

Optimasi Parameter Produk 3D Printing Terhadap Kekuatan Bending Dengan Menggunakan Filamen Nylon

Irfan Fadhil¹, Hasdiansah^{1*}, Adhe Anggry¹

¹ Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail: phiannttarah@yahoo.co.id

Received 6 Januari 2023; Received in revised form 10 Januari 2023; Accepted 16 Januari 2023

Abstract

3D Printing or additive manufacturing is a new technology for the industry. The machine has created an object for 3D layer by layer that makes a product with accurate dimensions and certain patterns, as the technology developed, the manufacturing industry began to develop products using additive material methods known as rapid prototyping or layer manufacturing, one of which was the use of 3D printer technology. This research was conducted on a 3D Printing FDM model Ender 3 Pro with dimensions 220 mm x 220 mm x 250 mm and using a nozzle with a 0,4 mm diameter. The material for this research is Nylon 6 with a diameter of 1,75 mm with variations in Layer Thickness (0,21 mm 0,24mm 0,27 mm), Infill Pattern (Rectilinear, Grid, Wiggle), Z-Orientation (0°,15°,30°) which will be determined in Ultimaker Cura 4.4.0 software and Taguchi Method in software minitab19.1. resulting in OA L9 with 3 times replication printed sample. The results obtained after testing the highest bending stress values are found in the 9th specimen which is 16,7 MPa average with 0,27 Layer Thickness, Wiggle Infill Pattern, and 15° Z-Orientation. While the lowest bending stress values are found in the 4th specimen which is 12,7 MPa average with 0,24mm Layer Thickness, Rectilinear Infill Pattern, and 15° Z-Orientation.

Keywords: 3D printing; Nylon; Bending stress; Control factors.

Abstrak

Pencetakan 3D atau manufaktur aditif adalah teknologi baru untuk industri ini. Mesin tersebut telah menciptakan objek 3D lapis demi lapis yang menghasilkan produk dengan dimensi yang akurat dan pola tertentu, seiring dengan perkembangan teknologi, industri manufaktur mulai mengembangkan produk dengan menggunakan metode bahan tambahan yang dikenal dengan *rapid prototyping* atau *layer manufacturing*, salah satunya adalah penggunaan teknologi printer 3D. Penelitian ini dilakukan pada 3D Printing FDM model Ender 3 Pro dengan dimensi 220 mm x 220 mm x 250 mm dan menggunakan *nozzle* berdiameter 0,4 mm. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Nylon 6 dengan diameter 1,75 mm dengan variasi Ketebalan Lapisan (0,21 mm 0,24 mm 0,27 mm), Pola Isi (Lurus, Kisi, Goyangan), Orientasi-Z (0°, 15°,30°) yang akan ditentukan pada *software* Ultimaker Cura 4.4.0 dan Metode Taguchi pada *software* minitab19.1. menghasilkan OA L₉ dengan sampel cetak 3 kali replikasi. Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pengujian nilai tegangan bending tertinggi terdapat pada benda uji ke-9 yaitu rata-rata 16,7 MPa dengan Ketebalan Lapisan 0,27, Pola *Infill Wiggle*, Orientasi-Z 15°. Sedangkan nilai tegangan lentur terendah terdapat pada benda uji ke-4 yaitu rata-rata 12,7 MPa dengan Ketebalan Lapisan 0,24mm, Pola *Infill Rectilinear*, Orientasi Z 15°.

Kata kunci: 3D printing; Nilon; Tegangan bending; Faktor control.

1. PENDAHULUAN

Teknologi *Three Dimensial (3D) Printing* atau biasa disebut dengan *additive manufacturing* ialah suatu terobosan baru dalam dunia teknologi. *3D printing* adalah

mesin *printer* yang mencetak objek berupa 3 dimensi yang berasal dari model CAD atau model digital 3D dengan cara mencetak lapis demi lapis sehingga memungkinkan untuk dapat membuat berbagai detail dan pola tertentu [1]. Teknologi *additive*

