

Analisis dan Optimasi 3D Print Material Carbon Fiber Pla Menggunakan Metode Taguchi-Gra

Muhammad Zaki Afifuddin Khafid^{1*}, Angga Sateria¹, Zaldy Sirwansyah Suzen¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : mzaky3148@gmail.com

Received : 6 Februari 2024; Received in revised form : 22 Februari 2024;

Accepted : 27 Februari 2024

Abstract

One technology that is widely used in making products with ideal dimensions is 3D printing. 3D printing methods is Fused Deposition Modeling (FDM). The working principle of FDM is to extrude thermoplastic filaments through a heated nozzle and print layer by layer. Carbon Fiber is one of the most popular materials in the industry due to its strength and durability. This study was conducted to find the optimal combination of nozzle temperature, layer height, and print speed parameters for dimensional accuracy and surface roughness on Carbon Fiber filament products. The process parameters used in this study are nozzle temperature, layer height, and print speed. The nozzle temperatures used were 195°C, 210°C, and 225°C. The layer height variations used were 0.15 mm, 0.20 mm, and 0.25 mm. Meanwhile, the print speed is 70%, 85%, and 100%. The parameters will be arranged based on the orthogonal matrix $L_{27}(3^3)$ with interactions between parameters. Response parameters used are surface roughness and dimensional accuracy. Parameter optimization for Carbon Fiber filament products can use the parameters of nozzle temperature 195°C, layer height 0.20 mm, and print speed 85%.

Keywords: Carbon fiber; Dimensional accuracy; Optimization surface roughness; 3D printing.

Abstrak

Salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam pembuatan produk dengan dimensi yang ideal adalah 3D printing. Salah satu metode 3D printing yang banyak digunakan yaitu Fused Deposition Modelling (FDM). Prinsip kerja dari FDM ini adalah dengan mengesktruksi filamen thermoplastic melalui nozzle yang dipanaskan dan dicetak lapis demi lapis. Carbon Fiber merupakan salah satu material yang populer diindustri karena kekuatan dan daya tahan yang dimilikinya. Penelitian ini dilakukan untuk mencari kombinasi parameter suhu nozzle, layer height, dan print speed yang optimal terhadap akurasi dimensi dan kekasaran permukaan pada produk filamen Carbon Fiber. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu nozzle, layer height, dan print speed. Suhu nozzle yang digunakan adalah 195 °C, 210 °C, dan 225 °C. variasi layer height yang digunakan adalah 0.15 mm, 0.20 mm, dan 0.25 mm. Sedangkan untuk print speed sebesar 70%, 85%, dan 100%. Parameter tersebut akan disusun berdasarkan matriks ortogonal $L_{27}(3^3)$ dengan interaksi antar parameter. Parameter Respon yang digunakan adalah kekasaran permukaan dan akurasi dimensi. Kesimpulannya adalah parameter yang paling berpengaruh terhadap kedua respon tersebut adalah layer height. Optimasi parameter terhadap produk filamen Carbon Fiber dapat menggunakan parameter suhu nozzle 195 °C, layer height 0.20 mm, dan print speed 85%.

Kata kunci: Akurasi dimensi; Carbon fiber; Kekasaran permukaan; Optimasi; 3d printing.

1. PENDAHULUAN

Dengan perkembangan teknologi yang terus maju, proses manufaktur dengan teknologi 3D printing sangat banyak digunakan dalam proses pembuatan prototipe yang memiliki dimensi yang ideal

[1]. Dalam dunia industri, teknologi ini memiliki efisiensi yang ekonomis dikarenakan produksi produk bisa dilakukan dengan cepat karena pada rapid prototyping pada komponen mekanik menggunakan teknik dan volume produksi

rendah [2]. 3D *printing* yang umum digunakan adalah metode FDM (*Fused Deposition Modelling*). Prinsip kerja dari FDM ini adalah dengan mengesktruksi filamen thermoplastic melalui *nozzle* yang dipanaskan dan dicetak lapis demi lapis [3].

Dengan metode tersebut, tentunya akan menimbulkan efek lapisan pada sisi samping produk yang dicetak sehingga menyebabkan tingkat kekasaran permukaan yang tinggi. Padahal kualitas barang yang diproduksi ditentukan juga dengan kekasaran permukaan produk tersebut [4]. Kemudian semakin tinggi kecepatan cetak yang digunakan, maka semakin tinggi pula kekasaran permukaan yang dihasilkan [5]. Selain itu *layer height* yang digunakan pada proses pencetakan memiliki pengaruh yang besar terhadap kekasaran permukaan pada filamen PLA [6].

