

METODE TAGUCHI UNTUK OPTIMASI PARAMETER MESIN PRINTER 3D TERHADAP KWALITAS PRODUK MATERIAL ABS

TAGUCHI METHOD FOR 3D PRINTER MACHINE PARAMETER OPTIMIZATION OF PRODUCT QUALITY FROM ABS MATERIAL

Bayu Wiro Karuniawan^{1)*}, Farizi Rachman¹⁾, Mega Tri Yoningtias²⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111

²⁾ Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111

*e-mail corresponding: bayuwiro@ppns.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
01/04/2022

Diterima:
Accepted
06/10/2022

Publikasi Online:
Online-Published
31/10/2022

ABSTRAK

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin Printer 3D FDM (Fused Deposition Modeling) Ender-3 Pro dengan berbagai kombinasi parameter. Pemilihan parameter untuk 3 jenis parameter (Layer height, infill pattern, dan nozzle temperature), masing-masing parameter divariasikan sebanyak 3 variasi. Material yang digunakan adalah material ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). Metode penelitian menggunakan metode Taguchi. Rancangan Percobaan metode Taguchi menggunakan matriks ortogonal $L_9(3^4)$ dengan tiga kali pengulangan. Respon yang dihasilkan hanya kekasaran permukaan. Eksperimen menghasilkan parameter optimal: Layer Height 0.1 mm, Infill Pattern adalah pola line dan Temperatur Nozzle 240 °C. Parameter layer height memberikan persentase nilai kontribusi 99,63%, infill pattern sebesar 0,04% dan persentase nozzle temperature 0,154%.

Kata Kunci : Printer 3D, Desain Eksperimen, Kekasaran Permukaan, Optimasi, Taguchi

ABSTRACT

The examination was directed utilizing 3D Printer FDM (Fused Deposition Modeling) Ender-3 Pro with different mixes of boundaries. Choice of boundaries for 3 kinds of boundaries (Layer level, infill example, and spout temperature), every boundary fluctuated by 3 varieties. The material utilized is ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) material. The examination strategy utilizes the Taguchi technique. Plan of Experiment involving the Taguchi technique as an orthogonal matrix $L_9(3^4)$ with three replications. The resulting response is only surface roughness. Tests produce the ideal boundaries: layer height 0.1 mm, infill pattern is line pattern and nozzle temperature 240 °C. The layer height parameter result a contribution percentage of 99,63%, infill pattern 0,04%, and nozzle temperature 0,15%.

Keywords : 3D Printer, Design of Experiment, Optimization, Surface Roughness, Taguchi

©2022 The Authors. Published by AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:
<http://doi.org/10.5281/zenodo.7265857>

1 PENDAHULUAN

Printer 3D merupakan jenis manufaktur *additive*, di mana mesin memproses sebuah filamen secara lapis demi lapis yang dikontrol dengan program/aplikasi dan dihasilkan benda bentuk 3D. (Riza et al., 2020). Printer 3D membawa banyak manfaat untuk desain teknik, pengembangan produk, dan proses manufaktur. Printer 3D

membawa banyak manfaat untuk desain teknik, pengembangan produk, dan proses produksi (Nguyen et al., 2020). Penggunaan pencetakan 3D juga meningkat (Nicholson, 2014) di lingkungan bisnis lain seperti industri otomotif dan teknik dirgantara. Suku cadang, misalnya, sedang diproduksi di industri otomotif dan dirgantara yang mengarah pada peningkatan skala ekonomi.

Salah satu mesin printer 3D atau *quick prototyping* yang banyak ditemui di *marketplace*

jaman ini adalah mesin berteknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM). (Karuniawan et al., 2019). *Fused Deposition Modelling* (FDM) merupakan salah satu teknik pada manufaktur *additive* yang bisa membuat lebih cepat siklus pengerjaan dari merancang ke pembuatan produk, bisa membentuk sebuah obyek dengan bentuk yang kompleks dan menghasilkan sisa material yang lebih sedikit. (Andriyansyah et al., 2018).