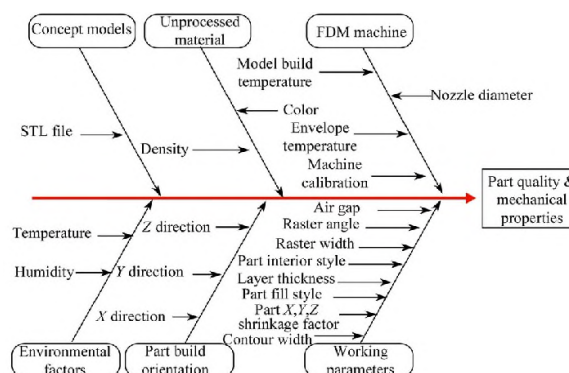
manufacturing (AM) sudah banyak berkembang dan bermacam-macam jenis yang bisa digunakan sesuai dengan kebutuhan yang diantaranya adalah *fused depositon modelling* (FDM), *stereolithography apparatus* (SLA), *continous liquid interface production* (CLIP), *digital light processing* dan *selective laser sintering* (SLS) [2]. Diantara beberapa metode dalam *additive manufacturing* (AM). Metode *fused depositon modelling* (FDM) merupakan metode yang cukup populer digunakan karena metode tersebut mudah digunakan, biayanya lebih rendah, ramah lingkungan serta lebih mudah dalam proses pengembangan produk, dan *prototyping* [3].

Walaupun metode *fused depositon modelling* (FDM) sangat menjanjikan untuk dikembangkan kedepannya, teknologi ini masih memiliki beberapa kelemahan di bandingkan metode manufaktur konvensional (*injection molding*) seperti permukaan yang menampilkan garis-garis batas antar layer [4]. Metode FDM cenderung memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dikarenakan kekuatan ikatan antar lapisan lebih kecil dan produk hasil metode FDM seringkali menyusut mengakibatkan dileminasi diantara lapisannya. Selain itu, ada inner stress yang dapat mengakibatkan objek FDM menjadi retak karena mengalami pendinginan yang cepat dari titik leleh ke suhu ruangan [5]. *Nylon (poliamida)* merupakan bahan yang populer di industri plastik karena memiliki ketangguhan dan fleksibilitas yang baik. *Nylon* memiliki keunggulan tahan lama, tahan benturan, fleksibel, tidak berbau saat dicetak, dan tahan abrasi [6].

Penelitian ini dilakukan [7] pada spesimen ASTM D-790 menggunakan filamen *Nylon* dengan parameter proses yang digunakan

adalah *Layer Thickness*, *Infill Pattern*, dan *Z-Orientation* dengan pengujian bending sebagai pengambilan data yang dimana akan diolah dengan metode Taguchi OAL₉ sebagai analisis nilai kekuatan spesimen dan menentukan pengaruh dari parameter proses terhadap kekuatan *bending*. Pada penelitian sebelumnya, pernah membahas tentang 3D printing FDM dengan menggunakan *Nylon* sebagai bahan filamen dengan akurasi dimensi sebagai *output* penelitiannya. Kemudian parameter yang diteliti adalah *Nozzle Temperature*, *Bed Temperature*, *layer Thickness*, *Flowrate*, *Printing Speed*, *Overlap*, *Infill Density*, *Infill Speed*, dan *Wall Thickness*, pada proses pencetakannya. Setiap orientasi akan mempengaruhi akurasi dimensi yang berbeda-beda [8]. Penelitian yang dilakukan oleh [9] untuk mengetahui nilai dari menggunakan mesin *3D printing Fused Deposition Modelling* (FDM) dengan menggunakan 2 jenis filamen dan *software* catia dengan ukuran spesimen standar ASTM D955. Hasil penelitian dilakukan dengan uji *bending* sampai *displacement* 3mm dan hasil yang paling baik yaitu sebesar 28.236 N dengan suhu *nozzle* 244°C Filamen ABS lalu yang terkecil yaitu sebesar 22.38 N dengan suhu *nozzle* 230°C Filamen PLA.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengaturan tentang kombinasi parameter-parameter proses optimal yang berpengaruh terhadap nilai kekuatan *bending* [10]. Kemudian dianalisis menggunakan metode *Taguchi larger is better* [11]. Banyak faktor yang mempengaruhi dari hasil produk yang dicetak menggunakan mesin *3D Printing*. Dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Cause and Effect Pada 3D Printing

