



Available online at www.jurnal.untidar.ac.id

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

Journal homepage: <http://jurnal.untidar.ac.id/index.php/mechanical/index>



Pengaruh Parameter Proses *Manufacturing* Menggunakan 3D Printer Jenis FDM terhadap Ketangguhan Material *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG)

Tan Triadi^a, Satriawan Dini Hariyanto^{*a}, Toto Rusianto^a

^aJurusan Teknik Mesin Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta, Yogyakarta 55222, Indonesia

*satriawan@akprind.ac.id

Keyword:

3D printing, PETG, impact strength, Taguchi, S/N ratio, ANOVA.

ABSTRACT

Fused Deposition Modelling (FDM) 3D printer utilize various thermoplastic polymer filaments such as PLA and ABS to create object. In recent years, the popularity of PETG filament has been steadily increasing among 3D printer users. This research aims to determine the optimal process parameters (nozzle temperature, infill density, and infill pattern) for achieving the highest impact strength values using polyethylene terephthalate glycol (PETG) filament through the Taguchi method. In this study, an Orthogonal Array (OA) L9 (33) experimental design was employed with the following process parameters: Nozzle Temperature (230 °C, 245 °C, 260 °C), Infill Density (60%, 80%, 100%), and Infill Pattern (Grid, Lines, Cubic). Specimens were printed according to ASTM D256-10 standards. The response, namely Impact Strength, was analyzed using the Taguchi method through Signal-to-Noise (S/N) ratios and analysis of variance (ANOVA). The research results indicate that the most optimal process parameters are a nozzle temperature of 245 °C, an infill density of 80%, and a grid infill pattern.

Kata Kunci:

3D Printing, PETG, impact strength, Taguchi, S/N Ratio, ANOVA.

ABSTRAK

3D printer jenis *fused deposition modelling* (FDM) dalam penggunaannya menggunakan beragam filamen berbahan polimer termoplastik seperti PLA dan ABS untuk mencetak obyek. Dalam beberapa tahun terakhir, popularitas filament PETG terus meningkat di kalangan pengguna 3D printer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter proses (*nozzle temperature, infill density dan infill pattern*) yang optimum terhadap nilai *impact strength* menggunakan filament *polyethylene terephthalate glycol* (PETG) dengan metode Taguchi. Dalam penelitian ini menggunakan desain eksperimen Orthogonal array (OA) L9 (33) dengan parameter proses yang digunakan yaitu Nozzle Temperature (230°C; 245°C; 260°C), Infill Density (60%; 80% 100%), dan Infill Pattern (Grid; Lines; Cubic). Spesimen dicetak sesuai standar ASTM D256-10. Respon nilai Impact Strength dianalisis menggunakan metode Taguchi melalui *S/N ratio*, dan *analysis of varians* (ANOVA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Parameter proses yang paling optimum yaitu *nozzle temperature 245°C; infill density 80%; dan infill pattern tipe grid.*

