

Analisis Pengaruh *Nozzle Temperature* dan *Wall Thickness* pada Proses FDM Terhadap Kekuatan Mekanik *Filamen PETG*

Luthfi Maulana A¹, Zaldy S Suzen¹, Pristiansyah^{1*}

¹ Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail: pristian_pay@yahoo.com

Received 3 Desember 2025; Received in revised form 21 Desember 2025; Accepted 22 Desember 2025

Abstract

3D printing has rapidly developed as part of additive manufacturing, with Fused Deposition Modeling (FDM) being widely used due to its low cost and ease of operation. PETG is a popular FDM material because of its good mechanical properties and temperature resistance. However, print quality is strongly influenced by process parameters. This study evaluates the effect of FDM parameters on the impact strength of PETG and determines the optimal settings. The investigated parameters were Nozzle Temperature and Wall Thickness, each tested at three levels. The experiments were designed using the Taguchi method with an L9 orthogonal array, producing nine sample combinations. Specimens were printed using a Haltech H-01 3D printer and tested with the Charpy impact method on a GOTECH GT-7045 machine. Data were analyzed using the Signal-to-Noise Ratio with the "Larger is Better" criterion. Results show that Nozzle Temperature has a more significant effect on impact strength than Wall Thickness, indicated by a higher Delta value and greater variation in mean response. The optimal parameters were a 250°C Nozzle Temperature and 2.5 mm Wall Thickness, providing the best mechanical performance and consistency.

Keywords: 3D Printing; FDM; PETG; Taguchi; Impact.

Abstrak

Teknologi 3D Printing berkembang pesat dalam manufaktur aditif, dengan metode Fused Deposition Modeling (FDM) paling banyak digunakan karena biaya rendah dan mudah dioperasikan. PETG menjadi material populer karena memiliki sifat mekanik yang baik dan tahan suhu tinggi. Namun, kualitas cetak sangat dipengaruhi oleh parameter proses. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh parameter FDM terhadap kekuatan impak PETG serta menentukan kombinasi optimum. Parameter yang diuji adalah Nozzle Temperature dan Wall Thickness, masing-masing pada tiga level. Metode Taguchi dengan matriks ortogonal L9 digunakan untuk menghasilkan 9 kombinasi percobaan. Spesimen dicetak menggunakan printer Haltech H-01 dan diuji dengan metode Charpy menggunakan GOTECH GT-7045. Analisis data dilakukan dengan pendekatan Signal-to-Noise Ratio karakteristik "Larger is Better". Hasil menunjukkan bahwa Nozzle Temperature memiliki pengaruh paling signifikan dibandingkan Wall Thickness. Kombinasi optimal diperoleh pada suhu 250°C dan ketebalan dinding 2,5 mm, yang menghasilkan kualitas cetak terbaik dan performa impak paling konsisten.

Kata kunci: 3D Printing; FDM; PETG; Taguchi; Impak.

1. PENDAHULUAN

Teknologi 3D Printing ini juga dikenal dengan sebutan Additive Layer Manufacturing [1]. 3D printing adalah teknologi yang dapat menciptakan objek fisik tiga dimensi yang dilakukan secara bertahap (lapisan per lapisan) dengan pemodelan desain menggunakan komputer (CAD) [2]. Selain itu, 3D printing juga dapat diartikan sebagai proses pembuatan benda tiga dimensi yang didesain atau dirancang menggunakan komputer (CAD) dan cara pengaplikasiannya

menggunakan mesin 3D printing yang proses pembentukannya secara bertahap (layer by layer) [3].

Salah satu teknologi 3D Printing yang terkenal adalah Fused Deposition Modelling (FDM). Prinsip kerja FDM adalah dengan cara ekstrusi material termoplastik melalui nozzle pada melting temperature selanjutnya produk dicetak lapis per lapis [4]. Kombinasi parameter yang tepat akan menghasilkan produk dengan kekuatan mekanik, akurasi dimensi, serta permukaan yang baik. 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) [5].