Ada beberapa teknologi yang digunakan dalam proses *rapid prototyping* (RP), yaitu *Selective Laser Sintering* (SLS), *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Laminated Object Manufacturing* (LOM), 3-D Printing (3DM), *Stereolithography* (SLA), dan lain-lain (Nancharaiah, 2011). Mesin Printer 3D jenis FDM pada umumnya menggunakan filamen berbahan PLA. PLA salah satu jenis filamen yang menudahkan, sehingga sering digunakan. Tetapi realitanya, ABA secara ketahanan, lebih baik jika dibandingkan dengan PLA.

Hasil cetak menggunakan material filamen ABS memiliki karakteristik yang solid, kokoh, dan memiliki resistansi yang baik terhadap panas, hanya saja ABS membutuhkan suhu tinggi untuk *nozzle* dan *bed* supaya produk dapat tercetak sempurna. Saat suhu dingin, ABS memiliki sifat menyusut. Retak dan melengkung pada pencetakan 3D terjadi akibat penyusutan. Oleh karena itu dibutuhkan teknik yang benar, agar kendala ini bisa diatasi. Selain itu dibutuhkan mesin Printer 3D yang tertutup (*enclosed*). Hal ini yang menjadikan penelitian di bidang Printer 3D menggunakan material ABS lebih sedikit dibandingkan yang menggunakan filamen PLA, dikarenakan proses pencetakan ABS tidak mudah.

Kekasaran permukaan sebuah produk yang dicetak 3D dijadikan *variabel respon* pada penelitian, dimana respon ini dapat memengaruhi kualitas dalam sistem pemesinan. Tingginya Nilai kekasaran permukaan bisa mengakibatkan pengaruh fungsi dari produk tersebut. Untuk mendapatkan part dengan kualitas yang diinginkan sehingga menghasilkan part yang memiliki kekasaran permukaan yang rendah, pemenuhan pelanggan yang tinggi, dan meningkatkan performa pemesinan, sehingga penelitian diharapkan dapat mengamati variasi dari parameter dengan tepat dan ideal dalam proses printer 3D.

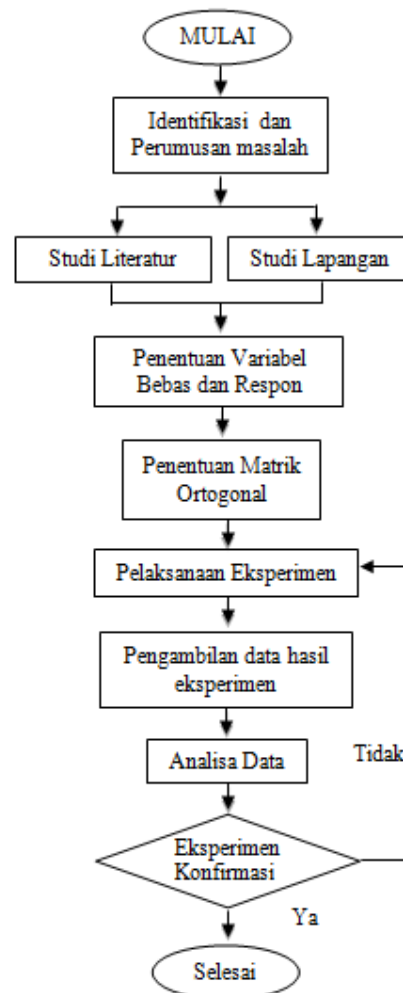
Cara Optimasi paling sering dipakai pada pemilihan parameter proses yang optimal adalah optimasi Taguchi. Teknik optimasi Taguchi mempunyai tujuan untuk menghasilkan proses parameter yang optimal, kualitas benda hasil cetak lebih ditingkatkan dan mengurangi biaya pembuatan produk dimana hasil cetaknya menjadi kuat terhadap faktor noise (Soejanto, 2009). Metode Taguchi hanya dapat digunakan pada proses optimasi respon tunggal.

Penelitian ini dilakukan agar menghasilkan perpaduan nilai proses parameter yang optimum menggunakan mesin FDM Printer 3D seperti tinggi

lapisan, pola infill, dan temperatur *nozzle* menggunakan filamen berbahan ABS. Dengan menggunakan Desain eksperimen yaitu metode Taguchi, kekasaran permukaan adalah respon yang akan dianalisis. Penelitian ini mengidentifikasi parameter yang paling mempunyai pengaruh pada kekasaran permukaan.

