

## Pengaruh Parameter Proses Pada Pencetakan 3D *Printing* Terhadap Akurasi Dimensi Filamen Petg Menggunakan Metode Taguchi

Rosalina<sup>1</sup>, Muhammad Subhan<sup>1</sup>, Pristiansyah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

E-mail : rosalinax1739@gmail.com

Received : 23 November 2023; Received in revised form : 7 Februari 2024;

Accepted : 23 Februari 2024

### Abstract

3D printing technology is very widely used, especially in the industrial sector. In the 3D printing process, prototyping can be made in a short time. Fused Deposition Modeling (FDM) technology is a technique used to print products using materials and products that have ideal geometric characteristics. Based on the research that has been done, the authors conducted research on 3D Printing using PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) filament types with process parameters namely print temperature (245°C), (250°C), (255°C), infill overlap percentage (50%), (60%), (70%), and layer height (0.05 mm), (0.10 mm), (0.15 mm). With the Taguchi  $L_{27}(3^5)$  method for printing products using 3 parameters and 3 level in response to dimensional accuracy and transparency. This study aims to determine the dimensional accuracy of 3D printing product materials with PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) filaments with different parameters using the Taguchi Method and to find out how much they affect printing using PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) filaments with 3 process parameters tested are: print temperature, infill overlap percentage, layer height, and with three levels that affect the testing of dimensional accuracy and transparency. Based on the experiments conducted in this study, it can be conclude that the highest dimensional accuracy for diameter is printed specimens with the parameter values print temperature (245°C), infill overlap percentage (60%) and layer heights (0,05 mm, while the highest dimensional accuracy for height is printed specimens with the parameter values print temperature (245°C), infill overlap percentage (70%) and layer heights (0,15 mm).

**Keywords:** 3D printing, PETG, Taguchi Method, Dimensional Accuracy & Transparency

### Abstrak

Teknologi pencetakan 3D sangat banyak digunakan khususnya dalam bidang industri. Pada proses 3D *printing*, pembuatan prototype dapat dibuat dalam waktu yang singkat. Teknologi *Fused Deposition Modeling* ( FDM ) adalah teknik yang digunakan untuk mencetak produk 3D menggunakan bahan yang mempunyai karakteristik geometris ideal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis melakukan penelitian tentang 3D *Printing* menggunakan jenis filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) dengan parameter proses yaitu *print temperature* (240°C), (245°C), (250°C), *infill overlap percentage* (50%), (60%), (70%) and *layer height* (0.05 mm), (0.10 mm), (0.15 mm). Dengan Metode Taguchi  $L_9(3^3)$  untuk mencetak produk menggunakan 3 parameter dan 3 level dalam respon akurasi dimensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi dimensi dari bahan produk 3D printing dengan bahan filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) dengan parameter berbeda menggunakan Metode Taguchi dan mengetahui seberapa besar pengaruhnya dalam pencetakan menggunakan filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*), dengan 3 parameter proses yang diuji yaitu : *print temperature*, *infill overlap percentage*, *layer height*, dan dengan tiga level yang berpengaruh pada pengujian akurasi dimensi. Kesimpulan dari eksperimen dalam penelitian ini menyatakan bahwa akurasi dimensi tertinggi untuk diameter adalah spesimen hasil pencetakan dengan nilai parameter *print temperature* (245°C), *infill overlap percentage* (60%), dan *layer heights*(0,05 mm),

sedangkan akurasi dimensi tertinggi untuk diameter tinggi adalah spesimen hasil pencetakan dengan nilai parameter *print temperature* (245°C), *infill overlap percentage* (70%), dan *layer heights* (0,15 mm).

**Kata kunci:** 3D Printing, PETG, Metode Taguchi, & Akurasi Dimensi

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di dunia manufaktur yang semakin pesat membawa dampak yang begitu besar, salah satunya yaitu teknologi 3D printing atau juga dikenal sebagai *additive manufacturing*. *Additive manufacturing* adalah proses pembuatan benda solid 3D dari sebuah file digital (CAD/Computer Aided Design). 3D printing adalah teknologi proses manufaktur FDM (*Fuse Deposition Modeling*) yang banyak dikembangkan untuk membuat *prototype* cepat sesuai dengan desain yang diinginkan [1].

