



Optimasi Parameter Proses Pencetakan 3D *Printing* terhadap Kebulatan Produk

Optimization of 3D Printing Process Parameters on Product Roundness

Pristiansyah¹, Zaldy Sirwansyah Suzen¹, Hasdiansah, Wahyudi^{1,a)}

¹Jurusan Rekayasa Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Bangka, Indonesia

^{a)}Corresponding author: wahyudirajagukguk@gmail.com

Abstrak

Teknologi pencetakan 3D merupakan inovasi penting dalam industri manufaktur. Salah satu metode yang populer dan terjangkau adalah *Filament Fusion Fabrication (FFF)* atau *Fusion Deposition Modeling (FDM)*. Namun, pencetakan 3D masih menghadapi masalah akurasi dimensi, yang dapat menyebabkan perbedaan ukuran produk dibandingkan dengan desain. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi parameter yang paling berpengaruh dan optimal terhadap kebulatan produk dengan menggunakan material *PETG*. Metode *Taguchi L9* digunakan untuk mencari parameter optimal dan menganalisis pengaruh parameter proses 3D *printing* terhadap kebulatan produk *PETG*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter yang optimal untuk kebulatan adalah *Layer Height* 0.1 mm, *Infill Density* 120%, dan *Print Speed* 35 mm/s, dengan nilai S/N tertinggi sebesar 23.7165. Faktor yang paling berpengaruh terhadap kebulatan filamen *PETG* adalah *Layer Height*, *Infill Density*, dan *Print Speed*.

Kata Kunci: 3D *printing*; FDM; filamen *PETG*; kebulatan; taguchi L9

Abstract

3D printing technology is an important innovation in the manufacturing industry. One of the popular and affordable methods is *Filament Fusion Fabrication (FFF)* or *Fusion Deposition Modeling (FDM)*. However, 3D printing still faces dimensional accuracy issues, which can lead to differences in product size compared to the design. This study aims to identify the most influential and optimal parameters on product roundness using *PETG* material. The *Taguchi L9* method was used to find the optimal parameters and analyze the effect of 3D printing process parameters on the roundness of *PETG* products. The results showed that the optimal parameters for roundness were *Layer Height* 0.1 mm, *Infill Density* 120%, and *Print Speed* 35 mm/s, with the highest S/N value of 23.7165. The most influential factors on *PETG* filament roundness are *Layer Height*, *Infill Density*, and *Print Speed*.

Keywords: 3D *printing*; FDM; *PETG* filamen; roundness; taguchi L9

PENDAHULUAN

Selama lima dekade terakhir, industri manufaktur telah mengalami perkembangan pesat dan berkelanjutan, dengan pencetakan 3D menjadi salah satu teknologi yang tumbuh dengan cepat. Kehadiran teknologi pencetakan 3D membawa dampak signifikan, terutama di sektor industri. Meskipun begitu, teknologi ini masih memiliki kelemahan dalam hal akurasi dimensi, yang dapat mengakibatkan perbedaan ukuran produk cetakan dibandingkan desain aslinya, baik berupa pengurangan maupun penambahan. Teknologi 3D *printing* memungkinkan pembuatan objek fisik tiga dimensi secara bertahap (lapis demi lapis) dengan

bantuan pemodelan desain berbasis komputer (CAD) [1] [2].

FFF (Fused Filament Fabrication), atau dikenal sebagai *Fused Deposition Modeling (FDM)*, adalah teknologi pencetakan 3D yang populer dan terjangkau. Proses FDM bekerja dengan mengekstrusi *thermoplastic* melalui *nozzle* panas pada suhu lelehnya, mencetak produk secara bertahap, lapisan demi lapisan. Material seperti PLA dan ABS sering digunakan dalam metode ini. Pencetakan 3D tipe FDM mampu menghasilkan produk duplikat dengan akurasi tinggi, terutama dengan material ABS, sehingga pemahaman tentang keakuratan dimensi produk menjadi sangat penting [3].