Fiilamen merupakan bahan *thermoplastic* yang memiliki sifat pemuain dan penyusutan. Oleh karena itu, produk yang dihasilkan belum tentu memiliki dimensi sesuai yang dirancang. Berkaitan dengan hal tersebut, langkah yang tepat adalah dengan menggunakan parameter proses yang tepat sehingga akurasi dimensi produk dapat optimal [7]. Akurasi dimensi pada filamen PETG sangat dipengaruhi oleh suhu *nozzle* yang digunakan [8]. Selain itu, parameter yang mempengaruhi akurasi dimensi pada filamen ABS adalah ketebalan lapisan yang digunakan [9].

Dengan perkembangan teknologi, filamen yang digunakan dalam 3D *printing* turut beraneka ragam. *Carbon Fyber* merupakan salah satu material yang populer diindustri karena kekuatan dan daya tahan yang dimilikinya [10]. Dengan teknologi yang dimiliki, *Carbon Fyber* dapat diubah dalam bentuk filamen untuk diproduksi menggunakan teknologi 3D *printing*. PLA yang ditambahkan *Carbon Fyber* meningkatkan kekuatan hingga 12,8% dan 16,4% [11].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mencari kombinasi parameter suhu *nozzle*, *layer height*, dan *print speed* yang optimal terhadap akurasi dimensi dan kekasaran permukaan pada produk filamen *Carbon Fyber*.

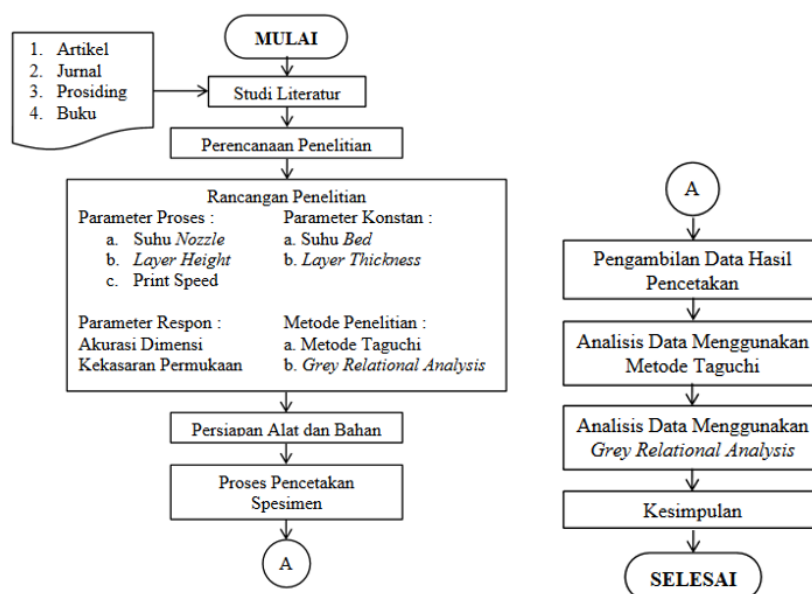
2. METODE PENELITIAN

2.1. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah produk 3D *printing* berupa kubus dengan desain sisi 20 milimeter yang dicetak menggunakan mesin 3D *printing Ender 3 Pro* dengan *nozzle* 0.4 mm. Filamen yang digunakan adalah *Carbon Fyber* berdiameter 1.75 mm.

2.2. Metode

Diagram alir digunakan untuk menggambarkan alur sistematis dari suatu kegiatan. Dalam penelitian ini diagram alir disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan dua metode, meliputi Taguchi yang digunakan untuk menentukan rancangan penelitian dan menganalisis pengaruh parameter proses terhadap tiap-tiap respon dan *Grey Relational Analysis* (GRA), digunakan untuk menganalisis pengaruh parameter proses terhadap kedua respon.

