

Pengaruh *Setting* Parameter pada *Slicing Software* terhadap *Surface Roughness* Objek *3D Printing* Menggunakan Metode Taguchi

Hasdiansah*, Sugiyarto

Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Kawasan Industri Air Kantung, Bangka, 33211, Indonesia, Tel: 0717-93586, Fax: 0717-93585
*Email: phianttarah@yahoo.co.id

Diterima: 15-03-2021; Direvisi: 21-11-2021; Dipublikasi: 30-12-2021

Abstrak

Teknologi FDM (*Fused Deposition Modelling*) merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk membuat objek 3D. FDM sering disebut sebagai teknologi yang sudah mampu mengubah dunia manufaktur dewasa ini. Namun teknologi FDM memiliki kelemahan karena teknologi ini menggunakan proses *building per layer* membuat permukaan yang dihasilkan terlihat memiliki garis yang menunjukkan batas antar *layer* sehingga mempengaruhi kekasaran pada permukaan produk cetak. Penelitian ini menggunakan filamen *Super Tough* PLA (ST-PLA). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter proses terhadap kekasaran permukaan objek cetak dan untuk mengetahui setting parameter proses yang menghasilkan kekasaran permukaan terbaik dari parameter proses yang digunakan. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan matriks ortogonal $L_{25}(5^6)$. Parameter proses yang akan dipilih dan dianalisis dalam penelitian ini adalah *layer thickness*, *printing speed*, *nozzle temperature*, *orientation*, *flowrate*, *cooling speed* dan respon yang diamati adalah kekasaran permukaan objek cetak. Untuk mengatasi permasalahan *noise* (gangguan) maka dicetak masing-masing tiga kali replikasi. Selanjutnya parameter proses tersebut akan dianalisis menggunakan Analisis Varian (ANOVA). Berdasarkan data hasil pengukuran kekasaran permukaan objek cetak, maka diperoleh parameter proses yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kekasaran permukaan objek cetak dengan menggunakan filamen ST-PLA adalah *layer thickness* dengan nilai F hitung sebesar 129,96, *flowrate* dengan nilai F hitung sebesar 6 dan *orientation* dengan nilai F hitung sebesar 3,03. Setting parameter proses yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan terbaik objek cetak adalah 0,10 mm yaitu pada eksperimen nomor lima (Exp. No. 5) dengan rata-rata 12,61 μm , dengan pengaturan *layer thickness*, 45 mm/s pada pengaturan *printing speed*, 210°C pada *nozzle temperature*, 0° pada *orientation*, 110% pada pengaturan *flowrate* dan 40% pada pengaturan *cooling speed*. Seluruh parameter proses tersebut disetting pada *slicing software* ideamaker 3.6.1. dalam menghasilkan G-Code objek cetak.

Kata kunci: 3D Printing, FDM, Filament ST-PLA, Kekasaran Permukaan, Taguchi

Abstract

FDM (*Fused Deposition Modeling*) technology is one of the technologies used to create 3D objects. FDM is often referred to as a technology that has been able to change today's manufacturing world. However, FDM technology has a weakness because this technology uses a *building per layer* process to make the resulting surface appear to have lines that show the boundaries between layers so that it affects the roughness of the surface of the printed product. This study used *Super Tough* PLA (ST-PLA) filament. The purpose of this study is to determine the effect of process parameters on the surface roughness of the printed object and to determine the process parameter settings that produce the best surface roughness of the process parameters used. This study uses the Taguchi method with an orthogonal matrix $L_{25}(5^6)$. The process parameters that will be selected and analyzed in this study are *layer thickness*, *printing speed*, *nozzle temperature*, *orientation*, *flowrate*, *cooling speed* and the observed response is the surface roughness of the printed object. To overcome the noise problem, three replications were printed each. Furthermore, the process parameters were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA). Based on the results of the measurement of the surface roughness of the printed object, the process parameters that have the greatest influence on the surface roughness of the printed object using the ST-PLA filament are *layer thickness* with a calculated F value of 129.96, *flowrate* with a calculated F value of 6 and *orientation* with a calculated F value of 3.03. The process parameter setting that produces the best surface roughness value for the printed object is 0.10 mm, namely in experiment number five (Exp. No. 5) with an average of 12.61 μm , with the *layer thickness* setting, 45 mm/s at the *printing speed* setting, 210°C on the *nozzle temperature*, 0° on the *orientation*, 110% on the *flowrate* setting and 40% on the *cooling speed* setting. All process parameters are set in the *ideamaker slicing software* 3.6.1. in generating G-Code print objects.

