

Analisis Pengaruh Temperatur Suhu dan Kecepatan Putar Screw Terhadap Hasil Filament 3D Printing Pada Mesin *Filament Extruder* Menggunakan Metode Taguchi

Rajuwiraraja Triatna^{1*}, Angga Sateria¹, Husman¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : rajuwiraraja@gmail.com

Received: 6 Januari 2025; Received in revised form: 14 Januari 2025; Accepted: 22 Januari 2025

Abstract

The development of 3D printing technology has opened up great opportunities in various industries, especially in the manufacture of complex three-dimensional objects. However, the quality of the print results is greatly influenced by the physical and mechanical properties of the filament used. The filament production process, especially in filament extruder machines, requires extra attention to operational parameters such as extrusion temperature and screw rotation speed. Variations in these parameters significantly affect filament quality, such as tensile strength and thickness, which can decrease if not properly adjusted. This study aims to analyze the effect of extrusion temperature and screw rotation speed parameters on filament quality, and to determine the optimal settings using the Taguchi method. The results showed that screw rotation speed is the most significant factor in determining filament diameter with a contribution of 73%. In addition, extrusion temperature contributes 17.6%. Through optimization using the Taguchi method, it is known that the optimal extrusion temperature is 250°C with a screw rotation speed of 5 RPM, producing filament with a diameter of 1.8 mm.

Keywords: 3D; Printing; Filament; Extruder; Taguchi Method

Abstrak

Perkembangan teknologi 3D *printing* telah membuka peluang besar dalam berbagai industri, terutama dalam pembuatan objek tiga dimensi yang kompleks. Namun, kualitas hasil cetak sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekanik *filament* yang digunakan. Proses produksi *filament*, khususnya pada mesin *filament extruder*, memerlukan perhatian ekstra terhadap parameter operasional seperti temperatur ekstrusi dan kecepatan putar *screw*. Variasi pada parameter ini secara signifikan mempengaruhi kualitas *filament*, seperti kekuatan tarik dan ketebalan, yang dapat menurun jika tidak diatur dengan tepat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter temperatur ekstrusi dan kecepatan putar *screw* terhadap kualitas *filament*, serta menentukan pengaturan optimal menggunakan metode *Taguchi*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan putar *screw* merupakan faktor paling signifikan dalam menentukan diameter *filament* dengan kontribusi sebesar 73%. Selain itu, temperatur ekstrusi berkontribusi sebesar 17,6%. Melalui optimasi menggunakan metode *Taguchi* diketahui bahwa suhu ekstrusi optimal adalah 250°C dengan kecepatan putar *screw* 5 RPM, menghasilkan *filament* dengan diameter 1,8 mm.

Kata kunci: 3D; Printing; Filament; Extruder; Metode Taguchi

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telah membawa banyak inovasi yang bermanfaat bagi berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk dalam bidang manufaktur. Salah satunya yaitu 3D *printing*, sebuah teknologi yang memungkinkan pembuatan objek berbentuk tiga dimensi melalui proses cetak berlapis. Saat ini 3D *printing* semakin

populer dan banyak digunakan di berbagai industri sebab mampu mencetak bentuk-bentuk kompleks dengan presisi tinggi. Namun, hal tersebut bergantung pada bahan baku yang digunakan selama proses cetak, terutama *Filament* yang memiliki peran krusial dalam menentukan kualitas hasil cetak.

Filament yang digunakan dalam proses pembuatan 3D *printing* harus memiliki sifat fisik dan mekanik yang optimal untuk menjamin hasil cetak yang berkualitas[1]. Oleh karena itu, proses produksi *Filament* memerlukan perhatian khusus, terutama pada parameter operasional mesin *Filament extruder* seperti temperatur suhu dan kecepatan putar *screw*. Mesin *Filament extruder* adalah perangkat yang digunakan untuk menciptakan *Filament* dari bahan baku plastik dengan cara meleburkan material dan membentuknya menjadi benang tipis yang dapat digunakan dalam 3D *printing*[2].