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 salah satunya adalah filamen *Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)* [6]. *PETG* adalah salah satu polimer yang paling umum digunakan saat ini adalah versi PET dengan modifikasi glikol ditambahkan ke komposisi bahan selama polimerisasi. Filament *PETG* adalah senyawa plastik yang satu keluarga dengan PET (*Polyethylene terephthalate*). Memiliki penggabungan keunggulan dari senyawa plastik ABS dan PLA, dengan warna bening/transparan dan mengkilat [7].

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 [8]. Sering kali ditemui beberapa permasalahan pada hasil cetakan seperti obyek yang terlepas dari permukaan heatbed 3D Printer dan hasil cetakan melengkung. Filamen *PETG* banyak digunakan untuk produk-produk yang memerlukan keunggulan pada aspek produk food grade, ketepatan fabrikasi adalah hal utama yang diperlukan agar geometri produk yang dibuat menggunakan filamen *PETG* sesuai dengan rancangan desain 3D [9].

Pengujian impak Charpy (juga dikenal sebagai uji Charpy v-notch) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas. [10]. Pada penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh Nozzle temperature dan Wall Thickness proses FDM terhadap kekuatan mekanik filamen *PETG*. Sampel uji dibuat berdasarkan standar ASTM E23 yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statistic dengan metode taguchi [11].

Metode Taguchi menurut merupakan suatu metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi bertujuan untuk mencapai suatu sasaran tersebut dengan menjadikan produk atau proses yang tidak sensitif dengan berbagai faktor seperti material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Metode Taguchi juga menghasilkan faktor yang mengenai respon yang optimal [12].

Berdasarkan penelitian terdahulu berjudul Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Bentur Menggunakan Filamen Polycarbonate, diperoleh bahwa beberapa parameter proses memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai uji impak. Secara berurutan, parameter yang paling menentukan adalah kecepatan cetak 40 mm/s, ketebalan infill 0,2 mm, ketebalan dinding 2,0 mm, suhu nozzle 250°C, suhu bed 250°C, infill overlap 30 mm, tambahan margin raft 7,5 mm, serta kecepatan pencetakan dinding 22,5 mm/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa percobaan nomor 2 menghasilkan nilai impak tertinggi sebesar 0,031 Joule, sedangkan nilai terendah diperoleh pada percobaan nomor 7 dengan nilai 0,026 Joule [13].

Menurut penelitian lain yang berjudul Peningkatan Kuat Bentur Produk 3D Printing Fused Deposition Modeling menggunakan Filamen Polypropylene, dapat disimpulkan bahwa nilai ketangguhan bentur meningkat seiring pengaturan parameter proses yang tepat. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar secara berurutan adalah kecepatan cetak sebesar 35 mm/s, tinggi layer 0,3 mm, suhu bed 97°C, dan suhu nozzle 215°C. Kombinasi parameter tersebut menghasilkan nilai kuat bentur tertinggi pada percobaan nomor 2, dengan rata-rata 0,03370 Joule. Sementara itu, nilai terendah berada pada percobaan nomor 1 dengan rata-rata 0,02959 Joule [14].

Dalam penelitian yang berjudul "Parameter Optimal Pencetakan 3D PLA+ Pengujian Impak Charpy: Metodologi Permukaan Respons.", hasil yang ditemukan bahwa peningkatan densitas pengisi memiliki efek signifikan dalam meningkatkan kekuatan mekanik komponen yang dicetak, meskipun dengan peningkatan penggunaan material dan waktu pencetakan. Hasil eksperimen lebih lanjut menunjukkan bahwa ketika densitas pengisi melebihi 50%, kecepatan

pencetakan dapat ditingkatkan hingga 100 mm/s tanpa penurunan kekuatan yang signifikan. Selain itu, pola pengisi tertentu—khususnya konfigurasi kubik—menunjukkan kinerja kekuatan yang lebih unggul dibandingkan dengan geometri pengisi lainnya [15].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai optimum dari parameter proses 3d printing terhadap kuat bentur dengan menggunakan filamen PETG, penelitian ini untuk mengetahui pengaruh parameter proses 3D Printing yang digunakan terhadap kuat bentur. Dalam penelitian ini parameter yang digunakan adalah nozzle temperature dan wall thickness yang telah diidentifikasi dalam penelitian sebelumnya sebagai faktor penting untuk mencapai hasil nilai optimum dan pengaruh parameter terhadap kuat bentur.