Keywords: 3D Printing, FDM, Filament ST-PLA, Surface Roughness, Taguchi

1. Pendahuluan

Teknologi FDM (*Fused Deposition Modelling*) merupakan salah satu teknologi untuk membuat objek 3D. 3D *Printing* sering disebut sebagai teknologi terbaru yang akan mampu mengubah dunia. Salah satu teknologi 3D *printing* yang sering ditemukan dan teknologi 3D *Printing* yang paling murah saat ini adalah jenis teknologi FDM. Prinsip kerja FDM (*Fused Deposition Modeling*) adalah dengan cara ekstrusi *thermoplastic* melalui *nozzle* yang panas pada *melting temperature* selanjutnya produk dibuat lapis per lapis hingga selesai dan terbentuk menjadi produk jadi atau *prototype*. Suzen Z.S. dan Hasdiansah H, telah melakukan penelitian menggunakan filamen PLA+ terhadap kuat tarik spesimen uji tarik standar ASTM D638 Type IV menunjukkan bahwa bentuk geometri infill mempengaruhi kuat tarik spesimen uji.[1] Altan M et al., telah meneliti menggunakan filamen PLA dengan menggunakan metode Taguchi LOA16. [2] Hafsa M. N et al., telah meneliti material ABS dan PLA menggunakan parameter *layer thickness* terhadap akurasi dimensi dan *surface roughness* objek cetak, menunjukkan bahwa *layer thickness* memberikan pengaruh yang dominan terhadap akurasi dimensi dan *surface roughness*. [3] Buj-Corral I, et al., telah meneliti material PLA dalam bentuk setengah bola dengan menggunakan teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM), menunjukkan bahwa *layer height* dan diameter *nozzle* mesin 3D *Printer* memberikan pengaruh terhadap *surface roughness* objek cetak. [4] Charles A et.al., telah meneliti tentang *surface roughness* objek cetak dengan menggunakan teknologi *Selective Laser Melting* (SLM) material serbuk PLA, menunjukkan bahwa parameter yang disetting pada mesin 3D *Printer* berteknologi SLM memberikan pengaruh terhadap tingkat *surface roughness* objek cetak. [5] García Plaza E, et.al., telah meneliti dengan menggunakan material PLA terhadap akurasi dimensi produk cetak, menunjukkan bahwa semakin tipis *layer thickness* maka semakin akurat produk cetak dan pengaruh *feed rate* mesin 3D *Printer* tidak memberikan dampak yang dominan terhadap akurasi dimensi produk cetak [6].

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan Taufik, et al., telah melakukan penelitian tentang pengaruh *Printing Speed* terhadap tingkat kekasaran permukaan hasil *Additive Manufacturing* menggunakan filament PLA. Penelitian ini menggunakan *printing speed* dengan tiga variasi yaitu 50% (spesimen ke-1), 100% (spesimen ke-2) dan 150% (spesimen ke-3). Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa nilai rata – rata hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan cenderung meningkat (semakin kasar) jika *printing speed* semakin ditingkatkan [7].

Penelitian yang telah dilakukan Pristiansyah, et al., telah melakukan penelitian tentang akurasi dimensi objek cetak dengan menggunakan filamen Eflex. Dalam penelitian ini menggunakan parameter proses yang diatur pada *slicing software* dalam menghasilkan *G-Code* adalah *flow rate*, *layer thickness*, *nozzle temperature*, *printing speed*, *overlap* dan *fan speed*. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah parameter proses yang optimal untuk mendapatkan keakuratan dimensi arah X adalah *flow rate* 110 %, *layer thickness* 0,10 mm, *nozzle temperature* 210°C, *print speed* 40 mm/s, *overlap* 75 % dan *fan speed* 50 %. Untuk dimensi arah Y adalah *flow rate* 120 %, *layer thickness* 0,20 mm, *nozzle temperature* 230°C, *print speed* 30 mm/s, *overlap* 75 % dan *fan speed* 100 %. Serta dimensi arah Z adalah *flow rate* 120 %, *layer thickness* 0,30 mm, *nozzle temperature* 210°C, *print speed* 30 mm/s, *overlap* 50 % dan *fan speed* 100 %.[8] Penelitian yang telah dilakukan Hakim, et al., telah meneliti tentang pengaruh temperatur *nozzle* dan *base plate* menggunakan material PLA terhadap nilai masa jenis dan kekasaran permukaan produk pada mesin *leapfrog creator* 3D *printer*. Penelitian ini menggunakan tiga variasi temperatur *nozzle* yaitu 190°C, 205°C, 220°C dan menggunakan dua variasi temperatur *bed* 30°C, 50°C. Dari penelitian ini didapatkan hasil kekasaran permukaan terbaik pada pengaturan temperatur *nozzle* 190°C dan temperatur *bed* 30°C dengan menggunakan lem sebesar 5.709 µm [9].