PENDAHULUAN

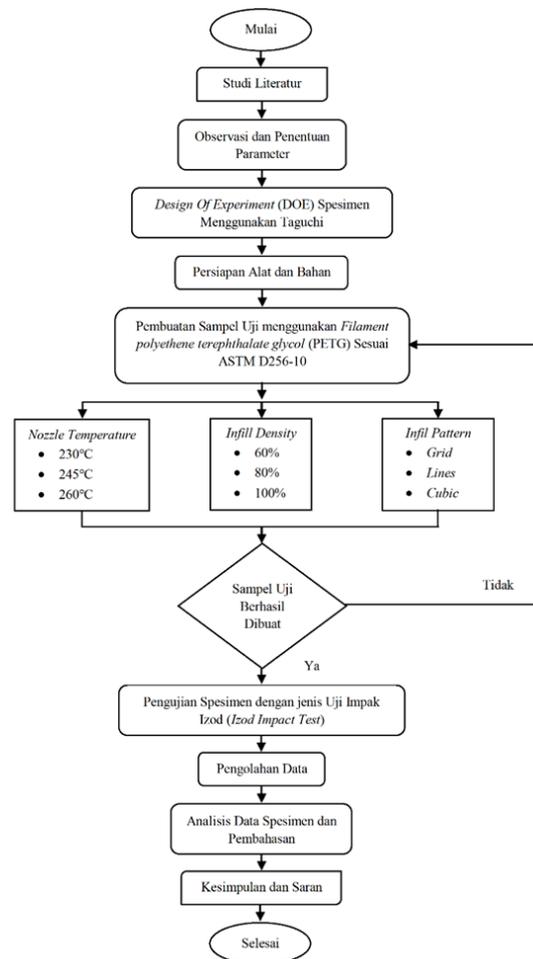
3D Printing adalah teknologi Additive Manufacturing (AM) untuk membuat berbagai struktur dan geometri yang kompleks dari model tiga dimensi (3D) [1]. Prosesnya terdiri dari pencetakan lapisan bahan yang berurutan dan terbentuk di atas satu sama lain. Teknologi ini telah dikembangkan oleh Charles Hull pada tahun 1986 dalam proses yang dikenal sebagai *Stereolithography* (SLA), yang diikuti oleh perkembangan selanjutnya seperti *Powder Bed Fusion*, *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Inkjet Printing*, dan *Contour Crafting* (CC). 3D printing yang menggunakan berbagai metode, bahan dan peralatan ini telah berkembang selama bertahun-tahun dan memiliki kemampuan untuk mengubah proses manufaktur dan logistik. AM telah banyak diterapkan di berbagai industri, termasuk konstruksi, pembuatan prototipe, dan biomekanik. Berdasarkan proses pencetakan obyeknya, jenis pencetakan 3D yang banyak digunakan saat ini adalah FDM. FDM banyak digunakan untuk beragam kegiatan mulai dari pembuatan souvenir, prototipe produk, *mold sand casting*, dan beragam tujuan aksesoris maupun teknis lainnya [2]. Banyaknya penggunaan 3D printer jenis FDM salah satunya disebabkan oleh harga yang terjangkau dan perawatannya yang lebih mudah, selain itu variasi pilihan jenis material filamennya lebih banyak. Beberapa jenis filamen yang banyak digunakan untuk 3D printer jenis FDM adalah *Polylactic Acid* (PLA) dan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS)[3]. PLA dan ABS banyak digunakan untuk proses 3D printing karena temperatur lelehnya yang relatif rendah yaitu pada rentang 170-200°C untuk PLA dan 220-230°C untuk material ABS[4]. Spesifikasi mesin 3D printer jenis FDM yang banyak beredar di pasaran juga masih dapat disetting sesuai dengan karakteristik temperatur leleh filamen tersebut [5]. Akan tetapi, penggunaan filamen lain yang memiliki temperatur leleh yang lebih tinggi dari material ABS seperti *Polyethylene terephthalate glycol* (PETG) yang memiliki temperatur leleh 230-260°C [6] seringkali ditemui beberapa permasalahan pada hasil cetakan seperti obyek yang terlepas dari permukaan *heatbed* 3D Printer dan hasil cetakan melengkung. Padahal apabila ditinjau dari potensi penggunaan filamen PETG yang banyak digunakan untuk produk-produk yang memerlukan keunggulan di aspek *food grade product*, ketepatan fabrikasi adalah hal utama yang diperlukan agar geometri produk yang dibuat menggunakan filamen PETG sesuai dengan rancangan desain 3D [7]

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. Melihat dari penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter pencetakan material PETG yang optimum menggunakan mesin FDM agar dapat memberikan hasil uji impak terbaik berdasarkan analisis Taguchi dan Anova. Sampel uji dibuat berdasarkan standar ASTM D256-10 [8] dengan metode pengujian yang digunakan adalah uji impak izod (*izod impact test*). Metode penentuan desain eksperimen menggunakan metode Taguchi dengan parameter manufakturing yang digunakan adalah *nozzle temperature*, *infill density* dan *infill pattern*.

METODE

Penelitian dilakukan berdasarkan tahapan-tahapan tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Alat

Dalam penelitian ini dibutuhkan alat, baik untuk kelengkapan pencetakan maupun alat uji hasil pencetakan yang diantaranya sebagai berikut :

- Mesin 3D Printer merk Kingroon-KP3S
- Alat Uji Impak Izod (Izod Impact Test) merk GOTECH Model KT-7044

- c. Laptop
- d. Software Slicer Ultimaker Cura 5.0.0
- e. Software SolidWorks
- f. Software Minitab 21
- g. Jangka sorong.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG). Spesifikasi filament PETG dapat dilihat pada Tabel 1 Spesifikasi Filament Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG).