Salah satu penelitian menunjukkan bahwa variasi pada temperatur ekstrusi dan kecepatan putar *screw* secara signifikan mempengaruhi sifat mekanik dan dimensi *Filament* yang dihasilkan. Salah satu studi yang mengkaji pengaruh parameter ekstrusi pada *Filament* PLA menemukan bahwa perubahan dalam parameter tersebut dapat berdampak pada kekuatan tarik dan ketebalan *Filament*[3]. Selain itu, penelitian oleh Gurcan Atakok, menemukan bahwa peningkatan kecepatan putar *screw* cenderung meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur dari PLA yang didaur ulang, meskipun ada penurunan pada sifat mekanis tertentu seperti *impact strength* atau kemampuan suatu material untuk menyerap energi dan menahan kerusakan ketika dikenai beban secara mendadak atau dalam waktu singkat[4].

Studi oleh Edoward (2022), menggunakan Metode *Taguchi* dalam menganalisis parameter temperatur *band heater*, jarak *nozzle* dengan *roll* penggulung *Filament* dan temperatur untuk mencari hasil kontribusi signifikan terhadap akurasi dimensi *Filament*. Hasil penelitian menyatakan bahwa jarak *nozzle* dengan *roll* penggulung *Filament* dan temperatur masing-masing berkontribusi sebesar 53% dan 21%. Melalui data hasil penelitian ini membuktikan bahwa metode *Taguchi* efektif dalam mengidentifikasi parameter dan berpengaruh terhadap hasil akhir yang signifikan. Selain itu, metode ini juga membantu evaluasi dan optimalisasi pengaruh parameter-parameter tertentu terhadap akurasi dimensi produk *Filament* 3D *printing* pada mesin ekstrusi[5].

Sebuah penelitian lain oleh Luthfianto menunjukkan bahwa hasil pengoperasian yang akurat terhadap produksi *Filament* ABS

dengan ekstrusi pada temperatur 198,191°C dan kecepatan *screw* sebesar 5 RPM, dapat menghasilkan *Filament* 3D *printer* dalam jumlah 1,5 Kg tiap 1 jam produksi serta perhitungan *error* sebesar 15%. Hasil tersebut membuktikan bahwa mesin produksi *Filament* memiliki kinerja yang baik dalam menghasilkan *Filament* 3D *printer* siap pakai[6].

Kontrol terhadap suhu ekstrusi dan diameter *Filament* yang akurat dinilai sangat penting sebab variasi dalam suhu atau diameter dapat menyebabkan perbedaan kualitas hasil cetak[7]. Penelitian oleh Iskandar (2019) menyatakan penggunaan sensor seperti *thermocouple* untuk memantau suhu di bawah 30°C dan sensor digital caliper untuk mengukur diameter dengan akurasi tinggi dapat membantu menjaga konsistensi *Filament* serta menghasilkan catatan *error* sebesar 1% pada pengukuran suhu dan 1.1% pada diameter *Filament*[8].

Oleh karena itu penelitian ini menganalisis pengaruh temperatur suhu dan kecepatan putar *screw* terhadap kualitas *Filament* yang dihasilkan oleh mesin *Filament extruder* serta menentukan parameter optimal menggunakan metode *Taguchi*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan bagi industri dalam mengoptimalkan proses produksi *Filament*, sehingga menghasilkan produk yang lebih baik dengan efisiensi yang lebih tinggi.

2. METODE PENELITIAN

Metode *Taguchi* merupakan pendekatan terstruktur yang bertujuan untuk menentukan kombinasi input terbaik karena banyak faktor variabel atau input yang harus dipertimbangkan dan akan sangat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Untuk menentukan parameter optimal dan berpengaruh, metode *Taguchi* menggunakan tiga karakteristik kualitas untuk menghitung perbandingan *Signal to Noise* yaitu, kecil lebih baik (*Smaller is Better*), besar lebih baik (*Larger is Better*), dan nominal paling baik (*Nominal is Best*)[9].

Selama proses penelitian ini menggunakan metode *Taguchi* dengan karakteristik *smaller is better*. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini akan lebih baik jika semakin kecil kualitas maka akan semakin baik sesuai dengan ukuran *Filament* yang dituju. Alat pengujian pada penelitian ini

menggunakan mesin *filament extruder* dengan bahan utama material biji plastik

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Tampilan Mesin *Filament Extruder*



Gambar 2. Bahan Biji Plastik *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*

2.1. Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal dilakukan melalui perhitungan total derajat kebebasan berdasarkan jumlah variabel dan level yang digunakan. Jumlah total derajat kebebasan

tersebut mempengaruhi pemilihan matriks ortogonal. Metode ini dilakukan dengan menghitung jumlah nilai level pada setiap level dan nilai faktor.

