical role of process parameter optimization in improving the mechanical strength of 3D printed PETG thermoplastic materials.

**Corresponding author*: pristian_pay@yahoo.com
DOI: https://doi.org/10.24127/armatur.v7i1.10583
Received 13 November 2025; Received in revised form 19 November 2025; Accepted 15 Desember 2025
Available online 1 March 2026

Pendahuluan

Teknologi 3D *Printing* ini juga dikenal dengan sebutan *Additive Layer Manufacturing.*Salah satu teknologi 3D Printing yang terkenal adalah Fused Deposition Modelling (FDM) [1]. Salah satu teknologi 3D *Printing* yang terkenal adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM) [2]. Dalam penerapannya, kualitas hasil cetak FDM sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter proses, seperti tinggi lapisan *(layer height)*, kecepatan pencetakan *(printing speed)*, *suhu nozzle*, pola pengisian *(infill pattern)*, dan persentase pengisian *(infill density)* [3].

Kombinasi parameter yang tepat akan menghasilkan produk dengan kekuatan mekanik, akurasi dimensi, serta permukaan yang baik prinsip kerja FDM adalah dengan cara ekstrusi termoplastik melalui *nozzle* pada *melting temperature* selanjutnya produk dicetak lapis perlapis [4]. Salah satu bahan yang paling penting dalam proses pencetakan 3D adalah filamen yang berfungsi sebagai bahan pengisi cetakan. Beberapa filamen yang biasa digunakan dalam pencetakan 3D adalah *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG), dan *Polycarbonate* (PC) [5].

Salah satu material yang banyak digunakan dalam teknologi FDM adalah *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG). Material ini memiliki sifat kekuatan mekanik yang baik, ketahanan terhadap panas dan bahan kimia, serta fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan PLA *(Polylactic Acid)*. Namun, performa PETG juga sangat bergantung pada pengaturan parameter proses selama pencetakan [6]. Akurasi dimensi tinggi yang dicapai oleh printer 3D mendukung peningkatan kualitas hasil cetak [7]. Penggabungan pencetakan 3D dalam desain cetakan dan proses perakitan membantu meminimalkan potensi cacat pada produk akhir [8]. selain itu cetakan yang diproduksi melalui pencetakan 3D menunjukkan keunggulan yang berbeda dibandingkan cetakan tradisional, terutama dalam hal presisi dimensi dan kemampuan untuk dibuat langsung dari file desain CAD [9]. Penelitian mengenai sifat mekanik material PETG yang difabrikasi menggunakan metode *Fused Deposition Modelling* (FDM) lebih banyak menitikberatkan pada sifat mekanik tensile strength, kekasaran permukaan, dan nilai kekerasan material tersebut akan tetapi studi tentang kemampuan material PETG dalam menerima beban kejut masih belum banyak dilakukan [10].

Sering kali ditemui beberapa permasalahan pada hasil cetakan seperti obyek yang terlepas dari permukaan *heatbed* 3D *Printer* dan hasil cetakan melengkung. filamen PETG yang banyak digunakan untuk produk-produk yang memerlukan keunggulan diaspek *food grade product*, ketepatan fabrikasi adalah hal utama yang diperlukan agar geometri produk yang dibuat menggunakan filamen PETG sesuai dengan rancangan desain 3D [11]. Melihat dari penelitian penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *layer height* dan *printing speed* proses FDM terhadap kekuatan mekanik filamen PETG. Sampel uji dibuat berdasarkan standar ASTM E23 [12]. dengan metode pengujian yang digunakan adalah uji impak *charpy (charpy impact test)*. Metode penentuan desain eksperimen menggunakan metode Taguchi dengan parameter yang digunakan adalah *layer height* dan *printing speed*.