2.3. Perencanaan Penelitian

Setiap kegiatan tentunya diperlukan perencanaan yang baik. Pada penelitian ini, parameter dan level yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dan level penelitian

Parameter	Level		
	1	2	3
Suhu <i>Nozzle</i>	195°C	210°C	225°C
<i>Layer height</i>	0.15 mm	0.20 mm	0.25 mm
<i>Print speed</i>	70%	85%	100%

Berdasarkan konsep taguchi dan parameter yang digunakan pada Tabel 1, maka ditetapkan matriks ortogonal yang

digunakan adalah $L_{27} (3^3)$ dan rancangan penelitian dengan interaksi antar parameter yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancangan penelitian

Nomor Eksperimen	Suhu <i>Nozzle</i> (°C)	<i>Layer height</i> (mm)	<i>Print speed</i> (%)
1	195° C	15mm	70%
2	195° C	15mm	85%
3	195° C	15mm	100%
4	195° C	20mm	70%
5	195° C	20mm	85%
6	195° C	20mm	100%
7	195° C	25mm	70%
8	195° C	25mm	85%
9	195° C	25mm	100%
10	210° C	15mm	70%
11	210° C	15mm	85%
12	210° C	15mm	100%
13	210° C	20mm	70%
14	210° C	20mm	85%
15	210° C	20mm	100%
16	210° C	25mm	70%
17	210° C	25mm	85%
18	210° C	25mm	100%
19	225° C	15mm	70%
20	225° C	15mm	85%
21	225° C	15mm	100%
22	225° C	20mm	70%
23	225° C	20mm	85%
24	225° C	20mm	100%
25	225° C	25mm	70%
26	225° C	25mm	85%
27	225° C	25mm	100%

2.4. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan yang meliputi *mesin 3D Printing Ender 3 Pro* dengan area cetak XYZ 220 x 220

x 250 mm, Filamen *Carbon Fyber* dengan diameter 1.75 mm, Laptop ASUS yang digunakan dalam proses desain dan analisis, *MITUTOYO surfest SJ-210* digunakan untuk menguji kekasaran permukaan objek, dan

Mikrometer sekrup MITUTOYO dengan ketelitian 0.001 dan rentang 0 – 25mm.

2.5. Proses Pencetakan

Proses pencetakan dilakukan berdasarkan desain yang telah dibuat dan diubah dalam bentuk G-code. Objek yang akan dicetak berupa kubus dengan rusuk 20 mm yang disajikan pada Gambar 2. Pencetakan dilakukan dengan 3 kali replikasi tiap eksperimen.



Gambar 2. Objek Pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian yang dilakukan maka didapatkan data yang disajikan pada Tabel 3

2.6. Pengambilan Data

Proses pengambilan data menggunakan 2 buah alat uji yaitu MITUTOYO surftest untuk mengukur kekasaran permukaan pada sisi samping objek. Sedangkan mikrometer sekrup untuk mengukur akurasi dimensi.

untuk hasil kekasaran permukaan. Sedangkan Tabel 4 untuk hasil akurasi dimensi.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Eksperimen No	Hasil			Rata - Rata
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	
1	11.122	13.265	14.436	12.941
2	11.648	14.249	13.942	13.280
3	10.598	14.749	12.639	12.662
4	12.817	14.272	15.235	14.108
5	14.753	13.932	14.988	14.558
6	12.258	13.220	13.472	12.983
7	17.212	18.308	17.022	17.514
8	19.161	19.356	18.521	19.013
9	16.899	18.167	16.430	17.165
10	11.627	14.804	15.616	14.016
11	12.984	15.771	15.897	14.884
12	10.125	15.419	13.316	12.953
13	14.061	14.959	14.741	14.587
14	14.162	14.393	13.254	13.936
15	14.711	15.609	17.732	16.017
16	18.704	16.721	14.340	16.588
17	18.940	13.876	18.630	17.149
18	19.781	17.061	18.260	18.367
19	12.064	20.664	17.088	16.605
20	14.360	14.586	13.615	14.187
21	15.790	13.349	15.029	14.723
22	17.068	15.684	15.929	16.227
23	12.725	15.541	13.031	13.766
24	14.646	17.656	14.082	15.461
25	18.335	18.199	17.976	18.170
26	11.887	17.988	15.521	15.132
27	17.737	18.989	17.133	17.953