Penelitian yang lain oleh Karuniawan, et al., telah melakukan penelitian tentang 3D *Printing* berteknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM). DOE penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan menggunakan parameter

printing speed, *printing temperature* dan *layer height*. Penelitian ini memperoleh hasil bahwa *layer height* memiliki kontribusi paling dominan terhadap nilai kekasaran permukaan objek cetak, sedangkan *printing temperature* menempati posisi dua dan yang ketiga adalah *printing speed*. [10] Sahputra, et al., telah melakukan penelitian terhadap material ABS untuk memperoleh tingkat kehalusan permukaan objek cetak dengan menggunakan 3D *Printing*. Dalam penelitian ini menggunakan tiga parameter temperatur seting *nozzle* yaitu 240°C, 250°C dan 260°C (*single nozzle* dan *dual nozzle*) temperatur *base plate* 30°C, dan 100°C serta *adhesive type* dengan lem atau tanpa lem. Berdasarkan hasil pengukuran nilai kekasaran permukaan objek cetak pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa temperatur terbaik dalam mencetak adalah dengan menggunakan temperatur *nozzle* 240°C dan *base plate* 30°C. [11] Yang, et.al., telah meneliti parameter 3D *Printing* berteknologi FDM dengan metode RSM dengan menggunakan lima parameter yaitu (*nozzle diameter*, *liquefier temperature*, *extrusion velocity*, *filling velocity* and *layer thickness*) terhadap kuat tarik spesimen uji dan kekasaran permukaan objek 3D *Printing*, menunjukkan hasil bahwa optimalisasi parameter tersebut signifikan terhadap kualitas kekasaran permukaan dan efisiensi proses. [12] Nadir Ayrilmis, telah meneliti tentang kekasaran permukaan objek cetak 3D *Printing* dengan menggunakan filamen PLA *Wood* dengan empat variasi *layer thickness*, 0,05mm, 0,1mm, 0,2mm, dan 0,3mm menunjukkan bahwa semakin tipis *layer thickness* maka semakin hasil produk yang dihasilkan. [13] Yang H. Et.al., telah meneliti material PLA dan ABS pada pembuatan *hydrophobics coating*, dengan menggunakan parameter *layer thickness* 0,25 mm, *printing speed* 150 mm/s, dan *infill grid* menunjukkan hasil bahwa *layer thickness* dan *infill* mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan produk cetak, sementara *printing speed* tidak memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaan produk cetak. [14] Heshmat M, et.al., telah meneliti dengan menggunakan faktor *building orientation*; *layer thickness*; and *impact angle of the slurry particles* pada mesin 3D *Printer* berteknologi FDM menunjukkan bahwa keempat faktor pada penelitian tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan objek yang dicetak [15].

Penelitian ini menggunakan *filament* ST-PLA yang merupakan pengembangan dari material PLA murni. Penelitian ini menggunakan *filament* ST-PLA dikarenakan *filament* ST-PLA banyak digunakan oleh para penggemar 3D *Printing* dan peneliti. Walaupun ST-PLA mudah rapuh setelah beberapa bulan dikarenakan oleh kelembapan suhu dan debu. Namun masih sangat perlu untuk diteliti dari segi tingkat kehalusan produk cetaknya. Selain itu waktu pelapukannya pun membutuhkan waktu berkisar enam (6) bulan. Produsen filamen CCTREE memproduksi PLA *special* yang disebut ST-PLA atau *Super Tough* PLA yang dikomposkan dengan aditif *special*, PLA ini tidak berpengaruh biodegradasi, dan dapat meningkatkan sifat mekanik PLA dibanding dengan *filament* PLA normal. *Filament* ST-PLA lebih keras dibandingkan dengan PLA biasa, sehingga dapat menghasilkan kekuatan yang lebih baik, ikatan lapisan yang kuat dan lebih tahan akan benturan. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pengaturan parameter proses terbaik terhadap tingkat kekasaran permukaan objek cetak menggunakan filamen ST-PLA yang disetting pada *slicing software* dalam bentuk *G-Code*.