Penelitian 3D *printing* yang berfokus pada akurasi dimensi, kebulatan adalah salah satu aspek yang dianalisis. Pengukuran kebulatan digunakan untuk mengevaluasi seberapa sempurna bentuk bulat suatu objek atau untuk memastikan, dengan alat ukur, apakah objek tersebut benar-benar bulat ketika diperiksa secara detail. Profil kebulatan dianggap sempurna jika jarak antar titik pada bentuk geometris tersebut seragam dari pusatnya. Sebaliknya, kebulatan dinilai tidak ideal jika terdapat variasi jarak antar titik terhadap pusat bentuk tersebut. Menurut ISO/R 1101, toleransi kebulatan didefinisikan sebagai area toleransi dalam sebuah penampang yang dikelilingi oleh dua lingkaran konsentris dengan selisih radius tertentu sesuai dengan nilai toleransi yang ditentukan. Kebulatan berperan penting dalam distribusi beban yang merata, menentukan masa pakai komponen, memastikan kesesuaian, menjaga ketepatan putaran, dan memudahkan proses pelumasan, terutama pada produk berbentuk bulat [4] [5].

Dial indikator adalah alat yang digunakan untuk mengukur penyimpangan kebulatan suatu objek. Alat ini berfungsi untuk mengukur variasi ketinggian pada permukaan benda, sehingga dapat diidentifikasi apakah permukaan tersebut rata atau tidak. Hal ini memungkinkan evaluasi kebulatan suatu spesimen. Dengan menetapkan titik pusat spesimen sebagai referensi (titik nol), pengukuran dapat dilakukan pada berbagai titik untuk mendeteksi adanya deformasi atau tonjolan yang memengaruhi kebulatan serta menentukan besarnya penyimpangan. Metode *Taguchi* adalah pendekatan yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses. Metode ini bertujuan untuk mencapai ketahanan produk dan proses terhadap variasi yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti material, fasilitas produksi, tenaga kerja, dan kondisi operasional [6][7].

Penelitian yang menggunakan metode *Taguchi* L27 OA, ditemukan bahwa suhu *nozzle* (235°C) dan suhu *bed* (100°C) merupakan parameter yang paling berpengaruh, diikuti oleh *infill density* (25%). Meskipun kebulatan bukan fokus utama dalam penelitian ini, temuan tersebut menunjukkan bahwa *infill density* tetap menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan, sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya oleh penulis [8].

Pada penelitian yang menguji kekasaran permukaan menggunakan *filament PETG* ketebalan lapisan yang tipis, seperti 0,15 mm, memiliki potensi untuk meningkatkan akurasi dimensi, yang juga dapat mendukung kebulatan cetakan. Selain itu, kecepatan pencetakan 40 mm/s yang diidentifikasi sebagai optimal untuk kekasaran permukaan juga dapat digunakan sebagai acuan awal dalam menentukan pengaturan kecepatan yang sesuai untuk mencapai kebulatan [9].

Penelitian yang menganalisis pengaruh parameter proses pada pencetakan 3D terhadap transparansi filamen PETG menggunakan metode *Taguchi* menemukan bahwa spesimen dengan desain faktorial L9 memberikan hasil optimal. Parameter terbaik terdiri dari suhu *nozzle* 250°C, persentase *infill overlap* 70%, dan *layer height* 0,05 mm. Ketebalan lapisan 0,05 mm terbukti menghasilkan cetakan dengan tingkat transparansi tinggi dalam hal dimensi [10].

Studi yang menggunakan bahan *PLA food grade* menunjukkan bahwa pengaturan parameter optimal untuk menghasilkan pola pengujian dengan tingkat akurasi tinggi meliputi ketebalan lapisan 0,20 mm, suhu nosel 185 °C, laju pengisian 8%, kecepatan pencetakan 40 mm/detik, serta pelat dengan suhu 40 °C [11].

Pengaturan parameter optimal untuk mencapai kekasaran permukaan atas terbaik sebesar 3,321 µm menggunakan filamen ST dan PLA meliputi ketebalan lapisan 0,10 mm, kecepatan pencetakan 40 mm/s, suhu nosel 190°C, orientasi 45°, *flowrate* 110%, dan kecepatan pendinginan 40% [12].