2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah dalam penelitian ini diawali dengan menyiapkan alat dan bahan yang akan diperlukan selama penelitian contohnya seperti software slicing yang bisa diproses oleh mesin FDM, setelah itu dilanjutkan dengan menentukan faktor dan level penelitian, dan membuat sampel. Setelah semua proses sudah selesai maka Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian kuat bentur hasil cetakan menggunakan alat uji impak charpy.

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk mencetak spesimen dalam penelitian ini yaitu Mesin 3D Printing Model Haltech H-01 Cartesian pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin 3D Printing Haltech H-01 Cartesian

Material yang dipakai untuk proses pencetakan yaitu material PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)

Setelah melakukan proses pencetakan maka selanjutnya akan dilakukan pengujian kuat

bentur dengan memanfaatkan alat uji impak Gotech model GT-7045 Gambar 3.

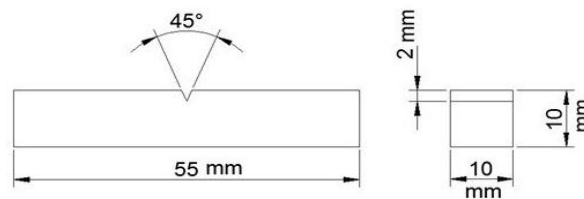


Gambar 3. Alat Uji Impak

2.2 Desain Spesimen

Sampel bahan penelitian di desain menggunakan software solidwork yang

disimpan dalam format STL. Gambar produk ditunjukkan dengan Gambar 4.



Gambar 4. Desain Spesimen

2.3 Menentukan faktor dan level Penentuan

Pemilihan parameter proses dipengaruhi oleh metode yang digunakan, yang

melibatkan faktor-faktor dan eksperimen, parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah Nozzle Temperature (°C) dan Wall Thickness (mm) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Proses

Faktor	Parameter	Level		
		1	2	3
1.	Nozzle Temperature (°C)	240	245	250
2.	Wall Thickness (mm)	2.0	2.5	3.0

Tabel 1 menunjukkan parameter yang didapatkan berdasarkan penelitian terdahulu. Desain eksperimen dengan matriks faktor dan level eksperimen diterangkan Faktor dan level

eksperimen menggunakan metode taguchi dengan matrik orthogonal L_9 (3^2) ditunjukkan pada Tabel 2.

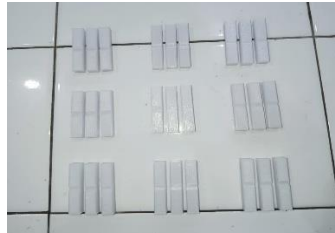
Tabel 2. Desain Faktorial Penelitian L_9

EXP.	Nozzle Temperature	Wall Thickness
1.	240	2.0
2.	240	2.5
3.	240	3.0
4.	245	2.0
5.	245	2.5
6.	245	3.0
7.	250	2.0
8.	250	2.5
9.	250	3.0

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mencetak dan mereplikasi

sebanyak 3 kali dapat dilihat pada Gambar 5 sehingga spesimen yang dicetak sebanyak 27 spesimen.



Gambar 5. Spesimen

3.1 Hasil Pengujian Kuat Bentur

Spesimen yang telah dicetak kemudian di uji dengan alat uji impact menggunakan metode charpy ditunjukkan pada Gambar 6.

hasil pengujian akan dibagikan dengan luas penampang dibawah takikan spesimen uji. Rumus yang digunakan dalam perhitungan harga impact yaitu:



Gambar 6. Pengujian Impact

$$E = m \cdot g \cdot r (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (1)$$

Ket:

- E = Energi Impact (J)
- m = Berat Pendulum (Kg)
- g = Gravitasi 9,81 m/s²
- r = Jarak Lengan Pengayun (m)
- cos α = Sudut Awal Pendulum
- cos β = Sudut Akhir Pendulum

$$HI = \frac{E}{A} \text{ (Joule/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

Ket:

- HI = Nilai Impact (J/ mm²)
 - E = Energi Impact (J)
 - A = Luas Penampang (mm²)
- Setelah melakukan perhitungan menggunakan rumus, didapatkan hasil nilai pengujian impact ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan Uji Kuat Bentur

Exp	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata
1.	0,00101	0,00101	0,00101	0,00101
2.	0,00834	0,00834	0,00834	0,00834
3.	0,00659	0,00659	0,00659	0,00659
4.	0,00101	0,00101	0,00101	0,00101
5.	0,00101	0,00101	0,00101	0,00101
6.	0,00101	0,00101	0,00101	0,00101
7.	0,00834	0,00834	0,00834	0,00834
8.	0,00834	0,00834	0,00834	0,00834
9.	0,00834	0,00834	0,00834	0,00834

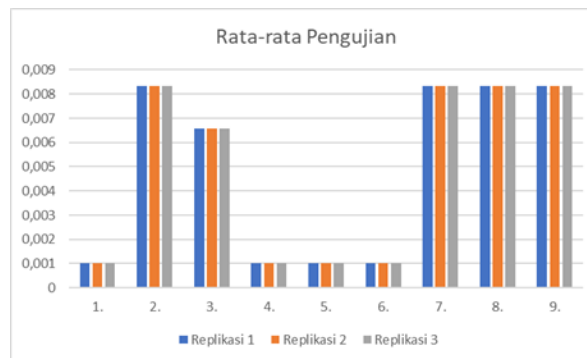
Berdasarkan hasil rata-rata uji kuat bentur dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil yang didapatkan berbeda dengan nilai rata-rata. Tabel menampilkan data hasil uji kuat bentur dari 9 percobaan (Exp 1–9) yang masing-masing dilakukan dalam tiga kali replikasi.

Nilai kuat bentur setiap replikasi dicantumkan dalam satuan Joule, kemudian dihitung nilai rata-rata pada kolom terakhir. Secara umum, terlihat bahwa sebagian besar percobaan menghasilkan nilai kuat bentur yang relatif konsisten, yaitu berada di kisaran 0,00834

Joule dan 0,00659 Joule. Beberapa percobaan seperti percobaan nomor 1, 4, 5, 6 menunjukkan nilai rata-rata sedikit berbeda, yakni 0,00101 Joule, yang menandakan adanya variasi kecil akibat kombinasi parameter proses tertentu.

Grafik “Rata-rata Pengujian” menunjukkan nilai rata-rata kekuatan dampak dari sembilan kombinasi percobaan yang dilakukan, masing-masing dengan tiga replikasi. Secara umum terlihat bahwa terdapat variasi yang cukup signifikan antar kombinasi parameter proses FDM yang digunakan. Percobaan ke-2, ke-7, ke-8, dan ke-9 menghasilkan nilai rata-rata paling tinggi, yang mengindikasikan bahwa kombinasi parameter pada percobaan tersebut mampu meningkatkan kualitas sifat mekanik material PETG. Sementara itu,

percobaan ke-1, ke-4, dan ke-5 menunjukkan nilai rata-rata yang paling rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa kombinasi parameter pada percobaan tersebut kurang optimal dalam menghasilkan kekuatan dampak. Selain itu, kestabilan antar replikasi pada setiap percobaan terlihat cukup konsisten, dibuktikan dengan nilai tiga replikasi yang hampir berdekatan. Hal ini menunjukkan bahwa proses pencetakan berjalan dengan baik dan variabilitas antar sampel relatif rendah ditunjukkan pada Gambar 5. Secara keseluruhan, grafik ini memberikan gambaran awal mengenai pengaruh variasi parameter terhadap performa material sebelum dianalisis lebih lanjut dengan metode Taguchi melalui pengolahan data mean dan Signal-to-Noise Ratio.



Gambar 5. Grafik Hasil Rata-rata Pengujian

3.2 Pengolahan Data Hasil

Setelah melakukan pengolahan data hasil pengujian maka didapatkan parameter proses yang sangat berpengaruh terhadap uji kuat bentur menggunakan metode taguchi. Proses pengolahan data ini menggunakan perangkat lunak statistik, dimana hasil data pengujian pada Tabel 2 tersebut dianalisis menggunakan minitab untuk mencapai hasil

Mean Plot dan SN Ratio dengan kualitas “Larger is Better” yaitu semakin besar semakin baik.