2. METODE PENELITIAN

2.1. Metode Penelitian

Objek pada penelitian ini dilakukan pada mesin *3D printing* berteknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) merek Ender 3 Pro dengan luas area pencetakan sebesar XYZ; 220 mm x 220 mm x 250 mm dengan menggunakan *nozzle* berdiameter 0,4 mm, filamen yang digunakan adalah *Nylon* buatan dari CCTREE, dengan berdiameter 1,75 mm, pengujian nilai kekuatan bending dengan menggunakan mesin merek *Zwick Roell Z020*. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi fisik dan mekanik *Nylon* yang digunakan pada penelitian ini. Penelitian dilakukan

dengan metode Taguchi, dimana telah ditentukan parameter proses seperti *Layer Thickness*, *Infill Pattern*, dan *Z-Orientation* yang dipadukan dengan *OA L₉* dengan tiga kali pengulangan sehingga hasil pengujian *bending* lebih akurat dan spesimen uji *bending* dicetak dengan standar ASTM D-790 ditunjukkan pada Gambar 2. Kemudian setelah dicetak pada semua spesimen akan dilakukan proses analisis data dengan menggunakan analisis *Taguchi Larger is Better*, dan menentukan nilai kekuatan *bending* tertinggi berdasarkan analisis data, kemudian dilakukan uji konfirmasi sebanyak tiga kali. untuk mengetahui nilai hasil optimasi.

Tabel 1. Sifat Fisik dan Mekanik *Nylon*

Titik lebur(°C)	250-263
Kekerasan Rockwell	106
Konduktivitas Termal(BTU di/ft ² °F)	2,01
Panas Laten Difusi(BTU/lb)	35,98
Koefisien Gesekan	0,10-0,30
Kepadatan (g/cm ³)	1,15
Konduktivitas Listrik (S/m)	10-12



Gambar 1. Bentuk dan Ukuran Spesimen ASTM D-790

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam riset ini sebagai berikut:

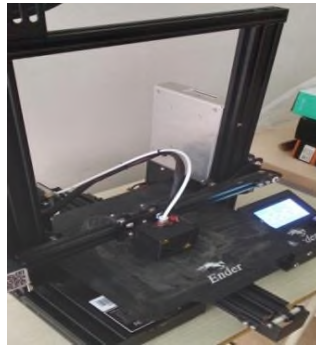
1. Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah filamen *Nylon* yang

akan dicetak dengan menggunakan mesin *3D printing* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Filamen *Nylon*

2. Mesin *Printing FDM Ender 3 Pro* dengan dimensi 220 mm x 220 mm x 250 mm seperti yang akan ditunjukkan pada Gambar 4.



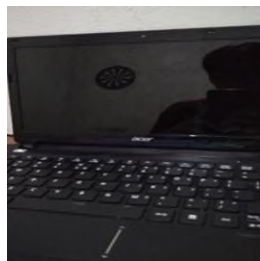
Gambar 4. Mesin 3D Printing Ender 3 Pro

3. Mesin uji *bending Zwick Roell Z020* untuk menguji spesimen hasil cetakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Mesin Uji Bending Zwick Roell Z020

4. Laptop Acer sebagai media menjalankan *software* program dan pencetakan spesimen dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Laptop Acer

5. *Software Solidwork* digunakan untuk mendesain *specimen uji bending ASTM D-790* dengan format STL.
6. *Software Ultimaker Cura* software ini digunakan untuk memasukkan parameter dan G-code untuk menjalankan mesin 3D printing.
7. *Software analisis* digunakan untuk menentukan variasi parameter dan faktor yang berpengaruh terhadap variabel dependen pada metode DOE.

2.3. Proses Penelitian

2.3.1. Identifikasi masalah

Pada langkah ini dilakukan proses identifikasi permasalahan yang kerap terjadi pada proses pencetakan filamen *Nylon* pada mesin *3D printing*. Diawali dari studi literatur yang di dapatkan dari jurnal-jurnal tentang penelitian *3D printing* setelah itu jurnal-jurnal tersebut dijadikan rujukan guna penentuan tujuan melaksanakan penelitian.