Penelitian dengan judul *nozzle temperature calibration in 3D printing* menunjukkan suhu nosel PETG yang optimal 230°C-250°C penelitian ini hanya menggunakan suhu nosel 240°C [13].

Penelitian lain tentang pengaruh parameter proses 3d printer terhadap geometris poros, diketahui faktor yang berpengaruh terhadap kesilindrisan poros, yaitu *layer thicknes* [14].

Penelitian lain mengenai deviasi dimensi pada objek cetakan 3D menunjukkan bahwa *layer thickness* berpengaruh signifikan terhadap akurasi geometris dan posisi [15].

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan parameter yang paling optimal dan berpengaruh terhadap kebulatan produk dengan menggunakan filamen PETG. Penelitian ini meneliti variasi parameter seperti *infill density*, *print speed*, dan *layer height*, yang telah diidentifikasi dalam penelitian sebelumnya sebagai faktor penting untuk mencapai hasil yang optimal

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *filament PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)*, yang merupakan variasi dari *Polyethylene Terephthalate (PET)* yang telah dimodifikasi dengan penambahan *glycol*.

Penentuan parameter

Penentuan parameter proses dipengaruhi oleh metode yang diterapkan, yang mencakup berbagai faktor dan percobaan. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Infill Density (%)*, *Print Speed (mm/s)*, dan *Layer Height (mm)*.

Eksperimen ini menggunakan *design Taguchi L9* dengan 3 faktor dan 3 level di tunjukan pada [Tabel 1](#).

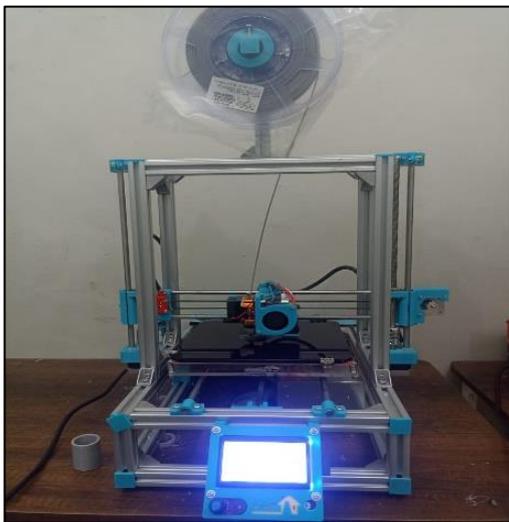
Tabel 1. Parameter Proses Penelitian

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
1	<i>Infill Density</i> (%)	110	120	130
2	<i>Print Speed</i> (mm/s)	30	35	40
3	<i>Layer Height</i> (mm)	0,1	0,15	0,2

Parameter pada [Tabel 1](#) didapatkan berdasarkan studi pendahuluan yang menunjukkan angka mendekati nilai optimal pada akurasi dimensi suatu produk.

Alat dan bahan

1. Mesin 3D *Printing Model Haltech H-01 Cartesian* memiliki area pencetakan dengan dimensi X, Y, dan Z sebesar 210 mm x 210 mm x 300 mm. dapat dilihat pada [Gambar 1](#).



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

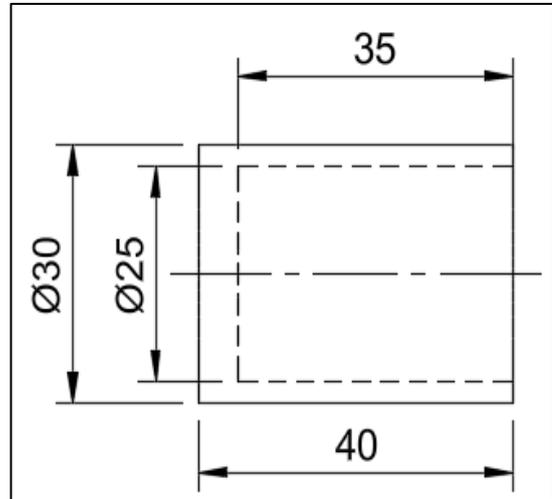
2. *Filament PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)*, yang merupakan variasi dari *Polyethylene Terephthalate (PET)* yang telah dimodifikasi dengan penambahan *glycol*. Spesifikasi dari *filament PETG* yang ideal terdapat pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Spesifikasi Filament PETG

