

## Optimasi Parameter Proses 3D Print Produk Kopling Menggunakan Filamen PLA (*Polylactic Acid*) dan *Response Surface Methodology*

Khairun Nisah<sup>1\*</sup>, Angga Sateria<sup>1</sup>, Yudi Oktriadi<sup>1</sup>, Eko Yudo<sup>1</sup>, Zaldy S. Suzen<sup>1</sup>

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

\*E-mail : khairun.nisah0153@gmail.com

Received: 8 Januari 2025; Received in revised form: 9 Januari 2025; Accepted: 14 Januari 2025

### Abstract

3D printing technology is one of the latest innovations in the manufacturing industry. One of the uses of 3D printing is manufacturing products and machine components such as making coupling components on the Z axis of a 3D printer machine. 3D printing technology works by extruding thermoplastic filaments to form layers of material gradually. In this research, the filament used is PLA (*Polylactic Acid*) filament with a diameter of 1.75 mm. This research aims to analyze the effect of process parameters on surface roughness using response surface methodology (RSM). The parameters tested were nozzle temperature (215°C, 230°C, 245°C), layer height (0.2 mm, 0.25 mm, 0.30 mm), and print speed (50 mm/s, 65 mm/s, 80 mm/s). The results showed that nozzle temperature and layer height significantly influenced the surface roughness results. The most optimal process parameters to minimize surface roughness are at nozzle temperature of 249°C, layer height of 0,17 mm, and print speed of 90 mm/s.

**Keywords:** Optimization; RSM Method; Surface Roughness; 3D-Printing.

### Abstrak

Teknologi 3D *printing* merupakan salah satu inovasi terbaru yang saat ini mulai banyak digunakan dalam dunia industri manufaktur. Salah satunya pemanfaatan 3D *printing* ini yaitu digunakan dalam pembuatan produk dan komponen mesin seperti membuat komponen kopling pada sumbu Z sebuah mesin 3D *printer*. Teknologi 3D *printing* bekerja dengan mengekstruksi filamen termoplastik hingga membentuk lapisan material secara bertahap. Pada penelitian ini, filamen yang digunakan adalah filamen PLA (*Polylactic Acid*) berdiameter sebesar 1,75 mm. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh parameter proses terhadap kekasaran permukaan menggunakan *response surface methodology* (RSM). Parameter yang diujikan adalah suhu *nozzle* (215°C, 230°C, 245°C), *layer height* (0,2 mm, 0,25 mm, 0,30 mm), dan *print speed* (50 mm/s, 65 mm/s, 80 mm/s). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa suhu *nozzle* dan *layer height* memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil kekasaran permukaan. Parameter proses paling optimal untuk meminimalkan kekasaran permukaan berada pada suhu *nozzle* 249°C, *layer height* 0,17 mm, dan *print speed* sebesar 90 mm/s.

**Kata kunci:** Kekasaran Permukaan; Metode RSM; Optimasi; 3D-Printing.

### 1. PENDAHULUAN

Teknologi 3D *printing* merupakan suatu inovasi baru dalam dunia manufaktur. 3D *printing* atau yang dikenal juga dengan sebutan *additive manufacturing* adalah suatu proses membuat objek 3D dalam bentuk apapun dari model digital [1]. FDM atau *Fused Deposition Modeling* adalah metode 3D *printing* yang bekerja dengan cara mengekstruksi filamen termoplastik hingga mencapai titik lelehnya sehingga dapat

membentuk lapisan demi lapisan objek 3D secara bertahap [2]. Keunggulan dari teknologi 3D *printing* ini adalah dapat memungkinkan untuk mencetak produk yang memiliki tingkat kompleksitas yang rumit sehingga dapat mendukung ide-ide kreatif dan inovatif baru dalam pengembangannya secara cepat dan efisien [3]. Satu satu contoh pengaplikasian teknologi 3D *printing* ini adalah pembuatan komponen mesin seperti kopling yang terdapat pada mesin 3D *printer*. kopling ini

berfungsi untuk memastikan kepresisian dan akurasi gerakan pada *printer* 3D karena pemilihan kopling pada mesin ini sangat penting untuk menjamin gerakan *printer* yang stabil dan akurat saat digunakan [4].