Uji impak *Charpy*, atau yang dikenal juga sebagai *Charpy v-notch test*, merupakan metode standar untuk mengukur ketangguhan material terhadap laju regangan tinggi. Pengujian ini menentukan seberapa besar energi yang dapat diserap suatu bahan saat mengalami patahan. Energi tersebut mencerminkan tingkat ketangguhan material dan berkaitan erat dengan suhu transisi dari sifat ulet ke getas. Metode ini umum digunakan di industri-industri yang

menuntut standar keselamatan tinggi, karena proses pengujiannya relatif sederhana, cepat, dan efisien secara biaya [13].

Menurut penelitian yang dilakukan yang berjudul "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Bentur Menggunakan Fiamen *Polycarbonate*". Nilai parameter yang optimum dan parameter yang berpengaruh secara berturut-turut terhadap uji impak yaitu *printing speed* (40mm/s), *infill layer thickness* (0,2mm), *wall thickness* (2,0mm), *print temperature* (250°C), *bed temperature* (250°C), *infill overlap* (30mm), *raft extra margin* (7,5mm), *wall printing speed* (22,5mm/s). Didapat bahwa nilai rata-rata hasil uji impak yang tertinggi berada pada eksperimen 2 nomor dengan nilai 0,031 Joule dan untuk nilai uji impak terendah berada pada eksperimen nomor 7 dengan nilai 0,026 *Joule* [14].

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan berjudul "Peningkatan Kuat benturProduk 3D *Printing Fused Deposition Modeling* menggunakan Filamen *Polypropylene*" dapat menyimpulkan bahwa pengujian kuat bentur terdapat peningkatanpada hasil uji kuat bentur dengan parameter proses yang paling berpengaruh secara berturut-turut yaitu *Print Speed* (35mm/s), *Layer Height* (0,3mm), *Bed Temperature* (97°C) dan *Nozzle Temperature* (215°C) menggunakan filamen *Polypropylene*. Sehingga nilai uji kuat bentur terkuat terdapat pada eksperimen no. 2 dengan nilai rata-rata sebesar 0,03370 *Joule* dan terlemah pada eksperimen no.1 dengan nilai rata-rata sebesar 0,02959 *Joule* [15].

Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan studi eksperimental, bertujuan untuk menganalisi pengaruh *layer height* dan *printing speed* proses FDM terhadap kekuatan mekanik filamen PETG. Pencetakan spesimen dilakukan menggunakan 3D *Printer* tipe Ender 3 Pro, dengan kedua parameter divariasikan pada tiga level melalui rancangan *orthogonal array* Taguchi L_9 (3^2), yaitu menggunakan 2 parameter dan 3 level, seperti yang ditunjukan pada Tabel 1. Spesimen dicetak sebanyak 3 replikasi dari setiap eksperimen yang dilakukan sehingga total spesimen sebanyak 27. Setelah itu baru dilakukan pengujian dari 27 spesimen tersebut.

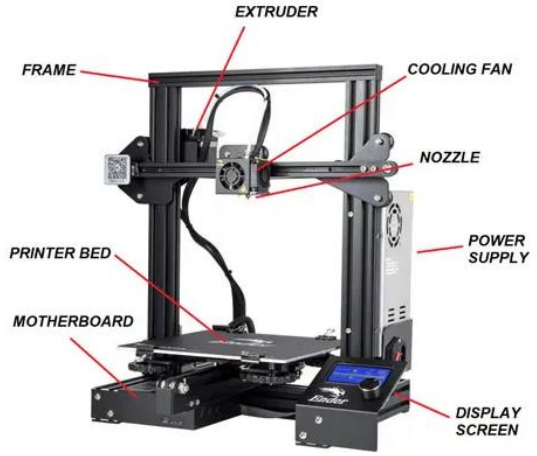
Tabel 1. Desain Faktorial Taguchi L_9

EXP.	*Layer Height*	*Printing Speed*
1.	0,2	40
2.	0,2	50
3.	0,2	60
4.	0,3	40
5.	0,3	50
6.	0,3	60
7.	0,4	40
8.	0,4	50
9.	0,4	60