Proses 3D printing teknologi FDM bisa dikatakan mencetak sebuah produk menggunakan proses *additive* dengan menambahkan bahan-bahan dasar secara berurutan atau layer per layer sesuai dengan bentuk file digital yang telah didesain terlebih dahulu. Apabila dibandingkan dengan metode konvensional manufaktur, penggunaan *additive manufacturing* menggunakan 3D printing lebih menguntungkan. *Rapid prototyping* pada komponen mekanik dengan teknik-teknik dan daya muat produksi yang rendah dapat memproduksi *prototype* dengan cepat [2].

Pada sebuah penelitian mengenai akurasi dimensi pada mesin 3D printing FDM menggunakan material Eflex, parameter yang mempengaruhi akurasi dimensi yaitu: *print speed*, *overlap*, *flowrate*, *layer thickness*, *nozzle temperature*, dan *fan speed*. Pengoptimalan parameter proses ini dilakukan menggunakan metode Taguchi L<sub>27</sub> OA. Berdasarkan penelitian dengan spesimen berbentuk kubus ini, parameter proses optimal untuk memperoleh akurasi dimensi X, Y, Z berturut-turut adalah laju alir (*flowrate*) 110%, 120%, 120%, ketebalan lapisan (*layer thickness*) 0,10 mm, 0,20 mm, 0,30 mm, suhu nozel (*nozzle temperature*) 210° C, 230° C, 210° C, kecepatan cetak (*print speed*) 40 mm/s, 30 mm/s, 30 mm/s, tumpang tindih (*overlap*) 75%, 75%, 50%,

dan kecepatan kipas (*fan speed*) 50%, 100%, 100% [3]

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [1], parameter proses yang optimal dengan filamen PLA (*Polylactic Acid*) menggunakan metode Taguchi L<sub>27</sub> OA untuk akurasi dimensi tinggi benda uji yaitu dengan suhu *nozzle* (185°C), ketebalan lapisan (0,20 mm), kecepatan cetak (40 mm/s), laju pengisian (8%), dan pelat berbasis suhu (40°C).

Pada sebuah penelitian peningkatan kualitas tingkat akurasi dimensi bisa disimpulkan bahwa parameter sangat mempengaruhi perlakuan pengujian. Untuk akurasi dimensi filamen eSteel, parameter yang sangat berpengaruh yaitu persentase *print temperature* 46,502%, *print temperature* 215°C, *prints speed* 35 mm/s, dan *layer height* 0,35 mm [4].

Berdasarkan sebuah penelitian uji transparansi produk dengan dimensi spesimen atau objek cetak berukuran diameter 35 mm dan tebal 2 mm, nilai tingkat transparan produk hasil pencetakan mesin 3D printing FDM dengan filamen PETG yang paling tinggi adalah 36,667 lux, dan yang paling rendah adalah 117,667 lux [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter optimal proses 3D printing menggunakan filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) terhadap akurasi dimensi dan transparansi. Dalam upaya mendukung penelitian mencapai hasil yang baik, maka analisis yang digunakan merupakan hasil pertimbangan dari beberapa penelitian terkait yaitu metode Taguchi [6]. Metode Taguchi memiliki tiga karakteristik kualitas, yaitu, semakin besar semakin baik (*larger is better*), nilai tertentu adalah yang terbaik (*normal is best*) [7], dan semakin kecil semakin baik (*smaller is better*) [8]. Optimasi dengan metode Taguchi bisa dilakukan menggunakan *software* minitab [9] [10]. Metode ini diusulkan untuk penelitian optimasi proses pencetakan yang dimana metode taguchi digunakan untuk

menganalisis hubungan antar variabel dan untuk mengoptimalkan respon dalam proses pencetakan 3D *printing* [11].