3.2.1 Analisa Signal to Noise Ratios

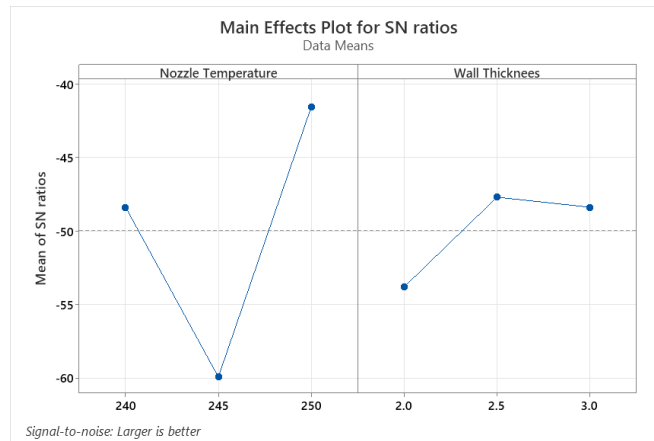
Berikut hasil Analyze Taguchi Design sehingga menampilkan hasil SN Ratio kuat bentur. hasil ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Response Table for Signal to Noise Ratios

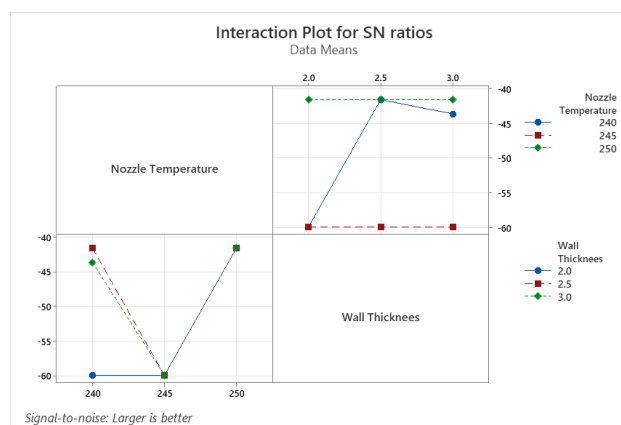
Larger is better

	Nozzle	Wall
Level Temperature Thicknees		
1	-48,37	-53,80
2	-59,91	-47,69
3	-41,58	-48,37
Delta	18,34	6,11
Rank	1	2

Gambar 7. Response Tabel for SN



Gambar 8. Grafik Main Effects Plot for SN



Gambar 9. Grafik Interaction Plot for SN

Berdasarkan tabel respon Signal-to-Noise (SN) pada Gambar 7 menunjukkan dengan kriteria Larger is Better, terlihat bahwa parameter Nozzle Temperature memiliki pengaruh yang paling dominan terhadap hasil respon, ditunjukkan dengan nilai Delta sebesar 18,34 yang menempati peringkat pertama. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan pada temperatur nozzle memberikan variasi yang signifikan terhadap kualitas respon produk. Level terbaik untuk parameter nozzle temperature terdapat pada level 3 dengan nilai SN tertinggi yaitu -41,58, sehingga kondisi ini mampu meminimalkan variabilitas dan menghasilkan performa terbaik. Sementara itu, parameter Wall Thickness memiliki pengaruh lebih rendah dengan nilai Delta 6,11 dan berada pada peringkat kedua. Level terbaik untuk wall thickness adalah level 2 dengan nilai SN -47,69. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa untuk mencapai kualitas hasil cetak yang optimal, fokus utama pengendalian parameter proses harus diarahkan pada pemilihan temperatur nozzle yang tepat.