Tabel 1 menunjukkan rancangan percobaan menggunakan matriks ortogonal L_9 (3^2) yang disusun berdasarkan metode Taguchi. Rancangan ini digunakan untuk mengoptimalkan dua faktor utama dalam proses pencetakan 3D, yaitu *layer height* dan *printing speed*, yang masing-masing memiliki tiga level. Setiap kolom pada tabel merepresentasikan faktor penelitian, sedangkan setiap baris menunjukkan kombinasi perlakuan yang akan diuji dalam eksperimen. Metode Taguchi yang digunakan pada penelitian ini menerapkan konsep *"Larger is better"***.**

Mesin 3D *Printer*

Penelitian ini memanfaatkan mesin 3D *Printer* tipe Ender 3 Pro berbasis teknologi FDM untuk mencetak spesimen dari filamen PETG. Parameter proses yang divariasikan mencakup *layer height* dan *printing speed, layer height* dengan kisaran 0,2-0,4 mm dan *printing speed* dengan kisaran 40-60 mm/s. Tujuan utama eksperimen ini adalah menganalisis pengaruh variasi kedua parameter tersebut terhadap kekuatan mekanik ditunjukan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin 3D *Printer* Tipe Ender 3 Pro

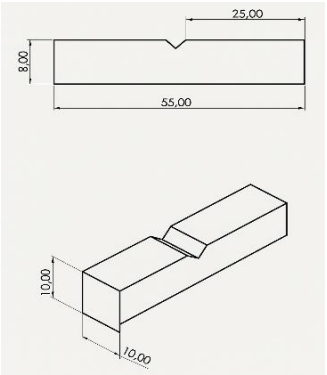
Filamen yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan adalah filamen PETG *(Polyethylene Terephthalate Glycol)* merek dagang eSUN yang diproduksi oleh Shenzhen Esun Industrial Co., Ltd. (singkat: eSUN). Spesifikasi filamen PETG untuk pencetakan 3D yang direkomendasikan oleh produsen tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Filamen

Filamen Diameter	1,75 mm
Print Temeprature	220°C - 260°C
Print Bed Temperature	60°C - 80°C
Tensile Strength	40 - 60 MPa
Net Weight	1 kg/roll
Infill Speed	30 mm/s -60 mm/s

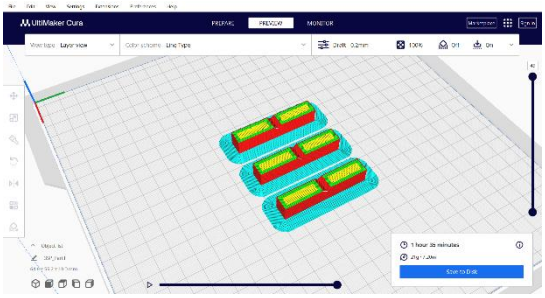
Spesimen

Pada penelitian ini menggunakan specimen dengan standar ASTM E23 yang dibuat dengan *software solidworks* desain ditunjukan pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Spesimen ASTM E23

Gambar 3. menunjukkan desain spesimen menggunakan perangkat lunak *slicer* CURA. Bentuknya balok persegi Panjang dengan ukuran 55mm x 10mm x 10mm.



Gambar 3. Desain 3D Software Slicer Cura

Parameter

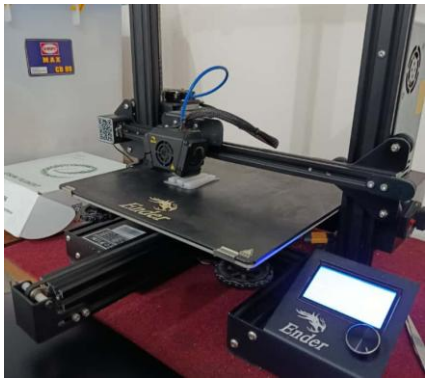
Untuk menentukan kombinasi parameter proses yang menghasilkan kekuatan mekanik terbaik pada spesimen PETG hasil cetak 3D. Proses ini penting karena setiap parameter, seperti *printing speed, layer height, wall thicknees*. maupun *nozzle temperature*, memiliki peran yang berbeda terhadap hasil akhir. Dengan menetapkan parameter secara jelas di awal, pemilihan parameter yang tepat sangat penting untuk memperoleh hasil cetak 3D dengan performa kekuatan mekanik ditunjukan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter dan Level