Spesifikasi <i>Filament</i>	
<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Tempeprature</i>	230°C - 250°C
<i>Print Bad Temperature</i>	60°C - 80°C
<i>Roundness Tolerance</i>	0,01 - 0,02 mm
<i>Net Weight</i>	1 kg/roll
<i>Infill Speed</i>	20 mm/s - 50 mm/s

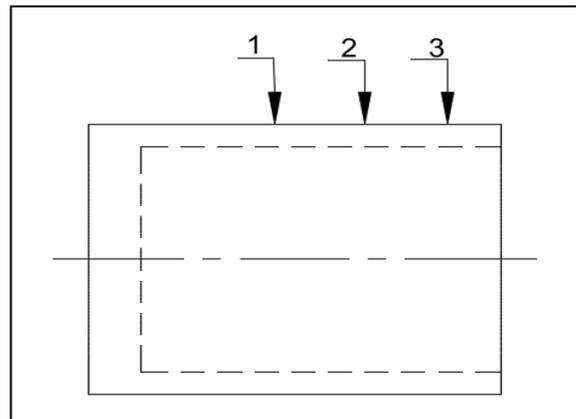
Sampel

Penelitian ini mencetak 9 variasi sampel dengan 3 replikasi pada setiap variasi sampel, dengan parameter antara lain: *Infill Density (%)*, *Print Speed (mm/s)*, dan *Layer Height (mm)*, menggunakan desain *Taguchi L9* dengan 3 faktor dan 3 level. Desain sampel pada penelitian ini ditunjukkan pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. Desain Sampel

Penelitian ini sampel diuji pada tiga titik pengujian, yang ditunjukkan pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Titik Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan di mesin bubut dial otomatis sebagai pencekam sampel saat dilakukan pengujian kebulatan menggunakan dial indikator.

Analisis Metode Taguchi

Eksperimen dilaksanakan secara acak dengan parameter yang telah dikombinasikan berdasarkan desain eksperimental yang sesuai dengan *matriks orthogonal*, desain eksperimen dengan menggunakan metode *Taguchi matriks orthogonal L9 (3³)* menggunakan *software Minitab*, memiliki 3 kolom dan 9 baris, tampilan desain Faktorial ditampilkan pada [Tabel 3](#).

Tabel 3. Desain Faktorial Penelitian L₉

Exp.	Infill Density(%)	Print Speed(mm/s)	Layer Height(mm)
1	100	30	0,10
2	100	35	0,15
3	100	40	0,20
4	110	30	0,15
5	110	35	0,20
6	110	40	0,10
7	120	30	0,20
8	120	35	0,10
9	120	40	0,15

Berdasarkan **Error! Reference source not found.** Menunjukkan sembilan percobaan yang dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh parameter proses 3D *printing* terhadap kebulatan produk, variasi parameter ini bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi optimal yang memengaruhi kebulatan produk cetakan. Hasil analisis dari eksperimen ini akan memberikan wawasan mendalam tentang hubungan antara parameter proses dengan kualitas produk yang dihasilkan.