Grafik Main Effects Plot for SN Ratios pada Gambar 8 menunjukkan pengaruh parameter Nozzle Temperature dan Wall Thickness terhadap kualitas respon dengan pendekatan Signal-to-Noise Ratio (SN) menggunakan kriteria Larger is Better. Pada parameter Nozzle Temperature, terlihat bahwa level 3 dengan temperatur 250°C memberikan nilai SN tertinggi, sehingga kondisi ini dianggap paling optimal dalam meminimalkan variasi dan meningkatkan konsistensi hasil pengujian. Sementara itu, level 2 yaitu 245°C menghasilkan nilai SN terendah, menandakan bahwa kondisi tersebut memberikan kualitas respon yang paling tidak stabil. Perbedaan yang cukup signifikan antar level menunjukkan bahwa temperatur nozzle memiliki peranan dominan terhadap hasil cetak PETG. Untuk parameter Wall Thickness, grafik menunjukkan peningkatan nilai SN dari level 1 (2 mm) ke level 2 (2,5 mm), namun sedikit menurun pada level 3 (3 mm). Hal ini mengindikasikan bahwa ketebalan dinding optimal berada pada level 2, di mana struktur cetak memiliki kualitas yang lebih baik dan variasi nilai respon lebih

rendah. Secara keseluruhan, kombinasi optimal berdasarkan analisis SN adalah Nozzle Temperature 250°C dan Wall Thickness 2,5 mm, yang memberikan performa paling stabil dalam proses pencetakan FDM menggunakan material PETG.

Grafik pada Gambar 9 menunjukkan pengaruh parameter terhadap Signal-to-Noise (SN) ratio, dengan prinsip “Larger is Better”, yang berarti nilai SN yang lebih tinggi menunjukkan hasil yang lebih optimal dan lebih konsisten. Mirip dengan grafik rata-rata, ketebalan dinding 2.0 mm menunjukkan peningkatan SN yang cukup besar saat suhu nozzle meningkat ke 250°C, kemudian sedikit menurun pada 250–255°C. Ketebalan dinding 2.5 mm memperlihatkan garis yang hampir

datar, menunjukkan bahwa perubahan suhu tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas hasil. Untuk ketebalan 3.0 mm, SN ratio meningkat seiring peningkatan suhu nozzle, menunjukkan performa yang lebih baik. Interaksi antar faktor juga terlihat melalui garis yang tidak sejajar dan saling berpotongan, yang mengindikasikan bahwa kualitas output tidak hanya bergantung pada satu variabel, tetapi kombinasi dari keduanya.

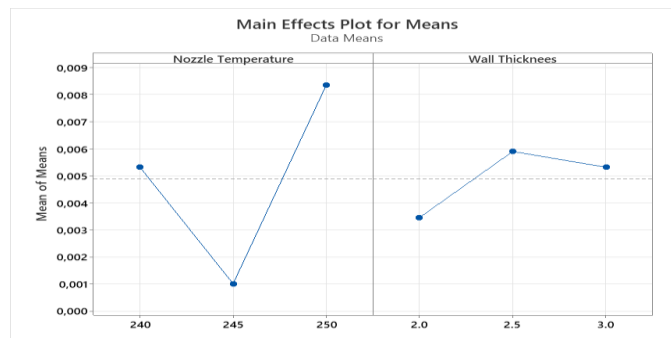
3.2.2 Analisis Rata-rata Plot Kuat Bentur

Berikut hasil Analyze Taguchi Design sehingga menampilkan hasil rata-rata Plot kuat bentur. Hasil rata-rata Plot diterangkan pada Gambar 10, 11, 12.

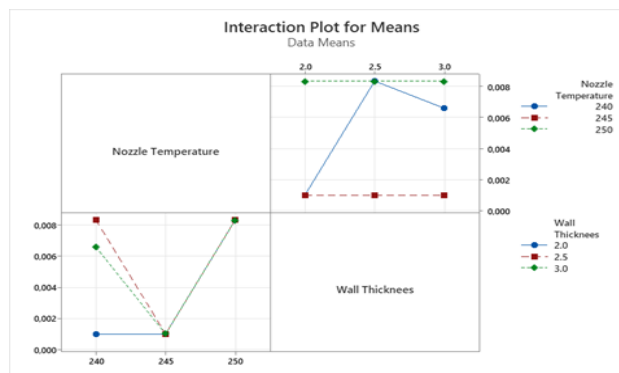
Response Table for Means

	Nozzle Temperature	Wall Thicknesses
1	0,005313	0,003453
2	0,001010	0,005897
3	0,008340	0,005313
Delta	0,007330	0,002443
Rank	1	2