Tabel 1 Spesifikasi Filament Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Merek	Anet PETG
2	Diameter	1,75 mm
3	Temperatur Print	230°C-260°C
4	Temperatur Bed	60°C-120°C
5	Warna Filamen	Putih
6	Massa	1 kg

Penentuan Parameter Proses dan Parameter Konstan (Faktor dan Level Eksperimen)

Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Faktor dan Level Parameter Spesimen

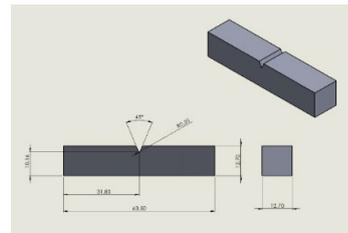
Faktor	Parameter	Level		
		1	2	3
A	Nozzle Temperature (°C)	230	245	260
B	Infill Density (%)	60	80	100
C	Infill Pattern	Grid	Lines	Cubic

Parameter konstan adalah parameter yang dikendalikan. Adapun parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah Wall Thickness 1,76 mm; Top/Bottom Thickness 1,1 mm; Build Plate Adhesion (Skrit); Print Speed 60 mm/s; Build Plate Temperature 80°C.

Metode Pembuatan Sampel

Pembuatan sampel uji menggunakan filament polyethene terephthalate glycol (PETG) adalah tahapan yang dilakukan dengan membuat sampel uji menggunakan alat 3D Printer. Sebelum melakukan pencetakan sampel uji terlebih dahulu melakukan pembuatan desain sampel uji dengan menggunakan software SolidWorks, untuk pola spesimen spesimen uji impact izod (izod impact test) disesuaikan dengan ASTM D256-10: "Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics". Setelah melakukan pemodelan objek dari software solidworks, 2022 file objek kemudian di-export dalam format Stereolithography (.stl).

Setelah disimpan dalam format .stl, maka proses selanjutnya adalah proses setting parameter print. Proses setting parameter print dapat dilakukan dengan menggunakan Software Ultimaker Cura 5.0.0. Hasil dari setting parameter print berupa file G-Code yang disimpan ke dalam microSD Card. Kemudian proses pencetakan dapat dilakukan dengan memasukkan microSD Card ke dalam mesin 3D Printer merk kingroon KP3S. Berdasarkan dari pemilihan Orthogonal Array yang digunakan adalah OA L₉ (3³), dikarenakan setiap sempel dilakukan 5 (lima) kali pengujian maka jumlah sampel uji yang dicetak adalah 45 sampel. Hasil desain dapat dilihat pada Gambar 2. Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji Impak Izod (Izod Impact Test).



Gambar 2. Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji Impak Izod (Izod Impact Test)

Pengujian Impak Izod (Izod Impact Testing)

Proses pengujian impak dilakukan dengan cara meletakkan spesimen pada landasan (anvil), kemudian palu pendulum dinaikkan ke pemegang atas. Posisikan jarum pada angka (150°), kemudial lepas pendulum sampai membentur spesimen. Catat sudut yang dibuat oleh bandul (β). Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah impact tester GOTECH Model KT-7045 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Impact Test GOTECH Model KT-7045.

Untuk spesifikasi alat dapat dilihat pada tabel 3 Spesifikasi Impact Tester GOTECH Model KT-7044.

Tabel 3 Spesifikasi *Impact Tester* GOTECH Model KT-7044

Berat Pendulum (W)	0.49 kg
Jarak Lengan Pendulum (L)	0.327 m
Sudut Posisi Awal (α)	150°

[9] mengatakan dengan mengabaikan *friction losses* pada peralatan, energi pemecah tumbukan benda uji dapat diketahui dengan menentukan berapa banyak energi potensial yang hilang dari pendulum. Dengan kata lain, perbedaan energi potensial pendulum pada titik lepas dan titik balik tertingginya adalah berapa banyak energi yang diserap oleh benda uji. Menemukan dua energi potensial ini dan mengatur ulang persamaan memberikan energi pemutusan impak dasar dari spesimen, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 1

$$IE = m \times g \times L(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1)$$

Dimana:

- IE : *Impact energy* (energi impak) (J)
- m : Berat massa pendulum (kg)
- g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- L : Jarak lengan pendulum (m)
- β : Sudut simpangan setelah pendulum menumbuk spesimen (°)
- α : Sudut awal sebelum pendulum diayunkan (°)

Untuk menghitung kekuatan impak (*Impact Strength*) dapat menggunakan persamaan 2.

$$IS = \frac{IE}{t} \text{ (Joule/m)} \quad (2)$$

Dimana:

- IS : *Impact Strength* (J/m)
- IE : *Impact Energy* (J)
- t : Tebal spesimen dibawah takikan (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data pada penelitian dilakukan dengan cara randomisasi atau mengkombinasikan parameter-parameter proses yang terdapat pada *software slicing Ultimaker Cura 5.0.0*. Adapun parameter-parameter proses yang dianggap berpengaruh terhadap respon *impact strength* yaitu *nozzle temperature* (°C), *Infill density* (%), dan *infill Pattern*. Tabel 4 Data Hasil *Impact Strength*, menunjukan hasil *impact strength* berdasarkan desain *factorial* Taguchi L₉ (3³) *Orthogonal Array*. Pada tahap ini, setelah memiliki data hasil pengujian maka selanjutnya data tersebut diolah untuk memperoleh parameter yang optimum serta yang berpengaruh terhadap *impact strength*.

Tabel 4 Data Hasil *Impact Strength*

Exp. No.	Nozzle Temperature (°C)	Infill Density (%)	Infill Pattern	Replikasi 1 (J/m)	Replikasi 2 (J/m)	Replikasi 3 (J/m)	Replikasi 4 (J/m)	Replikasi 5 (J/m)
1	230	60	Grid	36.6240	36.6240	34.5275	36.6240	28.4645
2	230	80	Lines	36.6240	30.4626	30.4626	30.4626	34.5275
3	230	100	Cubic	36.6240	38.7204	32.4704	40.8759	36.6240
4	245	60	Lines	30.4626	32.4704	28.4645	32.4704	32.4704
5	245	80	Cubic	51.9980	38.7204	40.8759	49.7244	36.6240
6	245	100	Grid	43.0413	43.0413	36.6240	45.2362	43.0413
7	260	60	Cubic	28.4645	34.5275	36.6240	34.5275	30.4626
8	260	80	Grid	40.8759	40.8759	38.7204	36.6240	40.8759
9	260	100	Lines	32.4705	28.4646	32.4705	34.5276	30.4626

Analisis Hasil Eksperimen *Filament Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)*

a. Pengolahan Data dan Analisis Hasil *Impact Strength Filament PETG Rata-Rata (Mean)* Terhadap Respon

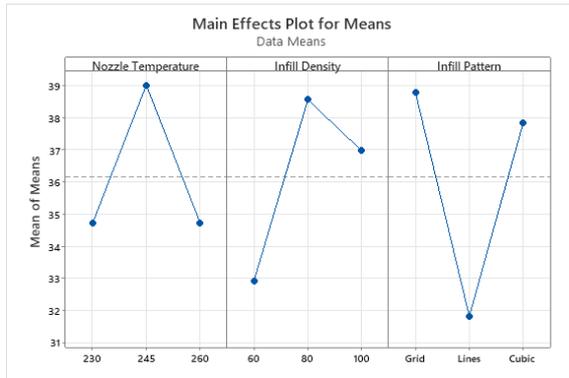
Hasil yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan kemudian dianalisis untuk mendapatkan kombinasi level yang paling optimum dari parameter proses atau faktor yang telah ditentukan.

Perhitungan rata-rata (*mean*) terhadap respon dilakukan untuk mengetahui pengaruh level pada faktor rata-rata nilai *impact strength* spesimen PETG. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5. *Response Table for Means* (Respon Rata-Rata).