2. BAHAN DAN METODA

Metode Penelitian adalah langkah-langkah yang digunakan sebagai acuan untuk melaksanakan penelitian, sehingga dapat memperoleh hasil yang baik dan membatasi kesalahan yang mungkin terjadi untuk mencapai tujuan eksperimen yang telah ditentukan. Langkah-langkah untuk melakukan eksperimen ditampilkan dalam grafik berikut:



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

Spesimen uji dirancang sesuai standar ASTM D638-14 tipe IV menggunakan software Autodesk Fusion 360 kemudian *file* desain diekspor dalam format STL agar *file* dapat dibuka dan

parameter diatur menggunakan software *licer Ultimaker Cura*. Percobaan ini dilakukan dengan menggabungkan level dari setiap parameter proses yang telah ditentukan yaitu tinggi lapisan, pola infill dan temperatur nozzle. Berikut ini adalah level untuk setiap parameter proses yang digunakan, seperti pada Tabel 1. di bawah ini:

Tabel 1. Parameter Eksperimen

No	Parameter	Satuan	Level		
1	Layer Height	mm	0.10	0.15	0.20
2	Pola isi	-	Grid	Line	Cross
3	Nozle Temperature	°C	230.0	240.0	250.0

Pada perhitungan derajat kebebasan diperoleh nilai 6. *Orthogonal array* menurut percobaan ini adalah $L_9(3^4)$. Selanjutnya, perhitungan derajat kebebasan total *matriks orthogonal array* menggunakan persamaan 3 diperoleh derajat kebebasan total 8. Sesuai dengan *matriks orthogonal* standar nilainya lebih besar atau sama dengan perhitungan derajat kebebasan percobaan yang telah dilakukan, maka percobaan tersebut dinyatakan layak. Tabel 2. merupakan desain percobaan menggunakan perangkat lunak Minitab:

Tabel 2. Rencana Pengujian

Percobaan	Parameter		
	Layer Height (mm)	Infill Pattern	Nozzle Temperature (°C)
1	0.10	Grid	230.0
2	0.10	Line	240.0
3	0.10	Cross	250.0
4	0.15	Grid	240.0
5	0.15	Line	250.0
6	0.15	Cross	230.0
7	0.20	Grid	250.0
8	0.20	Line	230.0
9	0.20	Cross	240.0

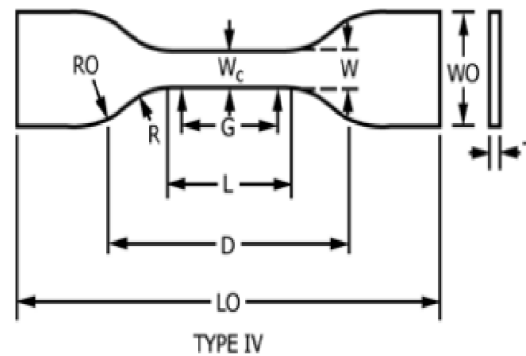
Penelitian dilakukan dengan mencetak benda uji bahan filamen ABS menggunakan printer 3D merk Ender 3 Pro sesuai dengan rancangan percobaan yang telah ditentukan yaitu *matriks orthogonal array* sebanyak sembilan kali dan direplikasi sebanyak tiga kali. Selanjutnya dilakukan pengukuran kekasaran hasil cetakan benda uji dengan alat *surface roughness tester* merk Mitutoyo tipe SJ-310. Mesin printer 3D dan *Surface Roughness Tester* dapat dilihat pada Gambar 1. dan Gambar 2. Sedangkan bentuk spesimen dan dimensi spesimen dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Mesin printer 3D Ender-3 Pro



Gambar 3. Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ-310



Dimensi	Panjang (mm)	Toleransi (mm)
W = Width of narrow section	6	± 0.5
L = Length of narrow section	33	± 0.5
WO = Width overall	19	+ 6.4
LO = Length overall	115	No max
G = Gage length	25	± 0.13
D = Distance between grips	65	± 5
R = Radius of fillet	14	± 1
RO = Outer radius	25	± 1