2.3.2. Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini meliputi variabel proses serta variabel respon. Pada variabel proses ini meliputi *Layer Thickness*, *Infill Pattern*, dan *Z-Orientation* sebaliknya variabel respon meliputi kekuatan *bending*.

2.3.3. Identifikasi Nilai Variabel Proses

Identifikasi nilai variabel proses ini didapatkan dari variabel proses yang sudah ditentukan lebih dahulu serta nilai variabel prosesnya tersebut didapatkan dari referensi jurnal-jurnal penelitian tentang *3D printing* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Parameter Dan Level Penelitian

Parameter Proses Slicing	Level		
	1	2	3
Layer Thickness (mm)	0,21	0,24	0,27
Infill Pattern	Grid	Rectilinear	Wiggle
Z-Orientation (°)	0	15	30

2.3.4. Pemilihan Matrik OA

Pada pemilihan matrik OA ini harus memiliki derajat kebebasan, total dari derajat kebebasan variabel proses dan level faktor yang digunakan adalah 6 total derajat kebebasan dapat dilihat pada Tabel 3.

Sesuai dengan pilihan yang tersedia matrik OA $L_9 (3^3)$ untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan. Tabel 4. menunjukkan desain faktorial $L_9 (3^3)$ untuk spesimen uji menunjukkan nilai dari tiap parameter proses yang digunakan untuk mencetak spesimen yang akan diuji *bending*.

Tabel 3. Total Derajat Kebebasan

Parameter Proses	Jumlah Level (k)	υfl - (k-1)
Layer Thickness	3	2
Infill Pattern	3	2
Z-Orientation	3	2
Total Derajat Kebebasan		6

Tabel 4. Desain Eksperimen Taguchi $L_9 (3^3)$ [12]

No.Exp	Layer Thickness (mm)	Infill Pattern	Z Orientation (°)
1	0,21	Rectilinear	0
2	0,21	Grid	15
3	0,21	Wiggle	30
4	0,24	Rectilinear	15
5	0,24	Grid	30
6	0,24	Wiggle	0
7	0,27	Rectilinear	30
8	0,27	Grid	0
9	0,27	Wiggle	15

2.4. Pembuatan Spesimen

Tahapan-tahapan pembuatan spesimen sebagai berikut:

1. Membuat desain spesimen ASTM D-790 di *software solidwork* dalam bentuk format *file STL*.

2. Kemudian format *file STL* tersebut dimasukkan pada *software Ultimaker Cura* untuk melakukan penyetingan parameter proses dan level yang telah ditentukan untuk mendapatkan *G-code*.

3. Selanjutnya proses pencetakan spesimen pada mesin *3D Printing* menggunakan filamen *Nylon CCTREE* Spesimen dapat dilihat pada Gambar 7.
4. Setelah semua hasil spesimen dicetak akan dilakukan uji bending.



Gambar 7. Spesimen Uji *Bending*

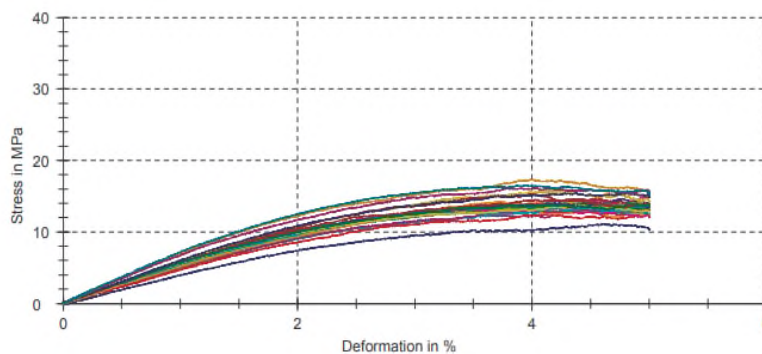
2.5. Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen dilakukan dengan menggunakan mesin uji *bending* yang kemudian hasil dari proses pengujian dimasukan pada Tabel Grafik Hasil Uji *Bending* dapat dilihat pada Gambar 8.