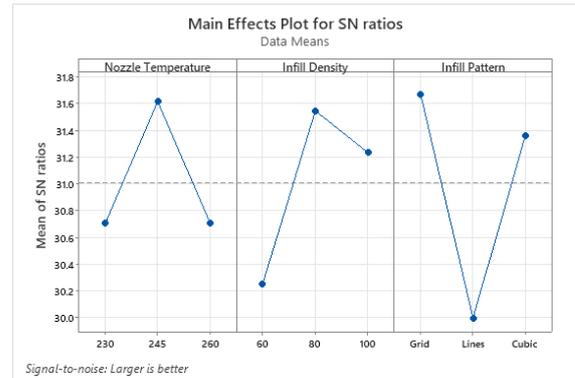
Tabel 5. *Response Table for Means* (Respon Rata-Rata)

Level	Nozzle Temperature (°C)	Infill Density (%)	Infill Pattern
1	34.71	32.92	38.79
2	39.02	38.56	31.82
3	34.73	36.98	37.86
Delta	4.30	5.04	6.97
Rank	3	2	1

Berdasarkan hasil dari Tabel 5 *Response Table for Means* (Respon Rata-Rata) di atas untuk memperlihatkan *impact strength* terbesar dari masing-masing level untuk setiap parameter maka disajikan grafik pada gambar 4 *Main Effect Plot for Means* yang dapat dilihat pada Gambar 3 *Main Effect Plot for Means* Untuk Rata-Rata Setiap Parameter



Gambar 4. Main Effect Plot for Means Untuk Rata-Rata Setiap Parameter



Gambar 5. Main Effect Plot for S/N Ratios Untuk Rata-Rata (Mean) S/N Ratio Setiap Parameter

b. Pengolahan Data dan Analisis Hasil *Impact Strength Filament PETG Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* Terhadap Respon

Hasil yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan kemudian dianalisis untuk mendapatkan kombinasi level yang paling optimum dari parameter proses atau faktor yang telah ditentukan.

Perhitungan *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* digunakan untuk menentukan faktor *impact strength* yang memberikan data pada suatu nilai variasi yang muncul. Nilai *S/N ratio* tergantung pada karakteristik kualitas masing-masing respon. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 6. *Response Table for Signal to Noise Ratio Larger is Better*

Tabel 6. *Response Table for Signal to Noise Ratio Larger is Better*

Level	Nozzle Temperature (°C)	Infill Density (%)	Infill Pattern
1	30.70	30.25	31.67
2	31.61	31.54	30.00
3	30.71	31.23	31.36
Delta	0.91	1.29	1.67
Rank	3	2	1

Berdasarkan Tabel 6 *Response Table for Signal to Noise Ratio Larger is Better* di atas untuk memperlihatkan *impact strength* terbesar dari masing-masing level setiap parameter maka disajikan grafik pada Gambar 5 *Main Effect Plot for S/N Ratios*.

c. *Analysis of Variance (ANOVA)* dari *S/N Ratio*

Untuk mengkonfirmasi hasil *Main Effect Analysis* dan mengetahui kontribusi dari setiap faktor perlu dilakukan *Analysis of Variance (ANOVA)* terhadap *S/N Ratio* terdiri dari *Degree of Freedom, Sum of Squares, Mean Squares, F-ratio*, dan jumlah kuadrat murni. Berikut ini hasil dari perhitungan *Analysis of Variance (ANOVA)* terhadap *S/N ratio*, dapat dilihat pada Tabel 7 *Analysis of Variance (ANOVA)*.

Tabel 7 *Analysis of Variance (ANOVA)*

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F	P
<i>Nozzle</i>							
<i>Temperature (°C)</i>	2	1.65198	18.02%	1.65198	0.82599	88.89	0.011
<i>Infill</i>							
<i>Density (%)</i>	2	2.73827	29.87%	2.73827	1.36913	147.34	0.007
<i>Infill Pattern</i>	2	4.75997	51.91%	4.75997	2.37999	256.13	0.004
Error	2	0.01858	0.20%	0.01858	0.00929		
Total	8	9.1688	100.00%				

Untuk mengambil kesimpulan dari Tabel 7 *Analysis of Variance (ANOVA)* di atas, dilakukan pengujian yang disebut uji-F.

Berdasarkan tabel 7 *Analysis of Variance (ANOVA)* di atas, didapatkan keputusan uji hipotesis dengan menggunakan distribusi F-hitung dapat dilihat pada Tabel 8 *Keputusan Uji*

Tabel 8. *Keputusan Uji*

Komporasi Terhadap Respon	F-Ratio	F-Tabel (0.25;2,8)	Keputusan Uji
<i>Nozzle Temperature</i>	88.89	1.66	H ₀ ditolak
<i>Infill Density</i>	147.34		H ₀ ditolak
<i>Infill Pattern</i>	256.13		H ₀ ditolak

Hasil dari analisis *Analysis of Variance (ANOVA)* terhadap *S/N Ratio* hasil *F-ratio* di atas *nozzle temperature* adalah 88.89; *infill density* adalah

147.34; dan *infill Pattern* adalah 256.13, dimana semua nilai faktor tersebut lebih besar dari nilai F-tabel 1.66, maka diartikan bahwa semua faktor tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai *impact strength*.