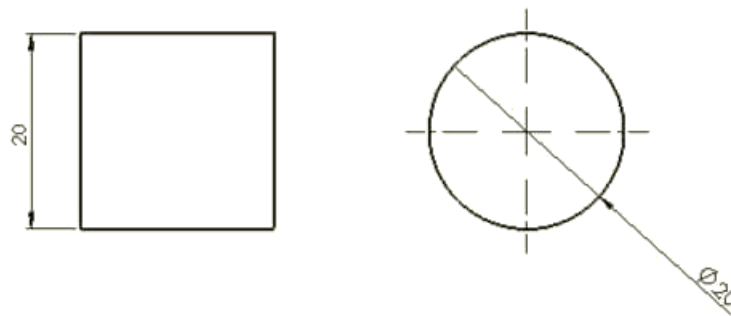
2. Metode Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dimulai dari studi pustaka yang berkaitan dengan penelitian terkait filamen PLA, terutama pada penelitian kekuatan tarik produk 3D *Printing*. Pemilihan parameter proses yang digunakan pada pembuatan atau pencetakan spesimen uji kekasaran permukaan, selanjutnya menentukan *Design Of Experiment* (DOE). Penentuan level tiap faktor, sehingga menghasilkan *Orthogonal Array* berdasarkan desain Taguchi. Selanjutnya parameter proses yang dipilih digunakan pada *slicing software* dalam menghasilkan *G-Code* spesimen uji kekasaran

permukaan sebanyak dua puluh lima (25) eksperimen. Masing-masing Eksperimen dicetak tiga (3) spesimen uji kekasaran permukaan.

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian dilakukan pada mesin 3D *Printer* dengan volums XYZ dengan dimensi 300 mm x 300 mm x 350 mm dengan menggunakan *nozzle* berukuran 0,4 mm. material yang digunakan *fillament* ST-PLA dengan diameter 1,75 mm. Desain objek dibuat menggunakan *software* gambar dengan bentuk dan dimensi berdasarkan spesimen pengujian seperti pada Gambar 1.



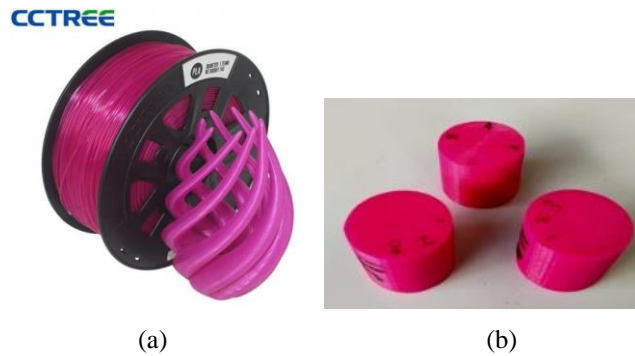
Gambar 1. Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji Kekasaran Permukaan

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan Mesin 3D *Printer* FDM Anet 8 plus dengan *printing volums* XYZ dengan dimensi 300 mm x 300 mm x 350 mm yang digunakan untuk mencetak spesimen seperti pada Gambar 2. Filamen ST-PLA dengan diameter 1,75 mm seperti pada Gambar 3(a). Spesimen uji kekasaran permukaan seperti pada Gambar 3(b). *Slicing Software ideamaker* 3.6.1, digunakan untuk menghasilkan *G-Code* pada mesin 3D *Printing*. *Mitutoyo Surface Roughness Tester* sebagai alat ukur kekasaran permukaan spesimen uji ditunjukkan seperti pada Gambar 4.



Gambar 2. Mesin 3D *Printing* FDM Anet 8 Plus



Gambar 3. (a) Filamen ST-PLA dan (b) Spesimen Uji



Gambar 4. Mitutoyo *Surface Roughness tester*

2.3 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang diperlukan dalam melakukan penelitian ini yaitu: spesifikasi mesin 3D *Printer* berteknologi FDM yang akan digunakan untuk mencetak spesimen uji, karakteristik dan jenis filamen yang digunakan pada penelitian ini, nilai dari setiap faktor yang akan diuji, data hasil uji kekasaran permukaan dari spesimen uji yang dicetak (bagian atas spesimen uji).