Sumber: (ASTM D638-14)

Gambar 4. Bentuk Spesimen dan Dimensi Spesimen

Data penelitian hasil mengukur dan menguji diolah menggunakan metode Taguchi menggunakan urutan proses sebagai berikut:

a. Perhitungan Nilai Rasio S/N

Karakteristik dari kekasaran permukaan adalah *Smaller is Better* dimana nilainya didapatkan dari persamaan berikut (Soejanto, 2008):

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \quad (1)$$

Dimana:

n = Banyaknya data

y_i = Data repon pengamatan ke – i

b. *Analysis of Variance* (ANOVA)

Analisa ANOVA digunakan untuk menguji parameter yang direncanakan yang secara bersama-sama signifikan mempengaruhi variable respon suatu pengujian (Soejanto, 2009). ANOVA bertujuan untuk menguji informasi data eksperimen yang sudah dihasilkan ke dalam perhitungan derajat kebebasan (df), jumlah kuadrat (SS), kuadrat tengah (MS) dan F_{hitung}.

Pengujian hipotesis menggunakan Nilai F, dari perbandingan nilai F untuk setiap parameter dengan F_{tabel}. Jika F_{hitung} > F_{tabel}, maka H₀ ditolak, dan jika F_{hitung} < F_{tabel}, maka H₀ diterima.

- Pengujian F_{hitung} untuk *layer height parameter*
H₀ : tidak berdampak pada *layer height* ke *variabel respon*
H₁ : berdampak pada *layer height* ke *variabel respon*
- Pengujian F_{hitung} untuk *infill pattern parameter*
H₀ : tidak berdampak pada *infill pattern* ke *variabel respon*
H₁ : berdampak pada *infill pattern* ke *variabel respon*
- Pengujian F_{hitung} untuk *nozzle temperature parameter*
H₀ : tidak berdampak pada *nozzle temperature* ke *variabel respon*
H₁ : berdampak pada *nozzle temperature* ke *variabel respon*

c. Perhitungan prediksi rata-rata S/N Rasio yang Optimal

Perhitungan prediksi rata-rata S/N Rasio yang Optimal dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\mu_{prediksi} = y_m + \sum_{i=1}^n (y_i - y_m) \quad (2)$$

Dengan:

y_m = Nilai rata-rata dari keseluruhan S/N Rasio

y_i = Rata-rata S/N Rasio kondisi level optimal

d. Perhitungan Interval Kepercayaan

Perhitungan interval kepercayaan digunakan untuk kondisi perlakuan pada saat percobaan. Interval kepercayaan untuk kondisi optimal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut: Untuk eksperimen prediksi:

$$CI_p = \sqrt{\frac{F_{\alpha; d_{f1}; d_{f2}} \times MS_E}{n_{eff}}} \quad (3)$$

Dengan:

F_{α; d_{f1}; d_{f2}} = Nilai F-ratio dari tabel

α = Resiko; Level kepercayaan = 1 – resiko

d_{f1} = Derajat kebebasan faktor

d_{f2} = Derajat kebebasan *error*

MS_E = Rata-rata kuadrat *error*

n_{eff} = Banyaknya pengamatan efektif.

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total percobaan}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan}} \quad (4)$$

$$\mu_{prediction} - CI_p \leq \mu_{prediction} \leq \mu_{prediction} + CI_p$$

Untuk eksperimen konfirmasi:

$$CI_k = \sqrt{F_{\alpha; d_{f1}; d_{f2}} \times MS_E \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (5)$$

$$\mu_k - CI_k \leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_k + CI_k$$

e. Eksperimen Konfirmasi

Setelah dilakukan perhitungan, variasi optimal dari parameter akan diperoleh. Selanjutnya variasi optimal dari parameter digunakan untuk uji konfirmasi dengan mencetak contoh produk yang diuji dan kemudian melakukan pengukuran pada kekasarannya. Selain itu, kekasaran hasil konfirmasi diperiksa sebagai hasil pengujian yang tepat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan pada penelitian ini dilakukan dengan mengkombinasikan parameter proses yang telah ditentukan yaitu *layer height*, *infill pattern* dan *nozzle temperature* yang dianggap memberikan pengaruh terhadap respon kekasaran permukaan. Parameter proses selain *layer height*, *infill pattern* dan *nozzle temperature* dibuat konstan.