Dari ketiga parameter tersebut *nozzle temperature*, *infill density* dan *infill Pattern* memiliki nilai F-ratio lebih besar dibandingkan F-tabel maka H_0 ditolak, artinya ketiga parameter memiliki pengaruh terhadap *impact strength*. Dari ketiga parameter dapat dilihat level mana yang paling berpengaruh terhadap *impact strength* dapat dilihat pada Tabel 9 Perbandingan Level dari *Nozzle Temperature* Terhadap Respon S/N Ratio.

Tabel 9 Perbandingan Level dari *Nozzle Temperature* Terhadap Respon S/N Ratio

<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	N	Mean	Grouping
245	3	31.61	A
260	3	30.71	A
230	3	30.70	A

Dari Tabel 9 Perbandingan Level dari *Nozzle Temperature* Terhadap Respon S/N Ratio di atas dapat dilihat dari tiga level parameter *nozzle temperature* terhadap respon S/N ratio yang paling baik untuk nilai *impact strength* adalah level 245°C memiliki nilai sebesar 31.61

Tabel 10. Perbandingan Level dari *Infill Density* Terhadap Respon S/N Ratio

<i>Infill Density</i> (%)	N	Mean	Grouping
80	3	31.54	A
100	3	31.23	A
60	3	30.25	A

Dari Tabel 10 Perbandingan Level dari *Infill Density* Terhadap Respon S/N Ratio di atas dapat dilihat dari tiga level parameter *infill density* terhadap respon S/N ratio yang paling baik untuk nilai *impact strength* adalah level 80% memiliki nilai sebesar 31.54.

Tabel 11. Perbandingan Level dari *Infill Pattern* Terhadap Respon S/N Ratio

<i>Infill Pattern</i>	N	Mean	Grouping
Grid	3	31.67	A
Cubic	3	31.36	A
Lines	3	30.00	A

Dari Tabel 11. Perbandingan Level dari *Infill pattern* Terhadap Respon S/N Ratio di atas dapat dilihat dari tiga level parameter *infill Pattern* terhadap respon S/N ratio yang paling baik untuk nilai *impact strength* adalah level *grid* memiliki nilai sebesar 31.67.

Berdasarkan hasil Tabel 9. Perbandingan Level dari *Nozzle Temperature* Terhadap Respon S/N Ratio; Tabel 10. Perbandingan Level dari *Infill Density* Terhadap Respon S/N Ratio; dan Tabel 11. Perbandingan Level dari *Infill pattern* Terhadap Respon S/N Ratio di atas maka dapat diurutkan faktor yang paling berpengaruh pada pengujian *impact strength* dapat dilihat pada Tabel 12. Urutan Faktor yang Paling Berpengaruh Pada Pengujian *Impact Strength*.

Tabel 12. Urutan Faktor yang Paling Berpengaruh Pada Pengujian *Impact Strength*

Faktor	Rank
<i>Infill Pattern</i>	1
<i>Nozzle Temperature</i>	2
<i>Infill Density</i>	3

Dari Tabel 12 Urutan Faktor yang Paling Berpengaruh Pada Pengujian *Impact Strength* di atas urutan faktor yang paling berpengaruh pada pengujian *impact strength* yaitu pada rank pertama adalah *infill pattern* dengan level *grid* memiliki nilai sebesar 31.67; rank kedua adalah *nozzle temperature* dengan level 245°C memiliki nilai 31.61 ; dan yang ketiga adalah *infill density* dengan level 80% memiliki nilai 31.54.