Oleh karena itu, dengan menggunakan metode Taguchi, analisis hasil pada cetakan produk menggunakan filamen PETG dilakukan dalam pengujian akurasi dimensi, dengan berdasarkan acuan beberapa penelitian terdahulu [12] yang menggunakan metode Taguchi [13] dapat memecahkan permasalahan untuk menemukan nilai parameter optimal yang membantu analisis kualitas dari produk.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Metode Penelitian

Mesin 3D *printing* merupakan objek yang digunakan pada penelitian ini. Mesin *printer* yang digunakan adalah *printer* 3D FDM Ender 3-Max dengan ukuran XYZ 300

mm x 300 mm x 350 mm dengan diameter *nozzle* sebesar 0,4 mm. Filamen yang akan digunakan adalah PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) merupakan turunan dari jenis plastik PET, namun ditambahkan glikol untuk menghasilkan karakteristik kimiawi tertentu. Filamen PETG yang digunakan ini yaitu memiliki ukuran diameter 1,75 mm dan dapat dipanaskan dengan suhu 230-250°C. Filamen PETG memiliki karakteristik kekuatan yang lebih tinggi, penyusutan lebih rendah, dan ketahanan kimia yang baik. Filamen ini mengandung penyerap UV dan hidrofobisitas yang baik (tidak mudah menyerap air). Ini juga memiliki kekuatan yang baik dan ulet sehingga menjadikannya bahan yang baik dan tangguh untuk komponen mekanik [14].

Tabel 1. Rincian Spesifikasi Filamen PETG

Spesifikasi Filamen	
<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Print Temperature</i>	230-250 °C
<i>Print Bed Temperature</i>	40-50 °C
<i>Hot Bed Temperature</i>	>100 °C
<i>Roundness Tolerance</i>	0,01-0,02 mm
<i>Net Weight</i>	1 kg/roll
<i>Infil Speed</i>	20-50 mm/s

Tahapan proses penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

### 2.1. Studi Literatur

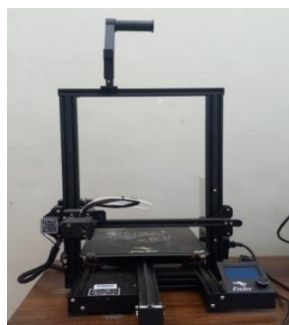
Studi literatur adalah teori yang mencari referensi dengan kasus konflik yang

dilakukan. Referensi ini terdiri dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, artikel, laporan artikel dan situs-situs internet. Studi literatur ini mendukung dalam sebuah penelitian.

### 2.2. Alat Penelitian

1. Mesin 3D *printing* yang digunakan adalah mesin *printer* 3D FDM Ender 3-Max dengan ukuran XYZ 300 mm x

300 mm x 350 mm yang digunakan untuk mencetak spesimen yang akan diuji, diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin *Printer* 3D Ender 3-Max

2. Bahan/filamen yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah filamen PETG yang akan dicetak, diperlihatkan pada Gambar 2,



Gambar 2. Filamen PETG  
Sumber: (Solarbotics, 2018)

3. Alat uji akurasi dimensi, yaitu menggunakan jangka sorong dengan nilai ketelitian 0,01 mm.



Gambar 3. Jangka Sorong

4. Alat uji transparansi yaitu *Digital Lux Meter*.



Gambar 4. *Digital Lux Meter*

5. Laptop Acer sebagai media untuk menjalankan *software* desain gambar digital atau CAD (Autodesk Fusion 360), menganalisa hasil pengujian (Minitab) pencetakan 3D printer (*Ultimaker Cura 4.1.1.*)

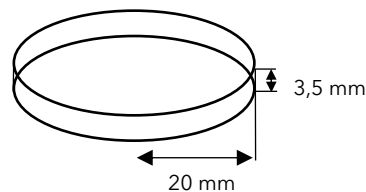


Gambar 5. Laptop Acer

6. *Software Solidwork*. Sesuai fungsinya, program ini akan digunakan sebagai alat rancangan atau desain spesimen yang telah direncanakan untuk bahan uji akurasi dimensi dan Transparansi. Pada program ini, *soft file* akan disimpan dengan format .STL.
7. *Software Slicer Ultimaker Cura 4.1.1*. Program ini berfungsi sebagai pembaca file STL atau menjalankan G-code desain yang telah dibuat dan mengatur parameter mesin serta menjalankan mesin 3D *printer*
8. *Software Minitab 19* Program ini akan membantu pengolahan data yang akan dilakukan dalam Penentuan variasi parameter atau faktor-faktor yang berpengaruh terhadap variabel pada metode *Design of Experiment* (DoE).