3.1 Hasil Penelitian

Benda uji yang telah dilakukan pencetakan menggunakan mesin printer 3D kemudian dilakukan pengukuran kekasaran permukaannya di sisi kanan dan kiri benda uji di daerah *gage length*. Data hasil pengujian kekasaran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Eksperimen

Percobaan	Replikasi	Kekasaran Permukaan Ra (µm)		
		Mean S ₁	Mean S ₂	Mean
1	1	6,996	7,064	7,030
	2	7,087	7,200	7,144
	3	7,387	7,239	7,313
2	1	7,108	7,221	7,164
	2	6,513	6,947	6,730
	3	7,015	6,885	6,950
3	1	7,668	7,311	7,489
	2	7,655	7,670	7,663

	3	7,348	7,051	7,200
4	1	10,665	10,928	10,797
	2	10,959	10,974	10,967
	3	10,837	10,915	10,876
5	1	10,899	10,835	10,867
	2	10,483	10,967	10,725
	3	11,111	10,602	10,857
6	1	11,040	10,930	10,985
	2	10,844	10,931	10,887
	3	11,013	10,645	10,829
7	1	15,151	15,056	15,104
	2	14,872	14,456	14,664
	3	15,544	15,199	15,371
8	1	15,377	15,429	15,403
	2	15,186	15,016	15,101
	3	15,564	15,045	15,305
9	1	14,370	15,533	14,951
	2	15,041	14,505	14,773
	3	14,676	14,488	14,582

3.2 Pembahasan

Tahap perhitungan yang pertama yaitu menghitung rasio S/N menggunakan karakteristik *smaller is better*. Hasil Perhitungan Rasio S/N yang dapat dilihat pada Tabel 4. berikut:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Rasio S/N

Percobaan	Layer Height	Infill Pattern	Nozzle Temperature	Rasio S/N
	(mm)	-	(°C)	
1	0,1	Grid	230	-17,102
2	0,1	Line	240	-16,840
3	0,1	Cross	250	-17,447
4	0,15	Grid	240	-20,733
5	0,15	Line	250	-20,682
6	0,15	Cross	230	-20,749
7	0,2	Grid	250	-23,550
8	0,2	Line	230	-23,677
9	0,2	Cross	240	-23,387

Tahap selanjutnya yaitu perhitungan ANOVA. Hasil perhitungan ANOVA untuk rasio S/N dari kekasaran permukaan dapat dilihat pada Tabel 5. Dengan melakukan perhitungan secara manual dengan bantuan aplikasi Microsoft Excel dan validasinya digunakan aplikasi Minitab 19. Interval kepercayaan yang digunakan adalah = 0,05.

Tabel 5. ANOVA Rasio S/N

Source	DF	SS	Contribution %	MS	F _{hitung}
Layer Height	2	61,9034	99,6306	30,9517	566,3347
Infill Pattern	2	0,0246	0,0396	0,0123	0,2251
Nozzle Temperature	2	0,0956	0,1538	0,0478	0,8745
Error	2	0,1093	0,1759	0,0547	
Total	8	62,1329			

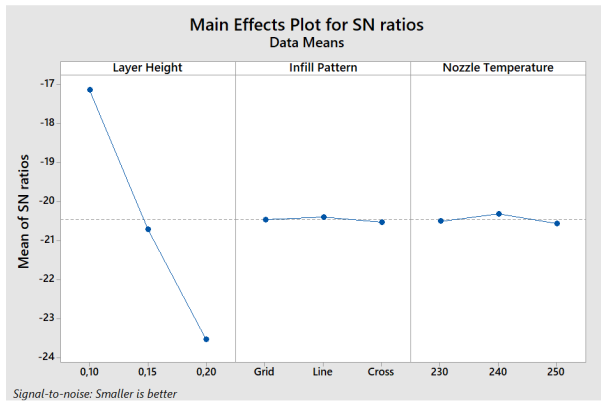
Berdasarkan Tabel 5. dapat dilihat bahwa parameter *layer height* berpengaruh signifikan, sedangkan *infill pattern parameter* dan *nozzle temperature parameter* tidak signifikan berpengaruh terhadap respon kekasaran permukaan. F_{tabel} untuk rasio S/N masing-masing parameter adalah $F_{(0,05;2;2)} = 19,00$. Parameter *layer height* memberikan persentase kontribusi sebesar 99,63%, *infill pattern* sebesar 0,04% dan *nozzle temperature* 0,154%.