Setelah dilakukan proses pengujian pada mesin uji *bending*, data yang didapatkan dihitung dan dianalisis dengan menggunakan *software* analisis untuk mengetahui nilai dari *S/N Ratio larger is better* dan menentukan nilai optimum dari parameter yang telah diuji.

2.6. Pengolahan Data

Series graph:



Gambar 8. Grafik Hasil Uji *Bending*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data serta hasil perhitungan spesimen yang sudah dilakukan pengujian *bending*, setelah itu dapat disajikan dalam

bentuk grafik guna memudahkan proses analisis dan pembahasan. Adapaun hasil dari pengujian *bending* dapat dilihat pada Tabel 5.

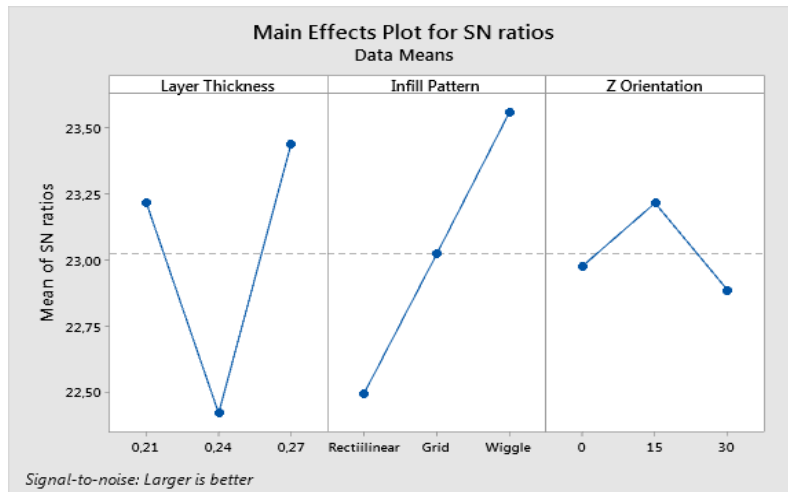
Tabel 5. Hasil Uji *Bending*

No.Exp	A	B	C	Rata-rata
1	14	13,5	14,7	14.066
2	15,5	15	13,1	14,533
3	15,8	15,3	14,1	15,066
4	11,2	13,8	13,2	12,733
5	14	14,1	12,5	13,533
6	14	13,9	13	13,633
7	13,1	13,4	13,7	13,4
8	14,5	14	15,5	14,666
9	17,5	16,2	16,6	16,7

3.1. Perhitungan Respon *S/N Ratio Larger Is Better*

Data hasil pengujian *bending* dimasukan pada *software* untuk dianalisis untuk memperoleh hasil dari *S/N Ratio Larger Is Better* dapat dilihat pada Gambar 9 dan Tabel 6. Berdasarkan pada Gambar 9 parameter proses yang optimal terhadap kekuatan *bending* yaitu *Layer Thickness* (0,27

mm), *Infill Pattern* (*wiggle*), *Z-Orientation* (15°). Sedangkan Berdasarkan pada Tabel 6 parameter proses yang paling berpengaruh terhadap pengujian *bending* yaitu *Infill Pattern* dan parameter lain yang paling berpengaruh secara berturut-turut yaitu *Infill Pattern*, *Layer Thickness*, *Z Orientation*.



Gambar 9. Grafik S/N Ratio.

Tabel 6. S/N Ratio "Larger Is Better"

Response Table For Means Larger is Better			
Level	Layer Thickness (mm)	Infill Pattern	Z Orientation (°)
1	23,22	22,49	22,98
2	22,42	23,02	23,22
3	23,44	23,56	22,89
Delta	1,02	1,07	0,33
Rank	2	1	3

3.2. Perhitungan Persen Kontribusi

Pada persen kontribusi ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sebuah faktor dan level terhadap pengujian *bending* dapat dilihat pada Tabel 7. Parameter proses yang berpengaruh

terhadap kekuatan *bending* menurut perhitungan kontribusi secara berturut-turut yaitu *Layer Thickness* sebesar 43%, *Infill Pattern* sebesar 42%, dan *Z-Orientation* sebesar 4%.