Pada penelitian yang dilakukan [10] dengan menggunakan material *polyethene terephthalate glycol* (PETG) dan *carbon fibrestrengthened polyethene terephthalate glycol* (CFPETG) dengan *infill pattern* yang berbeda (*grid*, *rectilinear*, *honeycomb* dan *cubic*). *Impact strength* tertinggi dengan *annealed* PETG terlihat menjadi terlihat sebesar 98, 88, 82 dan 72 J/m² dengan *infill pattern grid* dan *annealed* CFPETG adalah 120, 109, 103 dan 96 J/m² dengan *infill pattern grid*. Karena penyebaran serat karbon yang benar dalam filamen PETG, *impact energy* yang lebih tinggi dikumpulkan dari sampel CFPETG. Selama fase *fracturing* dari spesimen yang dicetak, pemerataan dan ikatan serat karbon yang lebih kuat akan meningkatkan kekerasan yang mencerminkan penyerapan energi. Pada penelitian yang dilakukan pada saat ini memiliki kesamaan hasil *impact strength* tertinggi terlihat pada trend grafik *infill pattern* jenis *grid* menggunakan material *polyethene terephthalate glycol* (PETG) dan parameter prosesnya adalah *nozzle temperature* (230°C, 245°C, dan 260°C), *infill density* (60%, 80%, dan 100%), dan *infill pattern* (*grid*, *lines*, dan *cubic*).

Impact strength tertinggi terlihat pada grafik *infill pattern* jenis *grid* dengan nilai 31.67 J/m.

SIMPULAN

Nilai parameter proses yang paling optimum dari nilai *impact strength* menggunakan *filament polyethylene terephthalate glycol* (PETG) yang terdiri dari 3 faktor (*nozzle temperature*, *infill density*, *infill pattern*) dengan 3 level untuk setiap faktornya yang menggunakan metode taguchi, maka level yang paling optimum adalah level yang memiliki nilai *S/N Ratio* yang tertinggi dari setiap faktornya. Didapatkan parameter yang paling optimum yaitu *nozzle temperature* dengan nilai 31.61 J/m pada level (245°C); *infill density* dengan nilai 31.54 J/m pada level (80%); dan *infill pattern* dengan nilai 31.67 J/m pada level (*grid*)

Hasil parameter optimum bisa dijadikan acuan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan *filament polyethylene terephthalate glycol* (PETG).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Alarifi, "PETG/carbon fiber composites with different structures produced by 3D printing," *Polym. Test.*, vol. 120, p. 107949, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.polymertesting.2023.107949.
- [2] L. Marsavina, M. Marghitas, and E. Valean, "Size effect in PLA and PETG specimens obtained using FDM," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 42, pp. 1259–1265, 2022, doi: 10.1016/j.prostr.2022.12.160.
- [3] A. D. Valino, J. R. C. Dizon, A. H. Espera, Q. Chen, J. Messman, and R. C. Advincula, "Advances in 3D printing of thermoplastic polymer composites and nanocomposites," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 98, p. 101162, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2019.101162.
- [4] K. V. Durga Rajesh, N. Ganesh, S. Yaswanth Kalyan Reddy, H. Mishra, and T. M. V. P. S. Teja Naidu, "Experimental research on the mechanical characteristics of fused deposition modelled ABS, PLA and PETG specimens printed in 3D," *Mater. Today Proc.*, p. S2214785323037380, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.06.343.
- [5] E. García, P. J. Núñez, M. A. Caminero, J. M. Chacón, and S. Kamarthi, "Effects of carbon fibre reinforcement on the geometric properties of PETG-based filament using FFF additive manufacturing," *Compos. Part B Eng.*, vol. 235, p. 109766, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.compositesb.2022.109766.
- [6] A. Nazir *et al.*, "Multi-material additive manufacturing: A systematic review of design, properties, applications, challenges, and 3D printing of materials and cellular metamaterials," *Mater. Des.*, vol. 226, p. 111661, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.matdes.2023.111661.
- [7] "Investigating the effect of fused deposition modelling on the tribology of PETG thermoplastic.pdf."
- [8] J. Loskot *et al.*, "Influence of print speed on the microstructure, morphology, and mechanical properties of 3D-printed PETG products," *Polym. Test.*, vol. 123, p. 108055, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.polymertesting.2023.108055.
- [9] M. J. Sauer, "Evaluation of the Mechanical Properties of 3D Printed Carbon Fiber Composites," South Dakota State University, 2018.
- [10] M. S. Srinidhi, R. Soundararajan, K. S. Satishkumar, and S. Suresh, "Enhancing the FDM infill pattern outcomes of mechanical behavior for as-built and annealed PETG and CFPETG composites parts," *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 7208–7212, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.417.