Beberapa filamen yang sering digunakan dalam 3D *printing* diantaranya yaitu PLA (*Polylactic Acid*). *Polylactic acid* atau PLA adalah filamen 3D *printing* yang paling umum digunakan [5]. PLA merupakan polimer yang bersifat biodegradable karena berasal dari sumber daya alam sehingga ramah lingkungan sehingga seringkali digunakan dalam bidang biomedis, termasuk untuk aplikasi seperti jahitan medis, sekrup fiksasi tulang, dan perangkat penghantaran obat [6] [7].

Dalam dunia proses 3D *printing*, PLA sering digunakan dalam pencetakan pembuatan prototipe, produk terkait makanan, dan objek lain yang tidak membutuhkan kekuatan mekanik yang tinggi [8]. Selain itu, harga filamen yang cenderung lebih murah dibandingkan dengan filamen lain menjadikan filamen PLA ini sebagai filamen utama yang dipilih oleh para pengguna 3D *printing*. Dibandingkan dengan filamen ABS yang memerlukan suhu *nozzle* diatas 230°C, PLA hanya memerlukan suhu *nozzle* pada rentang 190-220°C yang lebih rendah dari suhu *nozzle* pada filamen ABS [9].

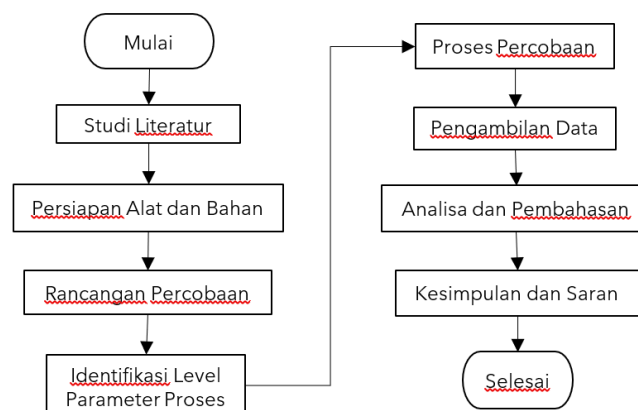
Salah satu penelitian yang melakukan analisa pada pengaruh kecepatan pencetakan terhadap kekasaran permukaan dengan menggunakan filamen PLA pada spesimen kubus berukuran 20 mm x 20 mm x 20 mm, menunjukkan bahwa kecepatan pencetakan memiliki dampak terhadap hasil kekasaran permukaan. Parameter

pencetakan yang digunakan yaitu suhu *nozzle* dengan rentang suhu 205-225°C, suhu *bed* pencetakan rentang 25-70°C, dan *print speed* dengan variasi 50%, 100%, dan 150%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan rata-rata pada *print speed* 50% adalah 15,086 pada sisi A, 14,828 pada sisi B, 16,002 pada sisi C, dan 16,594 pada sisi D. Untuk *print speed* 100%, kekasaran permukaan rata-rata meningkat menjadi 19,246 pada sisi A, 20,262 pada sisi B, 21,568 pada sisi C, dan 21,084 pada sisi D. Sementara itu, *print speed* 150% menghasilkan kekasaran permukaan yang tercatat sebesar 21,594 pada sisi A, 20,428 pada sisi B, 20,247 pada sisi C, dan 23,541 pada sisi D [10].

Penelitian ini membuat kopling dengan ukuran diameter 19 mm x 25 menggunakan filamen PLA. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan parameter pencetakan yang paling efektif dalam menghasilkan produk kopling dengan tingkat kekasaran permukaan yang paling minimum dengan menggunakan metode RSM. Parameter yang akan diuji meliputi suhu *nozzle*, *layer height*, dan *print speed*.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis hasil nilai kekasaran permukaan adalah *response surface methodology* atau metode RSM. Metode *response surface* pada penelitian ini menggunakan orde model kedua *Central Composite Design* (CCD) dengan 3 faktor. Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.1 Parameter Proses Penelitian

Parameter proses 3D *printing* yang digunakan dalam penelitian ini meliputi suhu *nozzle*, *layer height*, dan *print speed*. Parameter ini akan dimasukkan ke dalam

program *software slicing* yang akan menghasilkan *G-code* sebagai perintah untuk mesin 3D *printer* untuk melakukan proses pencetakan. Parameter proses dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Level dan parameter proses pencetakan

Level	Suhu Nozzle (°C)	Layer Height (mm)	Print Speed (mm/s)
1	215	0,2	50
2	230	0,25	65
3	245	0,3	80

Setelah menentukan level dan parameter penelitian, selanjutnya membuat rancangan orde model kedua CCD dengan 3 faktor. Pembuatan rancangan orde model kedua ini menggunakan perangkat lunak *software* Minitab 19.