Tabel 4. Hasil Pengukuran Akurasi Dimensi

Eksperimen No	Hasil			Rata - Rata
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	
1	20.075	20.114	20.287	20.159
2	20.108	20.033	20.114	20.085
3	20.028	20.038	20.247	20.104
4	20.035	20.190	20.146	20.124
5	20.021	20.082	20.128	20.077
6	20.025	20.019	20.105	20.050
7	20.073	20.156	20.137	20.122
8	20.066	20.224	20.150	20.147
9	20.016	20.330	20.140	20.162
10	20.177	20.274	20.350	20.267
11	20.119	20.247	20.279	20.215
12	20.074	20.248	20.208	20.177
13	20.053	20.348	20.305	20.235
14	20.209	20.300	20.280	20.263
15	20.143	20.260	20.336	20.246
16	20.261	20.358	20.227	20.282
17	20.204	20.384	20.290	20.293
18	20.159	20.400	20.313	20.291
19	20.083	20.233	20.270	20.195
20	20.103	20.369	20.357	20.276
21	20.124	20.355	20.155	20.211
22	20.246	20.240	20.317	20.268
23	20.285	20.317	20.290	20.297
24	20.275	20.294	20.638	20.402
25	20.413	20.464	20.445	20.441
26	20.359	20.465	20.407	20.410
27	20.319	20.482	20.337	20.379

3.1. Analisis Taguchi Untuk Kekasaran Permukaan

Tujuan dilakukan analisis ini untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal pada filamen *Carbon Fiber*. Respon akurasi dimensi pada taguchi

menggunakan kondisi "*Smaller is Better*" karena semakin kecil tingkat kekasaran objek, maka kualitas objek tersebut semakin baik. Analisis akan dilakukan dengan perangkat lunak statistik. Hasil dari analisis kekasaran permukaan tersebut disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Suhu Nozzle	2	1.5411	1.5411	0.7706	1.80	0.191
Layer Height	2	18.0723	18.0723	9.0361	21.09	0.000
Print Speed	2	0.4528	0.4528	0.2264	0.53	0.598
Residual Error	20	8.5699	8.5699	0.4285		
Total	26	28.6361				

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	Suhu Nozzle	Layer Height	Print Speed
1	-23.40	-22.98	-23.88
2	-23.74	-23.30	-23.56
3	-23.98	-24.85	-23.69
Delta	0.58	1.87	0.32
Rank	2	1	3

Gambar 3. Anova SN Ratio

Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rata-rata	SNR	Normalisasi	Delta	Gamma
11.122	13.265	14.436	12.941	-22.288	0.953	0.047	0.915
11.648	14.249	13.942	13.280	-22.497	0.893	0.107	0.824
10.598	14.749	12.639	12.662	-22.127	1.000	0.000	1.000
12.817	14.272	15.235	14.108	-23.011	0.744	0.256	0.662
14.753	13.932	14.988	14.558	-23.266	0.670	0.330	0.603
12.258	13.220	13.472	12.983	-22.275	0.957	0.043	0.921
17.212	18.308	17.022	17.514	-24.872	0.206	0.794	0.386
19.161	19.356	18.521	19.013	-25.582	0.000	1.000	0.333
16.899	18.167	16.430	17.165	-24.701	0.255	0.745	0.402
11.627	14.804	15.616	14.016	-22.997	0.748	0.252	0.665
12.984	15.771	15.897	14.884	-23.490	0.606	0.394	0.559
10.125	15.419	13.316	12.953	-22.369	0.930	0.070	0.877
14.061	14.959	14.741	14.587	-23.282	0.666	0.334	0.599
14.162	14.393	13.254	13.936	-22.888	0.780	0.220	0.694
14.711	15.609	17.732	16.017	-24.119	0.424	0.576	0.464
18.704	16.721	14.340	16.588	-24.446	0.329	0.671	0.427
18.940	13.876	18.630	17.149	-24.763	0.237	0.763	0.396
19.781	17.061	18.260	18.367	-25.297	0.083	0.917	0.353
12.064	20.664	17.088	16.605	-24.597	0.285	0.715	0.412
14.360	14.586	13.615	14.187	-23.042	0.735	0.265	0.654
15.790	13.349	15.029	14.723	-23.381	0.637	0.363	0.580
17.068	15.684	15.929	16.227	-24.211	0.397	0.603	0.453
12.725	15.541	13.031	13.766	-22.812	0.802	0.198	0.716
14.646	17.656	14.082	15.461	-23.829	0.507	0.493	0.504
18.335	18.199	17.976	18.170	-25.187	0.114	0.886	0.361
11.887	17.988	15.521	15.132	-23.715	0.540	0.460	0.521
17.737	18.989	17.133	17.953	-25.091	0.142	0.858	0.368