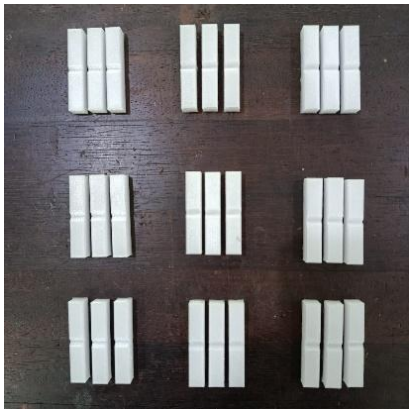
Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
1.	*Layer Height* (mm)	0.2	0.3	0.4
2.	*Printing Speed* (mm/s)	40	50	60

Proses Pencetakan

Gambar 4 menunjukkan proses pencetakan menggunakan mesin 3d *printer* ender 3 pro dengan metode FDM, spesimen berbentuk balok persegi disusun berbanjar supaya mempercepat proses pencetakan.



Gambar 4. Proses Pencetakan Spesimen


Gambar 5. Hasil Spesimen

Pengujian Impak

Setelah melakukan pencetakan specimen maka selanjutnya akan dilakukan pengujian impak dengan alat uji impak dengan menggunkan metode *Charpy V-notch test*, yaitu pengujian ketangguhan material dengan cara menumbuk spesimen yang memiliki takikan berbentuk huruf "V" menggunakan bandul ayun (pendulum). Energi yang diserap oleh spesimen saat patah akan terbaca pada skala sudut energi (satuan *Joule*) yang terdapat dibagian depan mesin ditunjukan pada Gambar 6.

Gambar 6. Pengujian Impak

Hasil dan Pembahasan

Setelah spesimen selesai dicetak, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan teoritis menggunakan rumus energi impak. Rumus ini digunakan untuk menentukan jumlah energi yang diserap oleh suatu material selama terjadi benturan atau tumbukan. Energi impak merepresentasikan ketangguhan material, yaitu kemampuan material untuk menyerap energi tanpa mengalami patah atau kegagalan. Salah satu metode yang paling umum digunakan dalam pengujian impak adalah uji *Charpy*.

Rumus Perhitungan

$$E = mgr\,(\cos\beta - \cos\alpha) \qquad (1)$$

E = Energi impak (*Joule*, J)
m = Massa bandul (2,5 kg)
g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
r = Panjang lengan (m)
α = Sudut awal (°)
β = Sudut akhir (°)

Jika diperlukan menghitung kekuatan impak *(impact strength)*, maka digunakan rumus:

$$A = p \times l \qquad (2)$$

$$A = 55\ mm \times 10\ mm$$
$$A = 550\ mm^2$$

$$HI = \frac{E}{A} \qquad (3)$$

Perhitungan Rata-Rata Replikasi 1, 2 dan 3, yaitu:

$$\frac{Replikasi\ 1 + repliasi\ 2 + Replikasi\ 3}{3}$$

Hasil Perhitungan

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya energi yang diserap oleh setiap spesimen pada saat menerima beban bentur dari bandul uji. Setiap replikasi dari spesimen yang dicetak berdasarkan

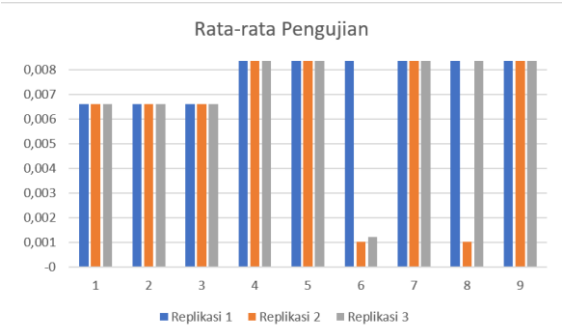
kombinasi parameter dan level pada Tabel 1, replikasi diuji sebanyak tiga kali (R1, R2, R3), kemudian hasilnya dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai energi impak yang representatif ditunjukan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Pengujian