Gambar 10. Response Table for Mean



Gambar 11. Grafik Main Effects Plot for Mean



Gambar 12. Grafik Interaction Plot for Mean

Berdasarkan Response Table for Mean pada Gambar 10, parameter nozzle temperature memiliki pengaruh paling besar terhadap respon yang diamati, ditunjukkan oleh nilai Delta tertinggi yaitu 0,007330 serta

peringkat (Rank) 1. Artinya, perubahan pada suhu nozzle memberikan kontribusi paling signifikan dalam memengaruhi hasil keluaran. Sementara itu, wall thickness menunjukkan pengaruh yang lebih kecil dengan nilai Delta

sebesar 0,002443 dan berada pada peringkat (Rank) 2. Hal ini menunjukkan bahwa variasi ketebalan dinding tidak memberikan perubahan respon sebesar perubahan suhu nozzle.

Analisis lanjutan dari Main Effects Plot for Mean yang ditunjukkan pada Gambar 11, terlihat bahwa suhu nozzle pada level 250°C menghasilkan nilai rata-rata respon tertinggi, sehingga dapat dianggap sebagai kondisi optimal untuk meningkatkan kualitas hasil cetak. Sebaliknya, suhu 245°C menghasilkan respon terendah, sehingga kurang direkomendasikan. Pada parameter wall thickness, respon tertinggi diperoleh pada level 2,5 mm, diikuti oleh 3,0 mm dan 2,0 mm. Meskipun pengaruhnya tidak sebesar suhu nozzle, pemilihan ketebalan dinding pada level 2,5 mm tetap memberikan hasil yang lebih baik. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa optimasi terbaik dicapai pada kombinasi nozzle temperature level 3 (250°C) dan wall thickness level 2 (2,5 mm) untuk meningkatkan nilai respon yang diuji.

Grafik pada Gambar 12 menunjukkan pengaruh interaksi antara Nozzle Temperature dan Wall Thickness terhadap nilai rata-rata dari respon (kekuatan atau sifat yang diukur). Setiap garis merepresentasikan ketebalan dinding berbeda (2.0, 2.5, dan 3.0 mm). Dari grafik tampak bahwa perubahan ketebalan dinding dan suhu nozzle memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai rata-rata. Pada ketebalan dinding 2.0 mm, peningkatan suhu nozzle dari 240°C ke 250°C menyebabkan peningkatan nilai rata-rata yang cukup signifikan. Sebaliknya, untuk ketebalan 2.5 mm, nilai rata-rata terlihat stabil dan hampir tidak terpengaruh oleh perubahan suhu nozzle. Sementara pada ketebalan 3.0 mm, nilai rata-rata meningkat dengan peningkatan suhu, tetapi peningkatannya tidak sebesar ketebalan 2.0 mm. Pola garis yang berpotongan menunjukkan adanya interaksi yang cukup kuat antara kedua parameter, sehingga pemilihan kombinasi level yang tepat menjadi penting untuk mendapatkan hasil terbaik.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa *Response Table for Mean* serta *Main Effects Plot for Mean*, dapat disimpulkan bahwa parameter Nozzle Temperature memiliki pengaruh terbesar terhadap nilai respon dibandingkan Wall Thickness, yang ditunjukkan oleh nilai Delta yang lebih tinggi serta perubahan rata-