Gambar 4. Nilai SN Ratio

3.2. Analisis Taguchi untuk Akurasi Dimensi

Tujuan dari analisis ini untuk mengetahui parameter yang paling optimal untuk akurasi dimensi produk filamen Carbon Fiber. Analisis ini dilakukan dengan perangkat lunak statistik. Berdasarkan

konsep metode taguchi, digunakan karakteristik "Nominal is Best" karena semakin dekat nilai dimensi produk dengan yang diharapkan maka semakin baik. Hasil dari analisis tersebut disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rata-rata	SNR	Normalisasi	Delta	Gamma
20.075	20.114	20.287	20.159	45.040	0.604	0.396	0.395
20.108	20.033	20.114	20.085	52.968	0.796	0.204	0.559
20.028	20.038	20.247	20.104	44.222	0.585	0.415	0.384
20.035	20.190	20.146	20.124	48.026	0.676	0.324	0.444
20.021	20.082	20.128	20.077	51.459	0.759	0.241	0.518
20.025	20.019	20.105	20.050	52.415	0.782	0.218	0.543
20.073	20.156	20.137	20.122	53.307	0.804	0.196	0.569
20.066	20.224	20.150	20.147	48.126	0.679	0.321	0.446
20.016	20.330	20.140	20.162	42.109	0.534	0.466	0.357
20.177	20.274	20.350	20.267	47.374	0.661	0.339	0.433
20.119	20.247	20.279	20.215	47.559	0.665	0.335	0.436
20.074	20.248	20.208	20.177	46.903	0.649	0.351	0.425
20.053	20.348	20.305	20.235	42.074	0.533	0.467	0.356
20.209	20.300	20.280	20.263	52.541	0.785	0.215	0.547
20.143	20.260	20.336	20.246	46.372	0.637	0.363	0.416
20.261	20.358	20.227	20.282	49.495	0.712	0.288	0.473
20.204	20.384	20.290	20.293	47.059	0.653	0.347	0.427
20.159	20.400	20.313	20.291	44.416	0.589	0.411	0.387
20.083	20.233	20.270	20.195	46.190	0.632	0.368	0.413
20.103	20.369	20.357	20.276	42.605	0.546	0.454	0.363
20.124	20.355	20.155	20.211	44.147	0.583	0.417	0.383
20.246	20.240	20.317	20.268	53.501	0.809	0.191	0.575
20.285	20.317	20.290	20.297	61.431	1.000	0.000	1.000
20.275	20.294	20.638	20.402	39.988	0.482	0.518	0.333
20.413	20.464	20.445	20.441	57.986	0.917	0.083	0.757
20.359	20.465	20.407	20.410	51.699	0.765	0.235	0.524
20.319	20.482	20.337	20.379	47.160	0.656	0.344	0.429

Gambar 5. Tabel SN Ratio

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Suhu Nozzle	2	25.16	25.16	12.58	0.58	0.567
Layer Height	2	58.63	58.63	29.31	1.36	0.279
Print Speed	2	136.12	136.12	68.06	3.16	0.064
Residual Error	20	430.64	430.64	21.53		
Total	26	650.54				

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best ($10 \times \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)

Level	Suhu Nozzle	Layer Height	Print Speed
1	48.63	46.33	45.30
2	47.09	49.76	49.22
3	49.41	49.04	50.61
Delta	2.32	3.42	5.30
Rank	3	2	1

Gambar 6. ANOVA SN Ratio

3.3. Analisis GRA

Tujuan dilakukan analisis ini adalah untuk melihat optimasi parameter proses

terhadap akurasi dimensi dan kekasaran permukaan. Analisis ini menggunakan rerata dari Gamma yang dimiliki oleh tiap-tiap respon. Tabel Analisis GRA disajikan dalam Tabel 5. Dan Tabel 6.