No Exp	R1	R2	R3	Rata-Rata MPa
1.	0,00659	0,00659	0,00659	0,00659
2.	0,00659	0,00659	0,00659	0,00659
3.	0,00659	0,00659	0,00659	0,00659
4.	0,00834	0,00834	0,00834	0,00834
5.	0,00834	0,00834	0,00834	0,00834
6.	0,00834	0,00101	0,00120	0,00351
7.	0,00834	0,00834	0,00834	0,00834
8.	0,00834	0,00101	0,00834	0,00589
9.	0,00834	0,00834	0,00834	0,00834

Grafik Hasil Perhitungan

Grafik pada Gambar 7 menunjukkan hasil perhitungan rata-rata percobaan ke-1 hingga ke-9. Nilai hasil pengukuran didominasi pada nilai 0,00834 *joule* percobaan ke-4, ke-5, ke-7 dan ke 9 kemudian untuk nilai 0,00659 *joule* pada percobaan ke-1, ke-2 dan ke 3, sedangkan pada percobaan ke-6, dan ke-8 terlihat penurunan dengan nilai 0,00351 *joule* dan 0,00589 *joule*, grafik ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Rata-Rata Perhitungan

Analisa Pengujian

Pada hasil analisis *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* menggunakan metode Taguchi dengan kriteria *"Larger is Better"*, yang digunakan untuk menentukan faktor proses paling berpengaruh terhadap hasil uji impak. Nilai *S/N Ratio* merepresentasikan kestabilan dan konsistensi hasil pengujian, di mana semakin besar nilainya berarti performa material semakin baik dalam menyerap energi benturan. Berdasarkan tabel tersebut, faktor printing speed memiliki nilai *delta* sebesar 5,31, sedangkan *layer height* memiliki nilai *delta* sebesar 3,26. Hal ini menunjukkan bahwa *printing speed* memberikan pengaruh yang lebih dominan terhadap hasil pengujian dibandingkan *layer height*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

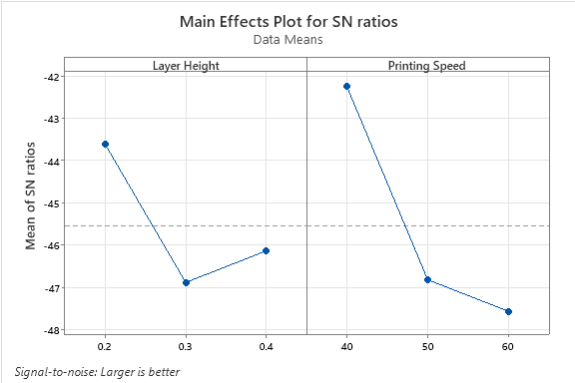
Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Layer Height	Printing Speed
1	-43,62	-42,26
2	-46,89	-46,82
3	-46,14	-47,57
Delta	3,26	5,31
Rank	2	1

Gambar 8. *Response For S/N*

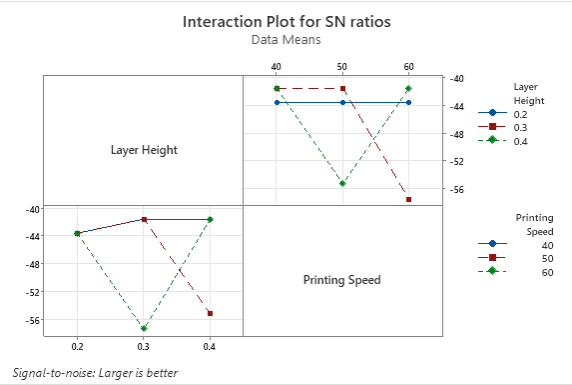
Dalam Analisis yang dilakukan menggunakan *software statistic*, hasil analisis ditunjukan pada grafik gambar yang menampilkan nilai optimal pada hasil yang analisis. Nilai yang diperoleh yaitu *layer height* 0,2 mm sedangkan *printing speed* 40 mm/s ditunjukan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik *Main Effects plot For Ratios*