Tabel 7. Persen Kontribusi S/N Ratio

Sumber variasi	db	SS	MS	Fhitung	Persen Kontribusi
Layer Thickness(mm)	2	1,7020	0,8510	3,7882	43%
Infill Pattern	2	1,6794	0,8397	3,7379	42%
Z-Orientation(°)	2	0,1626	0,0813	0,3619	4%
Error	2	0,4493	0,2246		11%
Total	8	3,9933			100%

4. SIMPULAN

Berdasarkan pada hasil analisa eksperimen menggunakan metode Taguchi, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian *bending* yang paling optimum dari 3 parameter proses dengan 3 level faktor yaitu menggunakan parameter:

- *Layer Thickness level 3* (0,27 mm)
- *Infill Pattern level 3* (Wiggle)
- *Z-Orientation level 2* (15°)

Berdasarkan pada Tabel 7 *S/N Ratio* terdapat parameter yang berpengaruh paling signifikan terhadap kekuatan *bending* adalah *Layer Thickness* sebesar 43%, *Infill Pattern* sebesar 42%, dan *Z-Orientation* sebesar 4%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Noorani, *3D Printing: Technology, Applications, and Selection*, 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1201/9781315155494>
- [2] T. Rusianto and S. Huda, "A Riview: Jenis dan Pencetakan 3D (3D Printing) Untuk Pembuatan Prototipe," *J. Teknol.*, vol. 12, no. 1, pp. 14-21, 2019.
- [3] P. Priistiansyah, H. Hasdiansah, and S. Sugiyarto, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 33-40, Jul. 2019, doi: 10.33504/manutech.v11i01.98.
- [4] A. F. Hanafi and A. Finali, "Analisa Perubahan Temperatur Extruder dan Heat Bed Terhadap Sifat Mekanik Material Produk 3D Printer Tipe Fused Deposition Modelling (FDM) Menggunakan Filamen PLA+ Esun," *Eng. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 457-465, 2020.
- [5] W. H. Pratama, H. -, and H. -, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Material Filamen PLA + Menggunakan Metode Taguchi," *SPROCKET J. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 39-45, Aug. 2021, doi: 10.36655/sprocket.v3i1.568.
- [6] H. Hasdiansah, "Optimization of Process Variables in 3D Printing on Dimensional Accuracy Using Nylon Filaments," *IJNMT Int. J. New Media Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 1-5, Jul. 2022, doi: 10.31937/ijnmt.v9i1.2398.
- [7] A. Nugroho, R. Ardiansyah, L. Rusita, and I. L. Larasati, "Effect of layer thickness on flexural properties of PLA (PolyLactid Acid) by 3D printing," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1130, p. 012017, Nov. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1130/1/012017.
- [8] I. D. Agustini, H. Hasdiansah, and A. Anggry, "Optimasi Akurasi Dimensi Hasil Cetakan Proses 3D Printing yang Terbuat Dari Filamen Nylon Menggunakan Metode Taguchi," *Proceeding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, Polman Negeri Bangka Belitung, Sungailiat, 2022, pp. 58-64.
- [9] L. N. Ikhsanto and Z. Zainuddin, "Analisa Kekuatan Bending Filamen ABS dan PLA Pada Hasil 3D Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle," *J. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 9-17, 2020, doi: 10.23917/mesin.v21i1.9418.
- [10] A. Kołodziej, P. Żur, A. Baier, and W. Borek, "Influence of 3D-printing Parameters on Mechanical Properties of PLA defined in the Static Bending Test," *Eur. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 65-70, Jan. 2019, doi: 10.33422/EJEST.2019.01.52.
- [11] A. Mitra, "The Taguchi method," *Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat.*, vol. 3, no. 5, pp. 472-480, 2011, doi: <https://doi.org/10.1002/wics.169>.
- [12] E. I. Riza, C. Budiyanoro, and A. W. Nugroho, "Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Material PETG Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 66-75, 2020.