#### 2.4 Objek Penelitian

Desain material yang akan diuji pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini,



Gambar 6. Desain Spesimen Uji

Desain tersebut dibuat menggunakan *software* Autodesk Fusion 360.

#### 2.5 Proses Penelitian

##### 2.5.1 Mengidentifikasi Masalah

Pada tahap identifikasi dilakukan pengulangan kembali mengenai permasalahan yang sering terjadi pada pencetakan 3D *printing* dan filamen PETG. Berawal dari studi literatur mengenai materi terkait yang bersumber dari jurnal-jurnal dan buku-buku sebagai rujukan agar dapat

##### 2.5.2 Penentuan Parameter dan Nilai Parameter Proses

Parameter proses yang digunakan adalah berupa faktor dan eksperimen, yaitu ditentukan oleh parameter metode yang digunakan dalam penelitian ini. Parameter melaksanakan tujuan dari penelitian yang dilakukan.

pada peneliian ini ada 3 antara lain: *print temperature* (°C), *overlap* (%), dan *layer height* (mm), menggunakan desain *Taguchi L<sub>9</sub>* dengan 3 faktor dan 3 level.

##### 2.5.3 Pemilihan Matrik OA (*Orthogonal Array*)

Pengimplementasian matriks orthogonal harus memiliki derajat kebebasan yang lebih besar atau sama dari keseluruhan parameter proses tingkat faktor dan derajat kebebasan faktor yang sudah ditetapkan, ditunjukkan pada tabel di bawah ini,

Tabel 2. Menentukan Derajat Kebebasan

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
1	<i>Print Temperature</i>	245°C	250°C	255°C
2	<i>Infil Overlap Percentage</i>	50%	60%	70%
3	<i>Layer Height</i>	0,05 mm	0,10 mm	0,15 mm

Tabel di atas menunjukkan derajat kebebasan minimal termasuk dalam matriks orthogonal yang akan digunakan sebanyak 10. Oleh karena itu, rancangan ini berarti memenuhi kondisi yang berlaku sebagai rancangan desain eksperimen dengan matriks orthogonal  $L_{27} (3^3)$  dengan memiliki 5 kolom dan 27 baris.

Eksperimen dilakukan secara acak dengan parameter yang telah dikombinasi dengan mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai matriks orthogonal, kemudian dilakukan pendesainan faktorial metode *Taguchi L<sub>27</sub> orthogonal array (OA)* menggunakan *software Minitab*.

Tabel 3. Desain Faktorial Penelitian L27 OA

<i>Print Temperature</i>	<i>Infil Overlap Percentage</i>	<i>Layer Height</i>
245	50	0.05
245	60	0.10
245	70	0.15
250	50	0.10
250	60	0.15
250	70	0.05
255	50	0.15
255	60	0.05
255	70	0.10

## 2.6 Pembuatan Spesimen

Tahapan dalam pembuatan spesimen adalah sebagai berikut,

1. Membuat spesimen sesuai dengan desain yang telah dibuat pada software CAD (dalam hal ini yang digunakan adalah *software Fusion 360*) dalam format STL desain.
2. Format STL desain tersebut diletakkan pada *software slicer (Ultimaker Cura 4.0.0)* untuk mengatur parameter proses dan level yang ditentukan sebelumnya untuk kemudian mendapatkan *G-code*.
3. Selanjutnya dilakukan proses pencetakan spesimen menggunakan filamen PETG dengan parameter proses yang telah dirancang.
4. Setelah semua spesimen dicetak, maka selanjutnya dilakukan pengujian akurasi dimensi dan transparansi.