rata yang signifikan pada tiap level. Level terbaik untuk mencapai nilai respon tertinggi berada pada Nozzle Temperature level 3 (250°C) dan Wall Thickness level 2 (2,5 mm). Sementara itu, hasil *Response Table for Signal-to-Noise Ratios* dan *Main Effects Plot for SN Ratios* juga menunjukkan tren yang konsisten, di mana kriteria *Larger is Better* mengindikasikan bahwa Nozzle Temperature level 3 dan Wall Thickness level 2 memberikan kestabilan hasil paling baik dengan variasi respon yang lebih kecil. Dengan demikian, Kombinasi parameter optimal dalam proses pencetakan FDM menggunakan material PETG diperoleh pada Nozzle Temperature 250°C dan Wall Thickness 2,5 mm, karena menghasilkan kualitas cetak terbaik dan konsistensi performa sampel uji yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih kepada para dosen pembimbing atas arahan dan masukan yang sangat berharga, serta kepada laboratorium dan institusi terkait yang telah menyediakan fasilitas dan peralatan penelitian. Penghargaan juga disampaikan kepada rekan-rekan yang turut membantu dalam proses pengujian dan analisis data. Dukungan dan kerja sama dari berbagai pihak sangat berarti bagi keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Febriansyah, R., et al., "Pengaruh Parameter Proses terhadap Uji Impak pada 3D Printing Material ABS," *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 247–253, 2022. (DOI tidak tersedia)
- [2] Saputra, W. R., "Pengaruh Parameter Proses terhadap Kekuatan Tarik Produk Hasil 3D Printing Menggunakan Filamen ASA," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2023. doi:10.32528/jp.v7i2.9285
- [3] Indun, I., Juanda, J., and Pristiansyah, P., "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe FDM terhadap Hasil Transparansi pada Filamen ABS," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 284–293, 2024. doi:10.33504/jitt.v2i2.159
- [4] Chen, Q.-D. Z., Chen, C.-H. C., and Chen, D.-C., "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. 12, art. no. 3133, 2024. doi:10.3390/polym16223133
- [5] Guessasma, S. B., and Nouri, H. S., “Printability and Tensile Performance of 3D-Printed Polyethylene Terephthalate Glycol Using Fused Deposition Modelling,” *Polymers*, vol. 11, no. 7, art. no. 1220, 2019. doi:10.3390/polym11071220
- [6] Aji, B. P. Y. F. A., “Pengaruh Parameter Proses terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filamen PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol),” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 2, pp. 332–338, 2023. doi:10.33504/jitt.v1i2.32
- [7] Pristiansyah, I. A. W., and Rosa, R., “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. 13–18, 2024. doi:10.33504/jitt.v2i1.149
- [8] Taresh, O. F., et al., “Mechanical Properties of 3D-Printed PETG Samples: The Effect of Varying Infill Patterns,” *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 33, no. 2, pp. 339–345, 2023. doi:10.18280/rcma.330508
- [9] Çevik, Z. A., “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, pp. 310–319, 2025. doi:10.46519/ij3dptdi.1704399
- [10] Trisanti, D. S. K. M. R. Y. I., “Evaluasi Ketangguhan Aluminium terhadap Beban Dinamis melalui Pengujian Impak Charpy Takikan V,” *MESA (Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Sipil, Teknik Arsitektur)*, vol. 7, no. 1, pp. 25–33, 2023. doi:10.35569/ftk.v7i1.1949
- [11] Iacob, D. G. Z., et al., “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, art. no. 1645, 2025. doi:10.3390/polym17121645
- [12] Risdiyanto, A., and Hidayat, M., “Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi pada Proses Manufaktur,” *Jurnal Teknik Industri*, vol. 5, no. 2, pp. 7–94, 2020. (DOI tidak tersedia)
- [13] Rivaldi, M. Y. P. P., “Pengaruh Parameter Proses 3D Printing terhadap Kuat Bentur Menggunakan Filamen Polycarbonate,” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan (JITT)*, vol. 1, no. 1, pp. 223–230, 2023. doi:10.33504/jitt.v1i1.93
- [14] Wulandari, H. P. P., “Peningkatan Kuat Bentur Produk 3D Printing Fused Deposition Modeling Menggunakan Filamen Polypropylene,” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 130–136, 2024. doi:10.33504/jitt.v2i1.148
- [15] Suryadarma, E. H. E., Laksono, P. W., and Priadythama, I., “Optimal PLA+ 3D Printing Parameters through Charpy Impact Testing: A Response Surface Methodology,” *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 23, no. 1, pp. 76–91, 2023. doi:10.25077/josi.v23.n1.p76-91.2024