Rancangan orde model kedua *Central Composite Design* (CCD) dengan 3 faktor dalam penelitian ini berjumlah 20 sampel seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Rancangan model percobaan

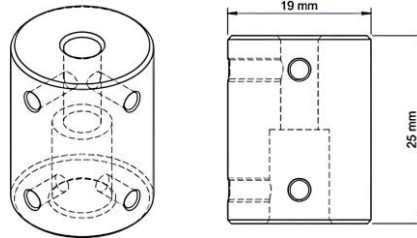
Nomor Eksperimen	Nozzle temperature (°C)	Layer Height (mm)	Print Speed (mm/s)
1	245	0,20	50
2	215	0,20	50
3	230	0,25	40
4	230	0,33	65
5	245	0,30	50
6	245	0,20	80
7	230	0,25	65
8	205	0,25	65
9	255	0,25	65
10	230	0,25	65
11	230	0,25	65
12	215	0,30	50
13	215	0,30	80
14	230	0,17	65
15	215	0,20	80
16	230	0,25	65
17	230	0,25	65
18	230	0,25	65
19	230	0,25	90
20	245	0,30	80

### 3.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat yang digunakan yaitu mesin 3D *printer* *Crealty Ender 3 Pro* berukuran 220 mm x 220 mm x 250 mm dengan *nozzle* yang berdiameter 0,8 mm. Alat uji kekasaran yang digunakan adalah alat uji kekasaran permukaan Mitutoyo SJ-210. Bahan filamen pada penelitian menggunakan filamen PLA (*Polylactic Acid*) berwarna abu-abu dengan diameter 1,75 mm.

### 3.1 Desain Penelitian

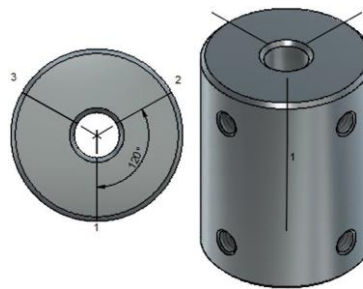
Desain penelitian yang akan dicetak adalah kopleng dengan ukuran diameter 25 mm x 19 mm. Desain Penelitian ini dibuat dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD). Desain sampel produk kopleng penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Desain Sampel Penelitian

Proses pengambilan data pengukuran kekasaran permukaan pada sampel tersebut akan dilakukan dengan mengukur kekasaran permukaan produk pada 3 garis posisi yang

berbeda seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Garis Posisi Pengukuran Spesimen

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil proses 3D *printing* tersebut diukur kekasaran permukaannya menggunakan *surface roughness tester*. Hasil pengukuran dari tiga garis posisi

pengukuran akan dirata-ratakan dan dimasukkan ke dalam perangkat *software* analisis untuk pengolahan datanya. Berikut hasil pengukuran uji kekasaran permukaan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji kekasaran permukaan spesimen percobaan

No. Eksperimen	Nilai Kekasaran / Ra ( $\mu\text{m}$ )			Rata-Rata Hasil Kekasaran Permukaan/ $\sum\text{Ra}$ ( $\mu\text{m}$ )
	1	2	3	
1	20.334	15.866	17.277	17.826
2	13.727	25.010	13.418	17.385
3	16.660	17.326	16.352	16.779
4	22.919	23.920	20.787	22.542
5	19.054	19.309	19.227	19.197
6	13.285	17.233	12.798	14.439
7	17.897	17.845	15.768	17.170
8	21.980	29.507	21.307	24.265
9	16.210	16.309	16.317	16.279
10	16.686	15.795	16.799	16.427
11	16.493	16.213	18.880	17.195
12	22.166	20.191	18.726	20.361
13	19.304	30.149	18.601	22.685
14	17.178	11.475	11.093	13.249
15	14.654	20.747	24.337	19.913
16	20.802	16.916	15.567	17.762
17	21.105	16.445	16.473	18.008
18	16.605	14.038	14.516	15.053
19	20.671	15.815	15.372	17.286
20	22.481	18.359	20.119	20.320

3.1 Penyesuaian Model *Response Surface Methodology* (RSM)

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan, model yang didapatkan dapat dilihat pada persamaan (1).

$$y^{\wedge} = 16.936 - 1.611X_1 + 2.097X_2 + 0.252X_3 + 1.279X_{12} + 0.436X_{22} + 0.130X_{32} + 0.188X_1X_2 - 0.8895X_1X_3 + 0.538X_2X_3 + 0.589X_1X_2X_3 \dots\dots\dots(1)$$

Tabel 4 menunjukkan analisa ANOVA uji kekasaran permukaan ditunjukkan bahwa masing-masing variabel mempunyai nilai *P-value*. Nilai *P-value* untuk suhu *nozzle* adalah sebesar 0,002, untuk *layer height* memilih

nilai *P-value* sebesar 0,000, dan nilai *P-value print speed* yaitu sebesar 0,526.