Pada grafik plot interaksi *Signal to Noise (S/N) ratio* yang menggambarkan hubungan antara parameter *layer height* dan

printing speed terhadap nilai kekuatan impak spesimen PETG. Berdasarkan grafik, terlihat bahwa setiap perubahan level pada kedua parameter menghasilkan perbedaan nilai *S/N ratio* yang cukup signifikan. Garis-garis yang saling berpotongan menunjukkan adanya interaksi antara *layer height* dan *printing speed*, yang berarti perubahan salah satu parameter akan mempengaruhi efek parameter lainnya terhadap hasil uji impak. Nilai *S/N ratio* tertinggi terlihat pada kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *printing speed* 40 mm/s, yang menunjukkan kondisi optimal dengan kemampuan material menyerap energi benturan paling besar. Sebaliknya, kombinasi *layer height* 0,4 mm dan *printing speed* 60 mm/s menghasilkan nilai *S/N ratio* terendah, menandakan ketangguhan material paling rendah. Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa *printing speed* memiliki pengaruh dominan terhadap performa impak dibandingkan *layer height*, serta menunjukkan pentingnya pemilihan parameter proses yang tepat dalam meningkatkan kekuatan mekanik hasil cetak FDM ditunjukan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik *Interaction Plot For S/N*

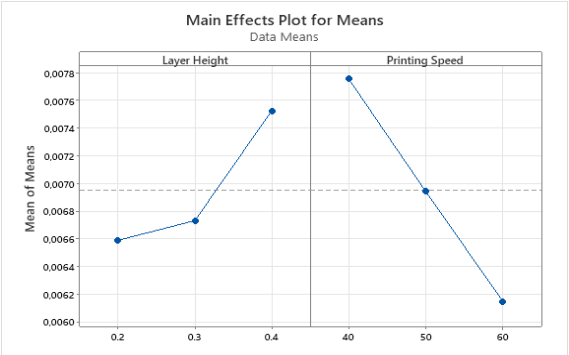
Hasil analisis *Response Table for Means* yang digunakan untuk mengetahui pengaruh rata-rata masing-masing faktor proses terhadap hasil uji impak. Faktor yang diuji adalah *layer height* dan *printing speed*, masing-masing dengan tiga level variasi. Nilai rata-rata menunjukkan respon atau hasil energi impak pada setiap level parameter. Berdasarkan tabel, nilai *delta* untuk *printing speed* sebesar 0,001608**,** sedangkan untuk *layer height* sebesar 0,000936. Nilai *delta* menunjukkan besarnya perubahan atau pengaruh dari masing-masing faktor terhadap respon yang dihasilkan. Semakin besar nilai *delta*, semakin besar pula pengaruh faktor tersebut. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa *printing speed* memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap nilai energi impak dibandingkan *layer height*, sebagaimana ditunjukkan oleh urutan peringkat dikolom *rank*, dimana *printing speed* menempati peringkat pertama (*rank* 1) dan *layer height* berada pada peringkat kedua (*rank* 2) yang ditunjukan pada Gambar 11.

Response Table for Means

Level	Layer Height	Printing Speed
1	0,006590	0,007757
2	0,006732	0,006942
3	0,007526	0,006149
Delta	0,000936	0,001608
Rank	2	1