Pengumpulan data dalam penelitian perlu dilakukan dengan langkah-langkah yang terstruktur agar hasil yang diperoleh dapat dipastikan keakuratannya dan dapat dipertanggungjawabkan.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pembuatan spesimen, yang meliputi tahapan-tahapan berikut:

1. Spesimen dibuat berdasarkan desain yang telah dibuat menggunakan perangkat lunak CAD, seperti Fusion 360, dan disimpan dalam format file STL
2. Desain dengan format STL tersebut kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak slicer, yaitu Ultimaker Cura 5.7.0., untuk mengatur parameter proses dan level yang sudah ditetapkan sebelumnya. Setelah itu, perangkat lunak ini akan menghasilkan file G-code.
3. Selanjutnya, dilakukan pencetakan spesimen menggunakan filamen PETG sesuai dengan parameter proses yang telah dirancang.
4. Setelah Setelah seluruh spesimen dicetak, dilakukan pengujian kebulatan. Yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4**Error! Reference source not found.** Seluruh Spesimen

Pengolahan data eksperimen

Data hasil eksperimen digunakan untuk menentukan parameter proses yang paling optimal dan yang paling

berdampak terhadap uji kebulatan menggunakan metode *Taguchi*. Pengolahan data menggunakan software *Minitab* dimana data hasil pengujian akan dianalisis untuk mendapatkan *mean plot* dan rasio S/N sebagai penentu parameter yang paling optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap ini hasil awal pada pengujian akan ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Pada Setiap Titik

Exp	Replikasi(R)	Titik		
		1	2	3
Exp 1	R1	0,35	0,51	0,58
	R2	0,27	0,36	0,54
	R3	0,51	0,59	0,75
Exp 2	R1	0,58	0,78	1,01
	R2	0,30	0,47	0,66
	R3	0,49	0,69	1,14
Exp 3	R1	0,31	0,47	0,79
	R2	0,35	0,46	0,53
	R3	0,56	0,66	0,93
Exp 4	R1	0,35	0,46	0,53
	R2	0,36	0,55	0,76
	R3	0,08	0,05	0,07
Exp 5	R1	0,48	0,60	0,73
	R2	0,58	0,79	1,06
	R3	0,18	0,23	0,33
Exp 6	R1	0,19	0,27	0,32
	R2	0,41	0,49	0,61
	R3	0,13	0,26	0,48
Exp 7	R1	0,72	1,05	1,35
	R2	0,31	0,42	0,50
	R3	0,20	0,21	0,31
Exp 8	R1	0,02	0,06	0,08
	R2	0,16	0,13	0,23
	R3	0,13	0,14	0,14
Exp 9	R1	0,66	0,69	0,71
	R2	0,53	0,33	0,61
	R3	0,81	0,76	0,48

Berdasarkan **Tabel 4** disajikan data hasil uji kebulatan pada setiap titik dari berbagai eksperimen (Exp 1 hingga Exp 9), dengan tiga kali pengulangan pengukuran (R1, R2, dan R3) untuk setiap titik. Pengujian dilakukan pada tiga titik, yang diberi nomor 1, 2, dan 3, di setiap eksperimen. Total terdapat 9 eksperimen, di mana masing-masing mengukur kebulatan pada tiga titik berbeda pada spesimen. Pengulangan pengukuran (R) dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap titik, yaitu R1, R2, dan R3, guna memastikan konsistensi hasil dan meminimalkan kemungkinan kesalahan pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan penyimpangan terkecil terdapat pada exp no 8 yang menggunakan *layer height* terkecil menandakan semakin

kecil *layer height* maka hasil semakin halus sehingga memperkecil penyimpangan kebulatan.

Guna mendapatkan nilai hasil pada setiap titik harus dibagi dua, dan sesudah dibagi dua untuk mendapatkan nilai akhir pada setiap replikasi harus menghitung rata-rata pada ketiga titik, untuk hasil dari langkah ini ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Data Hasil Uji Kebulatan

No. Exp	R1(mm)	R2(mm)	R3(mm)	Rata-rata(mm)
1	0,24	0,195	0,308	0,247
2	0,395	0,238	0,386	0,339
3	0,261	0,223	0,358	0,280
4	0,223	0,277	0,033	0,177
5	0,301	0,391	0,123	0,271
6	0,130	0,252	0,145	0,175
7	0,53	0,205	0,12	0,285
8	0,027	0,086	0,068	0,060
9	0,343	0,245	0,342	0,310

Berdasarkan **Tabel 5** menunjukkan data hasil pengujian, data tersebut akan dilakukan pengolahan data untuk memperoleh parameter proses yang berpengaruh dan paling optimal terhadap hasil uji kebulatan, data hasil asli menunjukkan penyimpangan kebulatan terkecil terjadi pada exp no 8 yang menggunakan *infill density* terbesar dan *layer height* terkecil ini menghasilkan hasil yang padat dan halus ini menunjukkan semakin kecil layer hasil semakin halus dan semakin padat pengisian maka memperkecil rongga pada spesimen.