Tabel 4. Analisis ANOVA spesimen percobaan

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	130,036	14,4484	7,17	0,002
Linear	3	95,357	31,7858	15,77	0,000
X <sub>1</sub>	1	35,291	35,2907	17,50	0,002
X <sub>2</sub>	1	59,197	59,1974	29,36	0,000
X <sub>3</sub>	1	0,869	0,8694	0,43	0,526
Square	3	25,748	8,5826	4,26	0,035
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1	23,841	23,8411	11,82	0,006
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1	3,003	3,0030	1,49	0,250
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1	0,258	0,2583	0,13	0,728
2-Way Interaction	3	8,930	2,9767	1,48	0,280
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1	0,283	0,2828	0,14	0,716
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1	6,330	6,3297	3,14	0,107
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	2,318	2,3177	1,15	0,309
Error	10	20,162	2,0162		
Lack-of-Fit	5	14,404	2,8808	2,50	0,169
Pure Error	5	5,758	1,1516		
Total	19	150,197			

Berdasarkan hasil analisis yang ditampilkan pada Tabel 5, nilai *P-value* dari uji *lack-of-fit* terhadap model kekasaran permukaan yaitu sebesar 0,169. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut telah sesuai dan layak digunakan. Untuk menggambarkan pengaruh setiap faktor terhadap respon maka akan digunakan plot permukaan. Plot permukaan yang digunakan mencakup plot *surface roughness* dan plot kontur.

Pada Gambar (a), terlihat bahwa kekasaran permukaan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu *nozzle* hingga sekitar 260°C dengan ketinggian lapisan (*layer height*) sekitar 0,35 mm. Sementara itu, hasil kekasaran permukaan yang optimal diperoleh pada suhu *nozzle* di antara 200-220°C dengan ketinggian lapisan sekitar 0,20 mm. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kekasaran permukaan cenderung

meningkat seiring dengan peningkatan nilai ketinggian lapisan dan suhu *nozzle*.