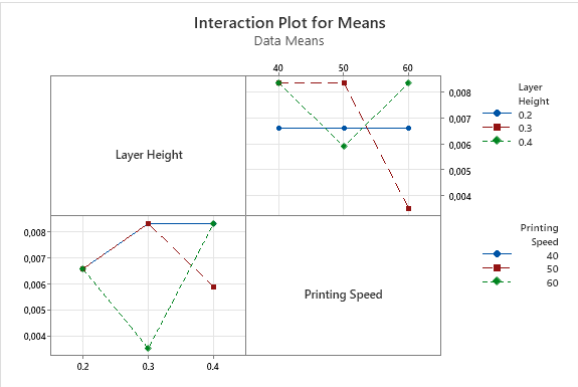
Gambar 11. *Response Table For Means*

Grafik *Main Effects Plot for Means* menunjukkan bahwa *layer height* mengalami peningkatan dari 0,2 mm ke 0,4 mm hal ini menunjukan seberapa pengaruh *layer height* terhadap kekuatan mekanik sedangkan printing speed tetap stabil di 40 mm/s. Dengan itu nilai optimal *layer height* 0,4 mm dan *printing speed* 40 mm/s yang ditunjukan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik *Main Effects Plot For Mean*

Pada gambar 12. Grafik plot interaksi untuk nilai rata-rata *(Means)* yang menggambarkan hubungan antara *layer height* dan *printing speed* terhadap hasil uji impak spesimen PETG. Dari grafik terlihat bahwa perubahan pada kedua parameter menghasilkan variasi nilai energi impak yang berbeda. Garis-garis yang berpotongan menandakan adanya interaksi antara *layer height* dan *printing speed*, dimana efek salah satu parameter dipengaruhi oleh perubahan parameter lainnya. Nilai rata-rata energi impak tertinggi diperoleh pada kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *printing speed* 40 mm/s, yang menunjukkan kondisi optimum dengan kemampuan material menyerap energi benturan paling besar. Sebaliknya, nilai terendah terdapat pada kombinasi *layer height* 0,3 mm dan *printing speed* 60 mm/s, yang menandakan kekuatan impak paling rendah. Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa *printing speed* memiliki pengaruh lebih dominan terhadap hasil uji impak dibandingkan *layer height*, serta menunjukkan pentingnya pengaturan parameter proses yang tepat untuk memperoleh hasil cetak FDM dengan kekuatan mekanik terbaik ditunjukan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik *Interaction Plot For Means*

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan, bahwa faktor *printing speed* memiliki pengaruh paling dominan terhadap kekuatan impak spesimen PETG dibandingkan dengan *layer height*. Nilai *Signal to Noise Ratio (S/N)* menunjukkan bahwa semakin besar nilainya, semakin baik kemampuan material dalam menyerap energi benturan. Kombinasi optimal yang menghasilkan nilai impak tertinggi adalah *layer height* 0,2 mm dan *printing speed* 40 mm/s, yang menunjukkan kondisi paling ideal untuk kekuatan mekanik hasil cetak FDM. Hasil analisis tabel rata-rata (*Response Table for Means*) juga menegaskan bahwa *printing speed* memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan *layer height*. Secara keseluruhan, pemilihan parameter proses yang tepat, khususnya pada kecepatan pencetakan, sangat penting untuk meningkatkan performa mekanik material PETG yang dicetak menggunakan metode FDM

Ucapan terimakasih (jika diperlukan)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih disampaikan kepada Dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga. Penulis juga berterima kasih kepada Kepala laboratorium dan pihak institusi yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Referensi

[1] M. Bembenek, Ł. Kowalski and A. Kosoń-Schab, "Research on the Influence of Processing Parameters on the Specific Tensile Strength of FDM Additive Manufactured PET-G and PLA Materials," *Polymers,* vol. 14, no. 12, p. 2446, 2022. doi: 10.3390/polym14122446

[2] H. Essabir, H. Bensalah, D. Rodrigue, R. Bouhfid and A. Qaiss, "Effect of Printing Parameters on the Thermal and Mechanical Properties of 3D-Printed PLA and PETG, Using Fused Deposition Modeling (FDM)," *Polymers,* vol. 13, no. 11, p. 1758, 2021. doi: 10.3390/polym13111758

[3] S. Guessasma, S. Belhabib and H. Nouri, "Printability and Tensile Performance of 3D Printed Polyethylene Terephthalate Glycol Using Fused Deposition Modelling," *Polymers,* vol. 11, no. 7, p. 1220, 2019. **doi:** 10.3390/polym11071220