2.4 Langkah – langkah Penelitian

Tahapan pada penelitian ini berurutan dimulai dengan persiapan Mesin 3D *Printing*, *filament* ST PLA, *software ideamaker* 3.6.1 dan *software* gambar, semua alat dan bahan yang berhubungan dengan penelitian ini akan disiapkan sebaik mungkin agar proses penelitian terarah dan sistematis sesuai yang direncanakan. Setelah persiapan selesai dilakukan, maka akan dilanjutkan dengan menentukan parameter proses cetak yang diatur pada *slicing software* seperti *layer thickness*, *printing speed*, *nozzle temperature*, *orientation*, *flowrate* dan *cooling speed* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter yang Akan Diuji

NO	<i>Layer thickness</i> (mm)	<i>Printing speed</i> (mm/s)	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Orientation</i> (°)	<i>Flow rate</i> (%)	<i>Cooling speed</i> (%)
1	0,10	40	190	0	90	20
2	0,10	45	195	22,5	95	40
3	0,10	50	200	45	100	60
4	0,10	55	205	67,5	105	80
5	0,10	60	210	90	110	100
6	0,15	40	195	45	105	100
7	0,15	45	200	67,5	110	20

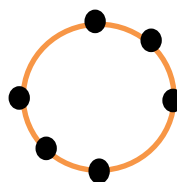
NO	Layer thickness (mm)	Printing speed (mm/s)	Nozzle Temperature (°C)	Orientation (°)	Flow rate (%)	Cooling speed (%)
8	0,15	50	205	90	90	40
9	0,15	55	210	0	95	60
10	0,15	60	190	22,5	100	80
11	0,20	40	200	90	95	80
12	0,20	45	205	0	100	100
13	0,20	50	210	22,5	105	20
14	0,20	55	190	45	110	40
15	0,20	60	195	67,5	90	60
16	0,25	40	205	22,5	110	60
17	0,25	45	210	45	90	80
18	0,25	50	190	67,5	95	100
19	0,25	55	195	90	100	20
20	0,25	60	200	0	105	40
21	0,30	40	210	67,5	100	40
22	0,30	45	190	90	105	60
23	0,30	50	195	0	110	80
24	0,30	55	200	22,5	90	100
25	0,30	60	205	45	95	20

Tahapan selanjutnya *file* gambar diolah pada *slicing software (ideamaker 3.6.1)*, tujuan dari proses ini adalah agar desain yang sudah disiapkan dapat dibuat dan diproses dengan mudah oleh mesin 3D *Printer* yang telah disiapkan. Setelah *file* gambar diproses pada *slicing software* sehingga menghasilkan G-Code. G-Code tersebut selanjutnya disimpan pada *sd.card*, dan dipasangkan pada mesin 3D *Printer* untuk selanjutnya dicetak masing-masing tiga buah. Proses pencetakan spesimen uji kekasaran permukaan atas (*Top Surface*) menggunakan mesin 3D *Printer* ditunjukkan pada Gambar 5.

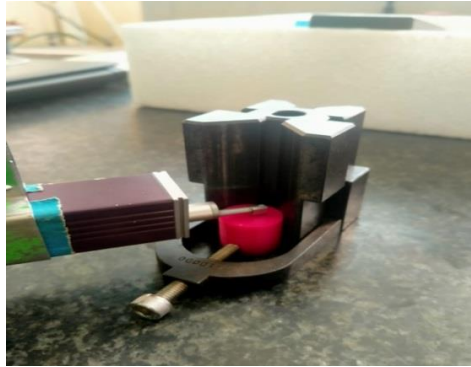


Gambar 5. Proses Pembentukan Spesimen Uji Kekasaran Permukaan Atas (*Top Surface*)

Setelah seluruh spesimen uji tercetak, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan uji kekasaran permukaan *Top surface* dengan menggunakan alat Mitutoyo *Surface Roughnes Tester* untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan untuk mengetahui kekasaran permukaan spesimen uji menggunakan material ST-PLA. Berikut merupakan titik pengambilan data nilai kekasaran permukaan spesimen (*Top Surface*) ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Titik yang Diuji *Top Surface*



Gambar 7. Proses Pengujian *Top Surface* Spesimen Uji

3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengukuran kekasaran permukaan dicatat dan dianalisis. Pengambilan data penelitian dilakukan dengan cara mengkombinasikan parameter-parameter proses yang terdapat pada mesin 3D *Printer* berdasarkan data G-Code yang telah dihasilkan oleh *slicing software*. Adapun parameter-parameter proses yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah *layer thickness*, *printing speed*, *nozzle temperature*, *orientation*, *flowrate* & *cooling speed*. Data hasil pengujian kekasaran ditunjukkan pada Tabel 2.