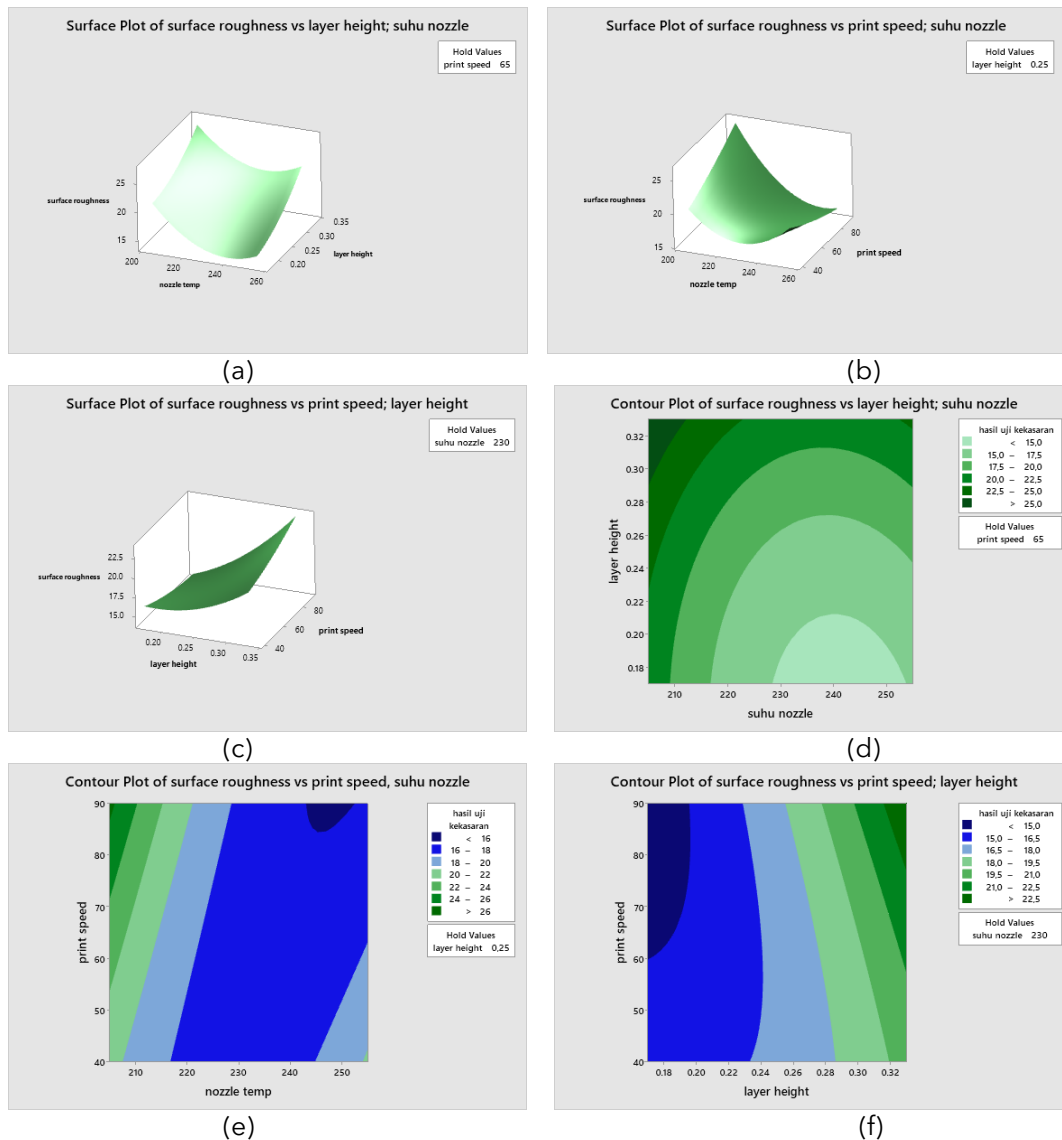
Pada Gambar (b), suhu *nozzle* sebesar 260°C yang dikombinasikan dengan kecepatan cetak (*print speed*) sebesar 40 mm/s menghasilkan nilai kekasaran sebesar 25 µm. Sebaliknya, kekasaran optimal, sekitar 15 µm, dicapai pada suhu *nozzle* sebesar 200°C dengan kecepatan cetak 80 mm/s.

Nilai kekasaran tertinggi yang diamati pada Gambar (c) diperoleh dari kombinasi ketinggian lapisan 0,35 mm dan kecepatan cetak 80 mm/s. Kekasaran optimal pada plot ini diperoleh pada ketinggian lapisan 0,2 mm dengan kecepatan cetak 40 mm/s.

Pada Gambar (d), plot kontur menunjukkan berbagai warna yang mewakili rentang respon yang berbeda. Berdasarkan Gambar (d), kekasaran permukaan terendah, yaitu kurang dari 15 µm, ditunjukkan dengan warna hijau tua. Gambar (e) menunjukkan

bahwa nilai kekasaran paling optimal ditampilkan dalam warna biru tua dengan nilai kekasaran kurang dari  $16 \mu\text{m}$ , sedangkan Gambar (f) menunjukkan

kekasaran optimal dalam warna biru tua dengan nilai kekasaran kurang dari  $15 \mu\text{m}$ . Plot permukaan tiga dimensi dan plot kontur ditunjukkan oleh Gambar 4 berikut.

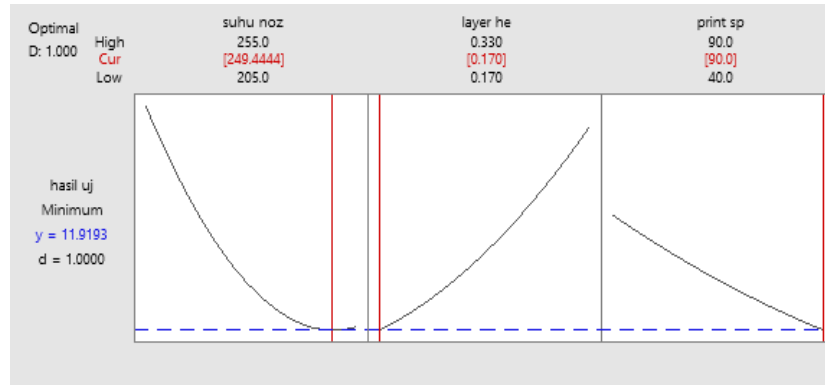


Gambar 4. Plot Permukaan dan Plot Kontur Sampel Percobaan

### 3.2 Optimasi Respon Percobaan

Proses optimasi respon yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mencapai nilai kekasaran permukaan minimal dengan parameter proses yang terdiri dari suhu *nozzle*, *layer height*, dan *print speed*. Nilai *desirability* memiliki kisaran

antara 0-1,0 yang dimana nilai yang mendekati 1,0 menunjukkan bahwa hasil optimasi produk sudah sesuai dengan target yang ingin dicapai atau mendekati kesempurnaan [11]. Hasil optimasi respon percobaan berupa grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Plot Optimasi