Tabel 1. Total Derajat Kebebasan Parameter Bebas

Parameter Bebas	Jumlah Level	Derajat kebebasan (Vn) (k-1)
Temperatur suhu (derajat)	3	1
Kecepatan putar screw (%)	3	1
Total Derajat Kebebasan		2

Berdasarkan adanya dua faktor dengan masing-masing memiliki tiga level, maka dapat ditentukan derajat kebebasan yang

dihitung dengan menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut.

$$\frac{DF}{faktor} = \text{Jumlah Level} - 1 = 3 - 1 = 2 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Total } DF = \frac{DF}{faktor} 1 + \frac{DF}{faktor} 2 = 2 + 2 = 4 \dots\dots\dots (2)$$

$$DF \text{ Interaksi} = (\text{Jumlah Level Faktor 1} - 1) - (\text{Jumlah Level Faktor 2} - 1) = 4 \dots\dots\dots (3)$$

$$Total\ DF\ Keseluruhan = DF\ faktor\ 1 + DF\ faktor\ 2 + DF\ Interaksi = 8 \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan di atas memiliki beberapa variabel yang mewakili masing-masing indeks. Variabel DF digunakan untuk menentukan jumlah nilai yang bebas bervariasi dalam statistik. Variabel Total DF merupakan jumlah dari derajat kebebasan masing-masing faktor. Variabel DF Interaksi mempertimbangkan interaksi antara dua faktor. Sedangkan, variabel Total DF Keseluruhan adalah total keseluruhan derajat kebebasan dalam analisis.

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan hasil jika derajat kebebasan yang paling layak dan sesuai digunakan pada matriks ortogonal adalah L9 (3²) yang berarti matriks tersebut digunakan ketika memiliki 3 level. Penggunaan L9 (3²) dilakukan untuk pengujian 2 faktor dengan setiap baris mewakili kombinasi dari level-level tersebut. Pada penelitian ini menggunakan 2 derajat kebebasan dengan matriks 3 kolom dan 9 baris. Setiap parameternya memiliki 2 faktor dan 3 level.

2.2. Perhitungan Rasio S/N Parameter Response

Perhitungan ini menggunakan karakteristik *Smaller is better* yang bernilai non-negatif dengan nilai ideal mendekati nol. Karakteristik ini dapat diterapkan dalam persentase kontaminasi, waktu respons, deviasi, kerusakan produk, penggunaan mesin, produk gagal, pemborosan energi, kebisingan, pemborosan panas, hambatan, dan waktu proses[10].

Berdasarkan persamaan (1), peningkatan kualitas pada penelitian ini bertujuan untuk mencapai karakteristik kualitas yang memaksimalkan parameter nilai nilai kualitas ukuran diameter *filament*.

Diameter minimal menentukan kualitas ukuran diameter *Filament* yang salah satu karakteristiknya yaitu semakin rendah nilai diameter, semakin baik. Nilai kualitas ukuran diameter *filament* yang paling rendah adalah nilai yang diprediksi oleh analisis ini.

Persamaan (1) memiliki beberapa variabel yang mewakili masing-masing indeks. Variabel y_i merupakan nilai respons pada observasi ke- i , dan n merupakan total jumlah observasi. Jadi, i digunakan untuk menjumlahkan nilai setiap observasi dalam perhitungan.

$$Rasio\frac{s}{n} = -10 \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right) \dots\dots\dots (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Coba Alat

Metode *Taguchi* digunakan untuk memperoleh hasil optimal selama proses uji coba alat. Sebelum itu, dilakukan penentuan parameter yang akan digunakan melalui uji pendahuluan. Hasil uji pendahuluan akan mempertimbangkan dua parameter yang

akan dikombinasikan dalam uji coba yaitu suhu pemanasan (Faktor A) dan kecepatan *screw* (Faktor B). setiap faktor yang dipertimbangkan menggunakan 3 level seperti pada tabel berikut.