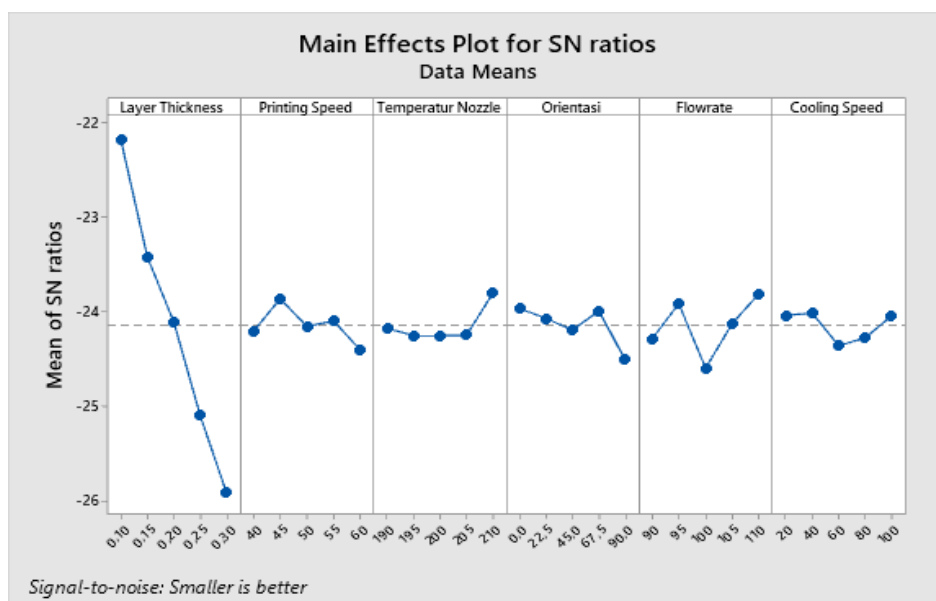
Tabel 2. Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan *Top Surface*

Exp. No.	Parameter Proses						Nilai Kekasaran <i>Top Surface</i>		
	Layer thickness (mm)	Printing speed (mm/s)	Nozzle temperature (°C)	Orientation (°)	Flowrate (%)	Cooling speed (%)	A	B	C
1	0,10	40	190	0,0	90	20	12,872	13,235	12,232
2	0,10	45	195	22,5	95	40	11,332	12,840	11,739
3	0,10	50	200	45,0	100	60	14,661	14,088	14,662
4	0,10	55	205	67,5	105	80	12,334	13,384	12,894
5	0,10	60	210	90,0	110	100	13,352	12,859	11,621
6	0,15	40	195	45,0	105	100	14,124	15,321	15,451
7	0,15	45	200	67,5	110	20	13,842	13,258	13,590
8	0,15	50	205	90,0	90	40	17,282	15,919	13,632
9	0,15	55	210	0,0	95	60	14,375	13,353	13,819
10	0,15	60	190	22,5	100	80	16,134	16,588	16,021
11	0,20	40	200	90,0	95	80	18,191	17,087	15,158
12	0,20	45	205	0,0	100	100	16,134	15,169	15,881
13	0,20	50	210	22,5	105	20	18,191	15,953	14,887
14	0,20	55	190	45,0	110	40	16,974	16,788	13,520
15	0,20	60	195	67,5	90	60	14,342	17,878	15,956
16	0,25	40	205	90,0	110	60	15,284	16,615	18,903
17	0,25	45	210	0,0	90	80	17,489	17,794	17,804
18	0,25	50	190	67,5	95	100	18,110	16,792	17,775
19	0,25	55	195	90,0	100	20	16,424	19,477	21,239
20	0,25	60	200	0,0	105	40	16,641	18,901	17,096
21	0,30	40	210	67,5	100	40	18,088	20,282	18,657
22	0,30	45	190	90,0	105	60	19,482	20,145	21,343
23	0,30	50	195	0,0	110	80	19,837	19,315	19,202
24	0,30	55	200	22,5	90	100	18,898	19,183	20,447
25	0,30	60	205	45,0	95	20	19,764	19,610	19,910
Nilai Kekasaran Terbaik							Exp.5		
Nilai Kekasaran Terburuk							Exp.22		