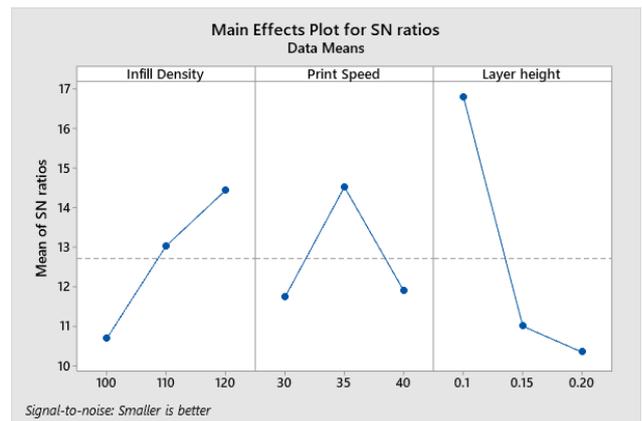
Data hasil pengujian yang ada pada **Tabel 5** di *input* ke dalam *software Minitab* untuk mendapatkan hasil respon *Mean plot* dan S/N Rasio yang di mana kebulatan dengan kualitas *smaller is better* dikarenakan jika nilai yang mendekati angka nol atau paling kecil adalah yang terbaik, hasil pengolahan data di tunjukan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Nilai S/N Rasio Untuk Kebulatan

No EXP	R1(mm)	R2(mm)	R3(mm)	Rata-rata	SNRA1
1	0,285	0,240	0,353	0,292	11,9725
2	0,440	0,283	0,431	0,384	9,1881
3	0,306	0,268	0,403	0,325	10,8616
4	0,268	0,323	0,078	0,223	13,7145
5	0,346	0,675	0,168	0,396	10,6447
6	0,175	0,296	0,190	0,220	14,7096
7	0,565	0,250	0,165	0,326	9,4907
8	0,071	0,131	0,113	0,105	23,7165
9	0,388	0,301	0,386	0,358	10,0783

Berdasarkan **Tabel 6**, yang menampilkan nilai S/N Rasio untuk kebulatan pada setiap eksperimen, terlihat

bahwa setiap eksperimen menghasilkan nilai kebulatan rata-rata (dalam mm) yang berbeda, yang memengaruhi nilai S/N Rasio. Eksperimen dengan nilai S/N Rasio tertinggi terdapat pada eksperimen 8 dengan nilai 23,7165, yang menunjukkan bahwa parameter pada eksperimen tersebut memberikan hasil kebulatan paling optimal pada exp 8 ini menggunakan kepadatan yang terbesar sehingga menghasilkan hasil yang tidak berongga dengan print speed yang optimal sehingga hasil pengisian juga tidak bergelombang. Sebaliknya, nilai S/N Rasio terendah terdapat pada eksperimen 2 dengan nilai 9,1881, yang menunjukkan hasil kebulatan yang kurang optimal exp 2 menggunakan *infill density* terkecil dan *layer height* lebih besar yang menghasilkan layer tidak merata dan berongga sehingga memperbesar penyimpangan kebulatan.