Tabel 2. Parameter dan Level

Parameter Bebas	Level 1	Level 2	Level 3
Temperatur suhu (derajat)	220	250	280
Kecepatan putar <i>screw</i> (RPM)	5 RPM	11 RPM	17 RPM

Berdasarkan faktor dan level yang ada pada tabel di atas, dibuat rancangan percobaan dengan menggunakan *minitab*. Dari rancangan percobaan, akan didapatkan

hasil kombinasi faktor dan level yang akan diuji coba kemudian dilanjutkan dengan pengukuran diameter *filament*.

Tabel 3. Desain Percobaan

Exp.	Faktor dan Level		Respon
Run	A	B	Diameter
1	1	1	
2	1	2	
3	1	3	
4	2	1	
5	2	2	
6	2	3	
7	3	1	
8	3	2	
9	3	3	

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Diameter *Filament*

Run	Faktor dan Level		Respon			Rata-rata
	A	B	Dia 1	Dia 2	Dia 3	
1	220	5 RPM	2,20	2,00	2,18	2,126
2	220	11 RPM	2,92	2,82	2,76	2,833
3	220	17 RPM	3,42	3,42	3,62	3,486
4	250	5 RPM	2,14	1,98	1,80	1,973
5	250	11 RPM	2,92	2,76	2,70	2,793
6	250	17 RPM	3,16	2,86	2,00	2,673
7	280	5 RPM	2,46	2,52	2,68	2,553
8	280	11 RPM	3,14	3,16	3,08	3,126
9	280	17 RPM	3,24	3,10	3,26	3,200

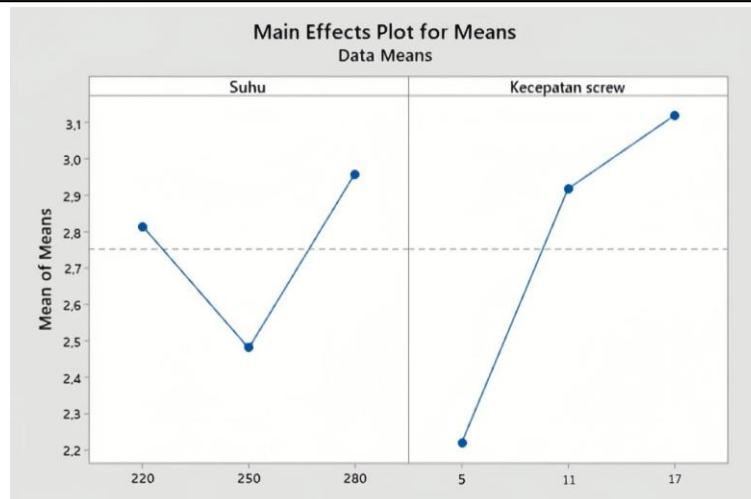
3.2. Analisis Varian *Taguchi*

Tahap pertama yang dilakukan dalam melakukan analisis varian *Taguchi* yaitu dengan mencari perolehan nilai rata-rata terhadap *response* menggunakan *software* yang didapatkan dari perhitungan rata-rata pada data awal hasil pengukuran di Tabel 4. Data-data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *software Minitab* untuk mendapatkan hasil rata-rata terhadap *response* seperti pada tabel berikut yang menampilkan peringkat parameter paling berpengaruh terhadap diameter *Filament*. Peringkat

terebut ditentukan melalui *response* rata-rata dari setiap parameter di setiap levelnya. Kecepatan *screw* juga memberikan pengaruh paling signifikan terhadap diameter *Filament* dengan selisih 0,902 dan temperatur suhu memiliki pengaruh paling kecil dengan selisih nilai sekitar 0,480. Hasil interpretasi dari Tabel 5. akan digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 1.

Tabel 5. Tabel *Response* Parameter Terhadap Rata-Rata

Level	Suhu	Kecepatan Screw
1	2,816	2,218
2	2,480	2,918
3	2,960	3,120
Delta	0,480	0,902
Rank	2	1



Gambar 3. Grafik Rata-Rata Setiap Level dan Parameter

Setelah mendapatkan hasil perhitungan rata-rata terhadap *response* menggunakan *software Minitab* dilanjutkan dengan mencari nilai perhitungan rasio S/N terhadap

response yang diinput ke dalam *software minitab*.