3.1. Perhitungan Respon *Signal to Noise*

Berdasarkan data yang telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai dari rasio S/N pada tiap parameter dengan karakteristik *smaller the better* dan berikut diperoleh hasil perhitungan respon dapat dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 3. Berdasarkan data pada eksperimen nomor lima (*Exp. No. 5*), menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekasaran permukaan objek cetak sebesar 12,610 μm . Nilai kekasaran permukaan ini merupakan hasil terbaik dari seluruh eksperimen yang telah dilakukan pada penelitian ini. Sementara hasil terburuk ditunjukkan pada ekseperimen nomor 22 (*Exp. No.22*) dengan nilai rata-rata kekasaran permukaan sebesar 20,333 μm .

Berdasarkan Gambar 8 dan Tabel 3. diperoleh nilai level dari tiap parameter proses yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan terbaik terhadap permukaan objek cetak (*Top Surface*) yaitu pada pengaturan *layer thickness* 0,10 mm, *flowrate* 110 %, *nozzle temperature* 210°C, *printing speed* 45 mm/s, *cooling speed* 40 % dan *orientation* 0° pada *slicing software*.



Gambar 8. Plot rasio S/N Untuk Respon Kekasaran Permukaan

Tabel 3. Rasio S/N Respon Kekasaran Permukaan

Level	Layer Thickness	Printing Speed	Nozzle Temperature	Orientation	Flowrate	Cooling Speed
1	-22,19	-24,21	-24,18	-23,97	-24,29	-24,04
2	-23,42	-23,86	-24,25	-24,07	-23,92	-24,01
3	-24,11	-24,15	-24,25	-24,19	-24,59	-24,36
4	-25,09	-24,10	-24,25	-23,99	-24,12	-24,28
5	-25,91	-24,41	-23,80	-24,51	-23,81	-24,04
Delta	3,72	0,54	0,45	0,54	0,79	0,34
Rank	1	4	5	3	2	6

3.2. Hasil Analisis Variansi (ANOVA)

Tabel 4. Hasil Analisis Variansi (ANOVA)

Parameter	V	SS	MS	F
Layer Thickness	4	41,59	10,39	129,96
Printing Speed	4	0,75	0,1875	2,34

<i>Nozzle Temperature</i>	4	0,74	0,185	2,31
<i>Orientation</i>	4	0,97	0,24	3,03
<i>Flowrate</i>	4	1,92	0,48	6
<i>Cooling Speed</i>	4	0,5	0,125	1,56
Error	0	0,32	-	
Total	24	46,79		

Hipotesis pengujian adalah jika H_0 = tidak ada pengaruh dan H_1 = ada pengaruh dengan kriteria pengujian tolak H_0 , jika nilai F hitung $>$ F tabel ($\alpha = 5\%$). Hasil dari analisis dari Tabel 4 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut. Berdasarkan data pada Tabel 5. menunjukkan bahwa nilai F hitung dari parameter *layer thickness*, *flowrate* dan *orientation* lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel yang berarti ketiga parameter tersebut berpengaruh terhadap kekasaran permukaan spesimen (*Top Surface*).

Tabel 5. Keputusan Uji

Parameter	F hitung	F Tabel (0,05;4;24)	Keputusan Uji
<i>Layer Thickness</i>	129,96		H_0 ditolak
<i>Printing Speed</i>	2,34		H_0 diterima
<i>Nozzle Temperature</i>	2,31		H_0 diterima
<i>Orientation</i>	3,03	2,78	H_0 ditolak
<i>Flowrate</i>	6		H_0 ditolak
<i>Cooling Speed</i>	1,56		H_0 diterima

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur *Surftest*, maka diperoleh bahwa parameter proses yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kekasaran permukaan (*Top Surface Roughness*) dengan menggunakan filamen ST-PLA terhadap objek cetak berbentuk silinder pejal adalah *layer thickness* dengan nilai F hitung sebesar 129,96, *flow rate* dengan nilai F hitung sebesar enam (6) dan *orientation* dengan nilai F hitung sebesar 3,03. Seting parameter proses yang menghasilkan kekasaran permukaan terbaik pada permukaan atas (*Top Surface*) spesimen uji adalah pada pengaturan parameter *layer thickness* sebesar 0,10 mm, *printing speed* pada 45mm/s, *nozzle temperature* 210°C, *flowrate* sebesar 110%, sudut orientasi pencetakan objek sebesar 0°, dan kecepatan pendinginan (*cooling speed*) sebesar 40%. Berdasarkan data hasil pengukuran terhadap eksperimen nomor lima (*Exp. No. 5*), menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekasaran permukaan objek cetak sebesar 12,610 μm . Nilai kekasaran permukaan ini merupakan hasil terbaik dari seluruh eksperimen yang telah dilakukan pada penelitian ini. Sementara hasil terburuk ditunjukkan pada ekseperimen nomor 22 (*Exp. No.22*) dengan nilai rata-rata kekasaran permukaan sebesar 20,333 μm .