### 2.6.1 Pengujian Spesimen

Setelah melakukan pencetakan, selanjutnya adalah pengujian akurasi dimensi menggunakan jangka sorong dan transparansi menggunakan *digital lux meter* terhadap spesimen yang telah dicetak. Dilanjutkan dengan pengambilan data hasil pengujian yang kemudian diolah untuk mendapatkan hasil yang optimal sesuai dengan tujuan penelitian ini.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang telah diambil dari hasil pencetakan spesimen atau benda kerja dengan kombinasi parameter yang telah digunakan pada mesin 3D printing, selanjutnya akan dianalisis hasil pengukuran dimensinya.

Tabel 4 Data Hasil Uji dan Nilai S/N Ratio Diameter

R1	R2	R3	Mean	SNRA1
40.16	40.46	40.26	40.29	48.4249
40.12	40.16	40.25	40.18	55.6122
40.22	40.18	40.03	40.14	52.0578
40.02	40.11	40.08	40.07	58.8342
40.22	40.14	40.11	40.16	56.9786
40.15	40.16	40.12	40.14	65.7040
40.32	40.16	40.28	40.25	53.6866
40.38	40.22	40.36	40.32	53.3023
40.32	40.18	40.08	40.19	50.4594

Untuk nilai akurasi dimensi pada diameter spesimen yang paling optimum yaitu terjadi pada spesimen desain *factorial L<sub>9</sub>* dengan *nozzle temperature* (250°C), *infill*

*overlap percentage* (50%), dan *layer height* (0,10 mm), dengan rata-rata nilai uji sebesar 40,07mm.

Tabel 5 Data Hasil Uji dan Nilai S/N Ratio Diameter

R1	R2	R3	MEAN	SNRA1
3.43	3.30	3.29	3.34	32.6216
3.12	3.32	3.16	3.20	29.6108
3.67	3.45	3.43	3.52	28.4347
3.19	3.22	3.29	3.23	35.9880
3.11	3.05	3.04	3.07	38.1699
3.22	3.37	3.44	3.34	29.4684
3.37	3.40	3.34	3.37	41.0102
3.15	3.11	3.26	3.17	32.2247
3.14	3.37	3.11	3.21	27.0604

Untuk nilai akurasi dimensi pada tinggi spesimen yang paling optimum yaitu terjadi pada spesimen desain *factorial L<sub>9</sub>* dengan *nozzle temperature* (245°C), *infill*

*overlap percentage* (70%), dan *layer height* (0,15 mm) dengan rata-rata nilai uji sebesar 3,52 mm.

3.1. S/N Ratio

Tabel 6. S/N Ratio untuk Diameter dan Tinggi Spesimen

Diameter				Tinggi			
Level	Print Temperature	Infill Overlap Percentage	Layer Height	Level	Print Temperature	Infill Overlap Percentage	Layer Height
1	52.03	53.65	55.81	1	30.22	36.54	31.44
2	60.51	55.30	54.97	2	34.54	33.34	30.89
3	52.48	56.07	54.24	3	33.43	28.32	35.87
Delta	8.47	2.43	1.57	Delta	4.32	8.22	4.99
Rank	1	2	3	Rank	3	1	2

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan, dapat disimpulkan bahwa hasil uji akurasi dimensi dengan 3 parameter proses yang diuji antara lain:

*layer height*, *print temperature*, dan *infill overlap percentage*, parameter proses yang paling berpengaruh pada hasil uji akurasi dimensi berurutan yaitu: *print temperature*,

*infiil overlap percentage*, dan *layer height*. Nilai akurasi dimensi pada diameter spesimen yang paling optimum yaitu terjadi pada spesimen desain *factorial L<sub>9</sub>* dengan *nozzle temperature* (250°C), *infiil overlap percentage* (50%), dan *layer height* (0,10 mm), dengan rata-rata nilai uji sebesar 40,07 mm. Sedangkan untuk nilai akurasi dimensi

pada tinggi spesimen yang paling optimum yaitu terjadi pada spesimen desain *factorial L<sub>9</sub>* dengan *nozzle temperature* (245°C), *infiil overlap percentage* (70%), dan *layer height* (0,15 mm), dengan rata-rata nilai uji sebesar 3,52 mm.