Tabel 6. Hasil Perhitungan S/N Terhadap *Response*

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	B	Dia1	Dia2	Dia3	SNRA1
1	1	2,20	2,00	2,18	-6,561
1	2	2,92	2,82	2,76	-9,048
1	3	3,42	3,42	3,62	-10,851
2	1	2,14	1,98	1,80	-5,922
2	2	2,92	2,76	2,70	-8,927
2	3	3,16	2,86	2,00	-8,685
3	1	2,46	2,52	2,68	-8,147
3	2	3,14	3,16	3,08	-9,902
3	3	3,24	3,10	3,26	-10,105

Tabel 7. *Responsee* Rasio S/N Parameter Terhadap Rata-Rata
Smaller is Better

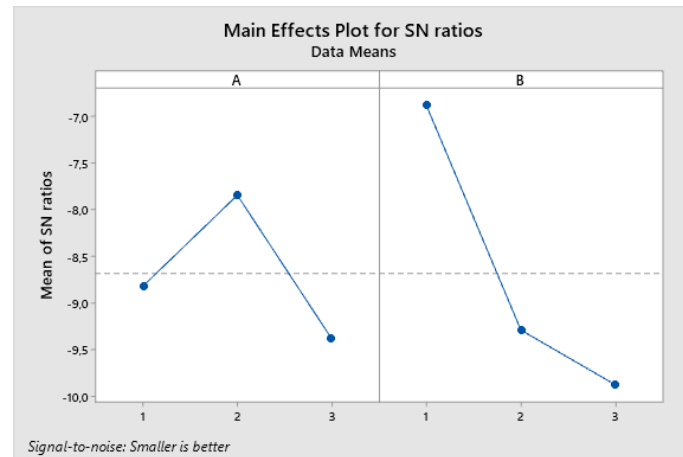
Level	A	B
1	-8,820	-6,878
2	-7,846	-9,293
3	-9,385	-9,881
Delta	1,539	3,002
Rank	2	1

Tabel di atas merupakan hasil perhitungan nilai rasio S/N *response* diameter *Filament* yang menggunakan kombinasi level dari setiap parameter yang diambil pada Tabel 6. untuk mengetahui peringkat masing-masing parameter berpengaruh terhadap *response* diameter *Filament*. Pengaruh paling besar dapat

dilihat dari selisih nilai setiap level untuk masing-masing parameter.

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa kecepatan screw memiliki pengaruh paling signifikan terhadap diameter *Filament*, dengan selisih nilai sebesar 3,002. Sedangkan, Suhu menunjukkan pengaruh paling kecil, sebab memiliki selisih sebesar 1,539. Tabel 7. tersebut kemudian

diinterpretasikan menjadi grafik respon rasio S/N berikut.



Gambar 4. Grafik Response Rasio S/N Untuk Setiap Level Parameter

Grafik di atas menggambarkan *response* nilai rasio S/N terhadap diameter *Filament* di setiap level parameter proses. Digunakan nilai terbesar pada respon rasio S/N menggunakan konsep rasio *signal to*

noise yang membuat sinyal harus lebih besar daripada gangguan.

3.3. Analisis Varian Rata-Rata (ANOVA)

Analisis (ANOVA) menghasilkan pengaruh parameter proses terhadap diameter *Filament* seperti pada tabel berikut.

Tabel 8. *Analysis Of Variance* (ANOVA) Untuk S/N Rasio

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	3,637	3,637	1,818	3,69	0,123
B	2	15,188	15,188	7,594	15,43	0,013
Residual Error	4	1,969	1,969	0,492		
Total	8	20,794				

Untuk menentukan persentase kontribusi terbesar dan terkecil dari Tabel 4. maka digunakanlah kolom Adj SS (*Adjusted Sum of Square*). Persentase setiap faktor terhadap total variasi dihitung dengan membagi *Adjusted of Square* dari setiap faktor dengan total *Adjusted of Square*, kemudian dikalikan dengan 100. Berikut langkah-langkah perhitungan persentase kontribusi:

1. Identifikasi nilai Adjusted Sum of Square (Adj SS) untuk setiap faktor dan total Adj SS dari semua nilai. Dari Tabel 4., diperoleh nilai-nilai berikut:
 - *Faktor A/Adj SS* = 3,637
 - *Faktor B/Adj SS* = 15,180
 - *Residual Error/Adj SS* = 1,969
 - *Total Adj SS* = 3,637 + 15,180 + 1,969 = 20,786
2. Hitung persentase kontribusi untuk setiap faktor. Persentase kontribusi dapat dihitung dengan membagi nilai Adj SS setiap faktor dengan total Adj SS lalu dikalikan 100.

- Persentase kontribusi faktor A

$$= \frac{3,637}{20,786} \times 100 = 17,6\%$$
- Persentase kontribusi faktor B

$$= \frac{15,180}{20,786} \times 100 = 73\%$$
- Persentase kontribusi Residual Error

$$= \frac{1,969}{20,786} \times 100 = 9,4\%$$

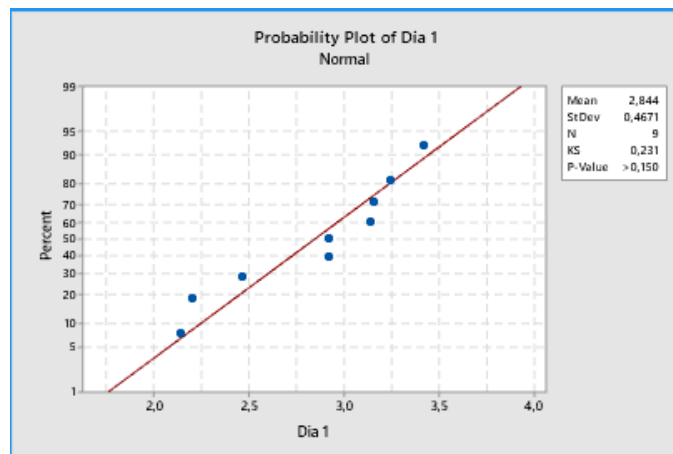
Dari perhitungan persentase kontribusi di atas menunjukkan bahwa kecepatan *screw* memberikan pengaruh paling signifikan dengan kontribusi sebesar 73%, Sedangkan suhu memberikan pengaruh sebesar 17,6%, lalu *Residual Error* memberikan pengaruh terkecil dengan nilai sebesar 9,4% terhadap pembentukan diameter *Filament*.

3.4. Uji Hipotesis F

Untuk memastikan apakah data yang diuji berdistribusi normal atau tidak, maka

dilakukan uji normalitas data pada nilai rata-rata kualitas diameter *filament*. H_0 = data tidak berdistribusi normal, dan H_1 = data berdistribusi normal adalah hipotesis yang diterapkan. Jika nilai *p-value* lebih kecil dari 0.05, atau 5%, maka H_0 dapat diterima.

Gambar berikut menampilkan hasil uji normalitas data dengan menggunakan *software Minitab* dan uji *Kolmogorov-Smirnov*.



Gambar 5. Hasil Uji Normalitas

Berdasarkan hasil pengujian kenormalan data, diketahui nilai *p - value* sebesar 0,150 sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak. Hal ini dikarenakan nilai *p - value* = 0,150 lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$. Oleh karena itu data rata-rata nilai hasil diameter *Filament* terdistribusi normal.

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada proses pengujian pengaruh temperatur suhu dan kecepatan putar screw terhadap hasil *filament* 3d *printing* pada mesin *filament extruder* menggunakan metode *Taguchi*, didapatkan Kesimpulan sebagai berikut.

1. Kombinasi parameter proses yang berpengaruh paling signifikan terhadap diameter *Filament* yaitu kecepatan screw yang didapatkan melalui olah data dengan metode *Taguchi*.
2. Parameter kecepatan screw berkontribusi 73% dan parameter suhu pemanasan berkontribusi 17,6% terhadap pembentukan diameter *Filament* dengan perhitungan menggunakan metode *Taguchi*.
3. Parameter optimasi mesin ekstruder *Filament* 3D *Printer* diperoleh pada suhu pemanasan 250°C dengan

kecepatan screw 5 RPM dengan diameter 1.8 mm.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak variabel proses terhadap variabel respons dengan memanfaatkan metode *Taguchi*. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada pengukuran persentase kontribusi variabel proses terhadap variabel respons melalui penerapan metode yang sama serta menentukan pengaturan optimal pada variabel proses guna memproduksi *filament* yang memenuhi standar dengan akurasi dimensi yang tinggi.