Berdasarkan pada Gambar 5 grafik hasil optimasi percobaan, ditunjukkan jelas bahwa variabel respon untuk parameter suhu *nozzle*, *layer height*, dan *print speed* yang paling optimal adalah 249°C, 0,17 mm, dan 90 mm/s dengan hasil uji kekasaran paling minimal yaitu 11.9193  $\mu\text{m}$ .

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai optimasi kekasaran permukaan pada produk kopling dengan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM), terdapat beberapa variabel yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap hasil optimasi produk. Pada pengujian kekasaran permukaan, hasil analisis menunjukkan bahwa variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil kekasaran permukaan produk yaitu suhu *nozzle* dan *layer height*. Parameter paling optimal untuk menghasilkan nilai kekasaran permukaan minimal atau yang terbaik berada pada suhu *nozzle* 249°C, *layer height* sebesar 0,17 mm, dan *print speed* 90 mm/s.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada pihak Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung atas dukungannya baik itu berupa fasilitas peralatan dan bimbingannya selamanya melakukan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] P. Raos, J. Stojšić, I. Pakši, T. Galeta, "Influence of structure on mechanical properties of 3D printed objects," in *International Conference on Manufacturing Engineering and*

*Materials*, ICMEM, Nový Smokovec, Slovakia, 2016.

[2] T. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. Nguyen and D. Hui, "Additive Manufacturing (3D Printing): A review of materials, methods, application, and challenges," *Composite Part B: Engineering*, vol. vol. 143, pp. pp. 172-196, Jun 2018.

[3] H. Chan, J. Griffin, J. Lim, F.Zeng and A. Chiu, ""The impact of 3D Printing Technology on the supply chain : Manufakturing and legal perspective,"" *International Journal of Production Economics*, vol. vol. 205, pp. pp. 156-162, 2018.

[4] S. Babu, L.Love, R. Dehoff, W. Peter, R. Watkins and S. Pannala, " "Additive manufacturing of materials: Opportunities and Challenges,"" *MRS Bulletin*, Vols. vol. 40, no. 12, pp. pp. 1154-1161, Nov 2015.

[5] S.F.Iftekar, A.Aabid, A. Amir and M.Baig, ""Advancements and Limitations in 3D Printing Materials and Technologies; A Critical Review,"" *Polymers*, Vols. vol. 15, no. 11, p. p. 2519, May 2023.

[6] B.Coppola, N. Cappeti, L. D. Maio, P. Scarfato and L.Incarnato, ""3D Printing of PLA/clay Nanocomposites: Influence of Printing Temperature on Printed Samples Properties,"" *Materials*, Vols. vol. 11, no. 10, p. p. 1947, October 2018.

[7] Z. S. Suzen and Hasdiansah, "Pengaruh Geometri Infill terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type IV Menggunakan Filamen PLA+ Sugoi,"

- 
- Jurnal Rekayasa Mesin*, Vols. Vol. 16, No. 2, pp. hal. 140-147, 2021.
- [8] T. Casalini, F. Rossi, A. Castrovinci and G. Perale, "A Perspective on Polylactic Acid-Based Polymers Use for Nanoparticles Synthesis and Application", *Frontier in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 7, October 2019.
- [9] Z.S.Suzen, Hasdiansyah and Yuliyanto, "Pengaruh Tipe Infill dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+Esun," *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, Vols. vol. 12, No. 02, pp. pp 73-80, 2020.
- [10] B. Sandeep, T. Kannan, J. Chandradass, M. Ganesan and A. J. Rajan, "Scope of 3D Printing in manufacturing industries-A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. vol. 45, pp. pp. 6941-6945.
- [11] Y. H. Cho and S. H. Park, "Optimization in Multiple Response Model with Modified Desirability Function," *Asian Journal on Quality*, Vols. vol. 7, no.3, pp. pp. 46-57, 2006.