Gambar 5. Grafik SN Rasio

Tabel 7. Respons Tabel SN Rasio

Level	Infill Density	Print Speed	Layer Height
1	10,67	11,73	16,80
2	13,02	14,52	10,99
3	14,43	11,88	10,33
Delta	3,75	2,79	6,47
Rank	2	3	1

Berdasarkan **Gambar 5** dan **Tabel 7** menunjukkan pengaruh tiga parameter, yaitu *layer height*, *infill density*, dan *print speed* terhadap rasio sinyal terhadap noise (SNR) dalam proses pencetakan. *Layer Height* menduduki rank 1 memiliki pengaruh terbesar (Delta 6,47), ini menunjukkan bahwa semakin halus layer maka hasil akan semakin optimal,

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini memiliki kesimpulan bahwa dari parameter proses yang diuji yaitu *Infill Density (%)*, *Print Speed (mm/s)*, dan *Layer Height (mm)*. *Layer height* terkecil yaitu 0,1 mm menjadi yang paling berpengaruh dalam uji kebulatan. Dan hasil exp 8 adalah yang paling

optimal dengan *Layer height* 0,1 mm, *infill density* 120%, dan *print speed* 35 mm/s

Saran

hasil penelitian ini penulis memiliki beberapa saran untuk menunjang penelitian lain ke depannya, yaitu menggunakan jenis mesin, parameter, dan metode analisis yang berbeda agar dapat menghasilkan perbandingan antar penelitian lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Malinda Christiliana, "Optimasi Proses pada 3D *Printing* FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade," *Manutech*, 2021.
- [2] P. Wahyu Riyan Saputra, "Pengaruh parameter proses terhadap kekuatan tarik produk hasil 3D *printing* menggunakan filament asa," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2023.
- [3] H. S. Pristiansyah, "Optimasi Parameter Proses 3D *Printing* FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 11, no. 01, 2019.
- [4] Muhammad Yanis, "210684-analisis-profil-kebulatan-untuk-menentuk," *ogan ilir*, 2010.
- [5] A. Prayitno *et al.*, "STUDI KECERMATAN ALAT UKUR ROUNDNESS TESTER MACHINE PRODUKSI LABORATORIUM JURUSAN TEKNIK MESIN UNVERSTAS RIAU DENGAN METODE HELIX," 2015.
- [6] I. Soejanto, *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.
- [7] P. Sidi *et al.*, "Aplikasi Metoda *Taguchi* Untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut Cnc," 2013.
- [8] M. Lestari and T. Mesin dan Manufaktur Polman Babel, "PROSIDING SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI TERAPAN PENGARUH PARAMETER PROSES 3D *PRINTING* TERHADAP AKURASI DIMENSI FILAMENT PETG (Polyethylene terephthalate Gylacol)," Sungailiat, 2022.
- [9] B. Aji, Y. Firti Ariyani, and P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, "Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filamen PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)," *JITT*, vol. 01, no. 2, 2023.
- [10] Pristiansyah, Ilham Ary Wahyudie, and R. Rosa, "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, Aug. 2024, doi: 10.32528/jp.v9i1.1695.
- [11] S. Lubis and S. Djamil, "PENGARUH ORIENTASI OBJEK PADA PROSES 3D *PRINTING* BAHAN POLYMER PLA DAN ABS TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KETELITIAN DIMENSI PRODUK," *Sinergi*, 2016.
- [12] W. R. Saputra, Z. S. Suzen, and P. Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses terhadap Kuat Tarik Produk Hasil 3d *Printing* Menggunakan Filamen ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate)," *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 73–78, Feb. 2023, doi: 10.32528/jp.v7i2.9285.
- [13] P. Gkertzos, A. Kotzakolios, G. Mantzouranis, and V. Kostopoulos, "Nozzle temperature calibration in 3D *printing*," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 18, no. 2, pp. 879–899, Mar. 2024, doi: 10.1007/s12008-023-01681-2.
- [14] T. Cahya Persada *et al.*, "PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTER TEKNOLOGI DIGITAL LIGHT PROCESSING TERHADAP GEOMETRIS POROS," Palembang, 2020.
- [15] D. Andriyansyah, A. Jamaldi, I. Taufik, P. Studi Teknik Mesin, and A. Teknologi Warga Surakarta, "EVALUASI AKURASI DIMENSI PADA OBJEK HASIL 3D *PRINTING*," Surakarta, 2021.