Berdasarkan penelitian yang berjudul "Analisis Pengaruh Temperatur Suhu dan Kecepatan Putar Screw Terhadap Hasil *Filament* 3D *Printing* pada Mesin *Filament Extruder* Menggunakan Metode *Taguchi*," diharapkan penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengkaji pengaruh ukuran lubang *nozzle* dan kecepatan screw terhadap hasil diameter *filament*. Tahap pengembangan dapat difokuskan pada penentuan parameter optimal untuk mencapai standar diameter 1,75 mm dengan toleransi 0,00 mm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada seluruh civitas akademika yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini, kepada dosen pembimbing yang membimbing dan

mengarahkan selama proses penelitian, serta kepada rekan-rekan yang berpartisipasi dan memberikan dukungan sepanjang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ramadhan and A. Ramadhan, "Komparasi Material Filamen 3D Printer Terhadap Hasil Kualitas Cetak Produk Mainan Eggball Submarine," *Jurnal Rekavasi*, vol. 12, no. 1, pp. 23-34, 2024, doi: 10.34151/rekavasi.v12i1.4716.
- [2] T. P. Soejatmiko, "Perancangan Mesin Penggulung *Filament Extruder* 3D *Printing*," 2023.
- [3] M. Validasi et al., "Investigasi Pengaruh Sifat Tarik Saat Bervariasi Pengaturan Cetak Bagian Asam Polilaktat Cetak 3D: Numerik," pp. 1-19, 2024.
- [4] G. Atakok, M. K. B, and H. B. K. C, "Artikel Asli Kekuatan tarik , tekukan tiga titik , dan kekuatan tumbukan komponen cetakan 3D menggunakan PLA dan filamen PLA daur ulang: Investigasi statistik," pp. 1542-1554, 2022.
- [5] M. Edoward Ramadhan, M. Darsin, S. Ilham Akbar, and dan Danang Yudistiro, "Akurasi Dimensi Produk Filamen 3D *Printing* Berbahan Polipropilen Menggunakan Mesin Ekstrusi Dimensional Accuracy of 3D Printed Polypropylene *Filament* Using Extrusion Machine," *Jurnal Tekno Sains*, vol. 11, no. 02, pp. 162-173, 2022.
- [6] S. Luthfianto, T. Hidayat, M. F. Nurwildani, M. C. Sugiono, and M. Agus, "Perancangan Mesin *Extruder* Filamen 3D *Printing* Dengan," pp. 1-7, 2023.
- [7] R. A. Tya, Y. S. Adi, and A. Burhanuddin, "Rancang Bangun Mesin *Filament Extruder* Yang Berbasis Arduino Mega2560 Dengan Hasil *Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs)*," *Science and Engineering ...*, vol. 5, no. Sens 5, pp. 495-506, 2020, [Online]. Available: <http://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/1526>
- [8] D. Iskandar, A. S. Sunarya, and G. Ananto, "Rancang Bangun *Filament Extruder* Machine Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene Sebagai Bahan Baku 3D *Printer*," *Politeknik Manufaktur Bandung*, 2019.
- [9] M. A. A. Mamun and M. Hasanuzzaman, "Optimasi Parameter Proses Ekstrusi *Filament* 3D *Printing* Dengan Metode *Taguchi*," *Energy for Sustainable Development: Demand, Supply, Conversion and Management*, pp. 1-14, 2020.
- [10] H. A. Pamasaria, T. H. Saputra, A. S. Utama, and C. Budiyanoro, "Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3D *Printing* berbahan Plastik PP Daur Ulang dengan Menggunakan Metode *Taguchi*," *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, vol. 4, no. 1, pp. 12-19, 2020, doi: 10.18196/jmpm.4148.