[4] D. V. Iacob, D. G. Zisopol and M. Minescu, "Study on the Optimization of FDM Parameters for the Manufacture of Three-Point Bending Specimens from PETG and Recycled PETG in the Context of the Transition to the Circular Economy," *Polymers,* vol. 17, no. 12, p. 1645, 2025. doi: 10.3390/polym17121645

[5] K. Dakhil Jasym, "Experimental Investigation on Mechanical Behaviour and Parameters of FDM Printed Carbon Fibre Reinforced PET-G and PET-G," *International Journal of Engineering and Technology (UAE),* vol. 8, no. 3, p. 295–301, 2019. doi: 10.14419/ijet.v8i3.27327

[6] D.-C. Chen, Q.-D. Zheng and C.-H. Chen, "Optimization of Tensile Strength and Cost-Effectiveness of Polyethylene Terephthalate Glycol in Fused Deposition Modeling Using the Taguchi Method and Analysis of Variance," *Polymers,* vol. 16, no. 22, p. 3133, 2024. doi: 10.3390/polym16223133

[7] S. Zakaria, R. Stighfarrinata and M. M., "Optimasi Parameter Proses 3d Printing Terhadap Kuat Tarik Filament Petg Menggunakan Metode Taguchi," *JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri),* vol. 3, no. 4, pp. -, 2022. doi: 10.30587/justicb.v3i4.6150

[8] M.-H. Hsueh, C.-J. Lai, S.-H. Wang, Y.-S. Zhang, C.-H. Huang, C.-Y. Pan and W.-C. Hsu, "Effect of Printing Parameters on the Thermal and Mechanical Properties of 3D-Printed PLA and PETG, Using Fused Deposition Modeling (FDM)," *Polymers,* vol. 13, no. 11, p. 1758, 2021. doi: 10.3390/polym13111758

[9] I. A. Wahyudie, P. Pristiansyah and R. Rosa, "Pengaruh Parameter Proses pada Pencetakan 3D Printing terhadap Transparansi Filamen PETG Menggunakan Metode Taguchi," *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin,* vol. 9, no. 1, pp. -, 2024. doi: 10.33504/jitt.v3i1.305

[10] W. Wahyudi, Z. S. Suzen and P. Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses Pencetakan 3D Printing Terhadap Kebulatan Produk Menggunakan Filament PETG," *Jurnal Inovasi*

Teknologi Terapan, vol. 3, no. 1, p. 207–213, 2025. doi: 10.32528/jp.v9i1.1695

[11] Z. A. Çevik, "The Effect Of Fdm Process Parameters On The Machinability Of Pet-G Material: Delamination Analysis Using The Taguchi Approach," *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry,* vol. 9, no. 2, p. 310–319, 2025. doi: 10.46519/ij3dptdi.1704399

[12] D. V. Iacob, D. G. Zisopol and M. Minescu, "Study on the Optimization of FDM Parameters for the Manufacture of Three-Point Bending Specimens from PETG and Recycled PETG in the Context of the Transition to the," *Polymers,* vol. 17, no. 12, p. 1645, 2025. doi: 10.3390/polym17121645

[13] H. T. &. T. M. Toshiro Kobayashi, "Analysis of test data obstained from charpy V and impact tensile test," European Structural Integrity Sosiety, vol. 30, no. 1, pp. 173-180, 2002. doi: 10.1016/s1566-1369(02)80018-8.

[14] M. Rivaldi, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Bentur Menggunakan Fiamen Polycarbonate," Jurnal Inovasi Teknologi Terapan, vol. 1, no. -, pp. 223-230, 2023. doi: 10.33504/jitt.v1i1.93

[15] W. Sawitri, "Peningkatan Kuat benturProduk 3D Printing FusedDeposition Modeling menggunakanFilamen Polypropylene," Jurnal Inovasi Teknologi Terapan, vol. 2, no. -, pp. 130-136, 2024. doi: 10.33504/jitt.v2i1.148