Daftar Pustaka

1. Suzen Z.S., Hasdiansah H. Pengaruh Geometri Infill terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik ASTM D638 T type IV Menggunakan Filamen PLA+ Sugoi. Jurnal Rekayasa Mesin [Internet]. Politeknik Negeri Semarang; 2021 Aug 27;16(2):140. Available from: <http://dx.doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2343>
2. Altan M, Eryildiz M, Gumus B, Kahraman Y. Effect of process parameters on the quality of PLA products fabricat ed by fused deposition modelling (FDM): surface roughness and tensile strength Material Testing. 2018;60(5):471-477.<https://doi.org/10.3139/120.111178>

3. Hafsa MN, Ibrahim M, Wahab MdS, Zahid MS. Evaluation of FDM Pattern with ABS and PLA Material. *AMM* 2013;465–466:55–9. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.465-466.55>.
4. Buj-Corral I, Sanchez-Casas X, Luis-Perez CJ. Analysis of AM Parameters on Surface Roughness Obtained in PLA Parts Printed with FFF Technology. *Polimers [Internet]* 2021;13:2384. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/polym13142384>
5. Charles A, Elkaseer A, Thijs L, Hagenmeyer V, Scholz S. Effect of Process Parameter on the Generated Surface Roughness of Down-Facing Surfaces in Selective Laser Melting. *Applied Sciences [Internet]* 2019;9:1256. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/app9061256>
6. García Plaza E, Núñez López P, Caminero Torija M, Chacón Muñoz J. Analysis of PLA Geometric Properties Processed by FFF Additive Manufacturing: Effects of Process Parameters and Plate-Extruder Precision Motion. *Polymers [Internet]* 2019;11(10):1581. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/polym11101581>
7. Taufik, I., Budiono, S. H., Herianto & Andriyansyah, D., 2020. Pengaruh *Printing Speed* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil *Additive Manufacturing* Dengan Polylactic Acid Filament. *Mechanical Engineering*, 4(1), p p. 15-20.
8. Pristiansyah P, Hasdiansah H, Sugiyarto S. Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech [Internet]*. 2019Jul.31 [cited 2021Dec.1];11(01):33-40. Available from: <https://ejournal.polman-babel.ac.id/index.php/manutech/article/view/98>
9. Hakim, R., Saputra, I., Utama, G. P. & Setyoadi, 2019. Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate pada Material PLA Terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3D Printer. *Jatra Jurnal Teknologi dan Riset Terapan*, 1(1), pp. 1-8.
10. Karuniawan, B. W., Rachman, F. & Setiawan, A. A., 2019. Optimasi Parameter Mesin *Fused Deposition Modelling* (FDM) Terhadap Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi. *Techno Bahari*, 6(2), pp. 23-29.
11. Sahputra, B., Hakim, R. & Saputra, I., 2018. Studi Parameter Temperatur Nozzle dan Base Plate pada Material ABS Sebagai Bahan Baku 3D Printer Terhadap Kehalusan Permukaan. pp. 1-10.
12. Yang, L., Li, S., Li, Y. *et al.* Experimental Investigations for Optimizing the Extrusion Parameters on FDM PLA Printed Parts. *J. of Materi Eng and Perform* **28**, 169–182 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3784-x>.
13. Nadir Ayrilmis. Effect of layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour/PLA filament, *Polymer Testing*, Volume 71, 2018, Pages 163-166, ISSN 0142-9418, <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2018.09.009>.
14. Yang H, Ji F, Li Z, Tao S. Preparation of Hydrophobic Surface on PLA and ABS by Fused Deposition Modeling. *Polymers [Internet]* 2020;12(7):1539. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/polym12071539>.
15. Heshmat, M. and Abdelrhman, Y. (2021), "Improving surface roughness of polylactic acid (PLA) products manufactured by 3D printing using a novel slurry impact technique", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 27 No. 10, pp. 179 1-1800. <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2020-0227>