## 5. SARAN

Setelah dilakukan penelitian ini yang berjudul "Optimasi Parameter Proses 3d Printing Terhadap Akurasi Dimensi Dan Transparansi Filamen Petg Menggunakan Metode Grey Taguchi", ada beberapa saran yang diberikan penulis untuk dapat menunjang penelitian terkait yang akan dilakukan selanjutnya agar dapat lebih baik nantinya, antara lain:

1. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk menggunakan metode yang berbeda dari penelitian ini agar dapat dikembangkan lebih jauh.

2. Menggunakan parameter yang berbeda dan lebih bervariasi untuk mengetahui parameter yang berpotensi dan paling berpengaruh terhadap hasil dan respon yang berbeda dari penelitian yang telah digunakan ini dimana menggunakan filamen PETG dengan mesin 3D printing model Creality Ender 3 Pro.
3. Menggunakan mesin yang berbeda agar dapat menemukan fenomena-fenomena baru mengenai pengaruh parameter terhadap respon yang diuji.
4. Selalu memastikan kestabilan listrik pada saat proses pencetakan agar tidak terjadi kecacatan pada hasil pencetakan dan tidak terjadi pengulangan dalam mencetak.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Malinda C; Pristiansyah; Yudi Oktriadi, "Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 13, no. 01, pp. 0-8, 2021, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>
- [2] M. Rivaldi and M. Yunus, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Bentur Menggunakan Filamen Polycarbonate," vol. 01, no. 1, 2023.
- [3] Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto, "Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 0-7, 2019, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>
- [4] I. Apriansyah, A. Zamheri, and F. Arifin, "Peningkatan akurasi dimensi dan tingkat kekerasan pada fillamen esteel dengan pendekatan metode Taguchi," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 1-7, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/machinery/article/view/2150/1379>
- [5] H. Pristianyah, "Pengaruh Parameter 3D Printing Terhadap Transparansi Produk yang Dihasilkan," *Semin. Nas. Inov. Teknol.*, vol. 6, pp. 181-186, 2018.
- [6] B. Aji, Y. F. Ariyani, P. Manufaktur, and N. Bangka, "Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filamen PETG ( Polyethylene Terephthalate Glycol )," vol. 01, no. 2, 2023.
- [7] N. S. & A. Jović, "Application of Grey System Theory to Software Projects Ranking Application of Grey System Theory to Software Projects Ranking," vol. 1144, 2017, doi: 10.7305/automatika.53-3.80.
- [8] P. Halimah and Y. Ekawati, "Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan

- pada UD . XY Malang Application of the Taguchi Method to Improve the Quality of Lightweight Bricks at UD . XY Malang," pp. 13-26, 2020, doi: 10.30813/jiems.v13i1.1694.
- [9] A. Marsinta Arsani, *Buku Aplikasi Minitab Untuk Statistisi Pemula*, no. March. 2022.
- [10] A. Mufarrih, *Optimasi Multi Respon dengan Metode Taguchi- Grey-Fuzzy Pada Proses Gurdi Material Kevlar Reinforced Polymer ( Kfrp ) yang Ditumpuk Response Taguchi-Grey-Fuzzy Method In Drilling Of Kevlar Fiber Reinforced Polymer ( Kfrp ) Stacked*. 2015.
- [11] A. Mufarrih and K. Nadliroh, "Aluminium, Aplikasi Metode Taguchi-Grey untuk Optimasi Multirespon pada Pembubutan Aluminium," *Semin. Nas. Multidisiplin*, pp. 283-290, 2019.
- [12] S. Liu, J. Forrest, and Y. Yang, "A brief introduction to Grey systems theory Grey Systems: Theory and Application A brief introduction to grey systems theory Article information :," no. January 2015, 2011, doi: 10.1109/GSIS.2011.6044018.
- [13] J. Abutu, S. A. Lawal, M. B. Ndaliman, R. A. Lafia-Araga, O. Adedipe, and I. A. Choudhury, "Effects of process parameters on the properties of brake pad developed from seashell as reinforcement material using grey relational analysis," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 21, no. 4, pp. 787-797, 2018, doi: 10.1016/j.jestch.2018.05.014.
- [14] W. Riyan Saputra, "J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin," *J-Proteksion*, vol. 4, no. 13, pp. 1-6, 2020.