Tabel 5. Analisis GRA

Eksperimen No	Nilai Gamma Respon		Grey Relational Grade
	Kekasaran Permukaan	Akurasi Dimensi	
1	0.915	0.395	0.655
2	0.824	0.559	0.691
3	1.000	0.384	0.692
4	0.662	0.444	0.553
5	0.603	0.518	0.560
6	0.921	0.543	0.732
7	0.386	0.569	0.478
8	0.333	0.446	0.390
9	0.402	0.357	0.379
10	0.665	0.433	0.549
11	0.559	0.436	0.498
12	0.877	0.425	0.651
13	0.599	0.356	0.478
14	0.694	0.547	0.620
15	0.464	0.416	0.440
16	0.427	0.473	0.450
17	0.396	0.427	0.412
18	0.353	0.387	0.370
19	0.412	0.413	0.412
20	0.654	0.363	0.508
21	0.580	0.383	0.481
22	0.453	0.575	0.514
23	0.716	1.000	0.858
24	0.504	0.333	0.419
25	0.361	0.757	0.559
26	0.521	0.524	0.523
27	0.368	0.429	0.399

Tabel 6. Rerata GRG

Faktor	level 1	level 2	level 3	Delta	Rank
<i>Suhu Nozzle</i>	0.570	0.496	0.519	0.074	2
<i>Layer height</i>	0.571	0.575	0.440	0.135	1
<i>Print speed</i>	0.516	0.562	0.507	0.055	3

4. SIMPULAN

Dari Hasil dan Pembahasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan *Grey Relational Analysis* yang dilakukan, parameter yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi dan kekasaran permukaan adalah *Layer height*.

Optimasi terhadap parameter yang digunakan pada filamen *Carbon Fyber* dengan suhu *nozzle* 195 derajat Celcius, *Layer height* 0.20 milimeter, dan *print speed* sebesar 85%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Dosen Pembimbing yang selalu membimbing dan mengarahkan penulis selama penelitian ini berlangsung hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. W. Gebisa and H. G. Lemu, "Influence of 3D printing FDM process parameters on tensile property of ultem 9085," *Procedia Manuf.*, vol. 30, pp. 331-338, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.047.
- [2] 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>
- [3] Y. B. Pratama, "Analisis Kekasaran Permukaan Proses Mesin 3D Printing pada Filamen ST-PLA Menggunakan Metode Taguchi," Tugas akhir, p. POLITEKNIK MANUFAKTUR, BANGKA BELITUNG, 2021.
- [4] B. Sugiantoro, Rusnaldy, and S. A. Wijayanto, "Optimasi Parameter Proses Milling Terhadap Kualitas Hasil Permesinan Aluminium Dengan Metode Taguchi," *J. TRAKSI*, vol. 14, no. 1, pp. 42-57, 2014.
- [5] I. Taufik, H. S. Budiono, H. Herianto, and D. Andriyansyah, "[Influence of Printing Speed to Roughness Products of Additive Manufacturing Using Polylactic Acid Filament]," *J. Mech. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 15-20, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untidar.ac.id/index.php/mechanical/article/view/3412/1649>
- [6] B. Wiro Karuniawan, F. Rachman, and A. Aris Setiawan, "Optimasi Parameter Mesin Fused Deposition Modelling (FDM) Terhadap Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi." 2019.
- [7] H. Hasdiansah, M. Masdani, I. Feriadi, and ..., "Optimasi Parameter Proses Terhadap Akurasi Dimensi Pla Food Grade Menggunakan Metode Taguchi," *Pros. Semin. Nas. NCIET Vol.1 A175-A186*, vol. 1, pp. 175-186, 2020, [Online]. Available: <http://conf.nciet.id/index.php/nciet/article/view/150%0Ahttp://conf.nciet.id/index.php/nciet/article/download/150/231>
- [8] M. Lestari, Subkhan, and Priestiansyah, "Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan Pengaruh Parameter Proses 3d Printing Terhadap Akurasi Dimensi Filament PETG (Polyethylene terephthalate Glycol)," *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.* 2021, vol. 3D printin, pp. 361-367, 2022.
- [9] L. M. Galantucci, I. Bodi, J. Kacani, and F. Lavecchia, "Analysis of dimensional performance for a 3D open-source printer based on fused deposition modeling technique," *Procedia CIRP*, vol. 28, pp. 82-87, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.04.014.
- [10] S. Valvez, P. Santos, J. M. Parente, M. P. Silva, and P. N. B. Reis, "3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites: A short review," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 25, no. 2019, pp.

-
- 394-399, 2020, doi:
10.1016/j.prostr.2020.04.056.
- [11] S. Wickramasinghe, T. Do, and P. Tran,
"FDM-Based 3D printing of polymer and
associated composite: A review on
mechanical properties, defects and
treatments," *Polymers (Basel)*., vol. 12,
no. 7, pp. 1-42, 2020, doi:
10.3390/polym12071529.