Perhitungan optimal parameter digunakan untuk menentukan level parameter proses yang paling optimal terhadap respon kekasaran permukaan. Semakin tinggi rata-rata nilai tiap level maka semakin besar kontribusinya terhadap *variabel respon* kekasaran permukaan. Berikut adalah hasil perhitungan parameter optimal untuk rasio S/N kekasaran permukaan.

Tabel 6. Parameter Optimal Rasio S/N Kekasaran Permukaan

Level	Layer Height	Infill Pattern	Nozzle Temperature
1	-17,130	-20,462	-20,509
2	-20,721	-20,400	-20,320
3	-23,538	-20,528	-20,560
Delta	6,409	0,128	0,239
Rank	1	3	2

Tabel 6 menunjukkan bahwa parameter yang optimal untuk rasio S/N terhadap respon kekasaran permukaan adalah *layer height* pada level 1 yang bernilai 0,10 mm, *infill pattern* pada level 2 yang berpola *Line* dan *nozzle temperature* pada level 2 yang bernilai 240 °C. Grafik level faktor untuk rasio S/N kekasaran permukaan yang dihasilkan dari perangkat lunak minitab 19 terlihat pada Gambar 5. berikut:



Gambar 5. Grafik Level Optimal Respon Kekasaran Permukaan

Proses setelah membuat grafik adalah membuat perhitungan *confidence interval* eksperimen prediksi.

$$\begin{aligned} \mu_{prediction} &= y_m + (\bar{A}_1 - y_m) + (\bar{B}_2 - y_m) + (\bar{C}_2 - y_m) \\ \mu_{prediction} &= -20,4629 + ((-17,130) - (-20,4629)) \\ &\quad + ((-20,400) - (-20,4629)) \\ &\quad + ((-20,320) - (-20,4629)) \\ \mu_{prediction} &= -16,9234 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan dari *mean S/N ratio* prediksi menggunakan CI sebesar 95% dapat dihitung berikut ini:

$$\begin{aligned} n_{eff} &= \frac{9 \times 3}{1 + (2 + 2 + 2)} = \left(\frac{27}{7}\right) \\ CI_p &= \sqrt{\frac{F_{0,05,1,2} \times 0,0547}{\left(\frac{27}{7}\right)}} \\ CI_p &= \sqrt{\frac{18,513 \times 0,0547}{\left(\frac{27}{7}\right)}} = 0,5122 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \mu_{prediction} - CI_p &\leq \mu_{prediction} \leq \mu_{prediction} + CI_p \\ -16,9234 - 0,5122 &\leq \mu_{prediction} \\ &\leq -16,9234 + 0,5122 \\ -17,4356 &\leq \mu_{prediction} \leq -16,4113 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *confidence interval* eksperimen prediksi akan dibandingkan dengan hasil perhitungan *confidence interval* dari eksperimen konfirmasi.

Tabel 7. Berikut menunjukkan semua data kekasaran permukaan yang diperoleh selama eksperimen konfirmasi. Data yang ditampilkan berupa kekasaran permukaan rata-rata.

Tabel 7. Data Hasil Eksperimen Konfirmasi

Replikasi	Layer Height	Infill Pattern	Nozzle Temperature	Kekasaran Permukaan Rata-rata (µm)	Rasio S/N
	(mm)	Pattern	(°C)		
1	0,1	Line	240	7,206	-17,154
2	0,1	Line	240	7,180	-17,122
3	0,1	Line	240	7,408	-17,394
Rata-rata					-17,223

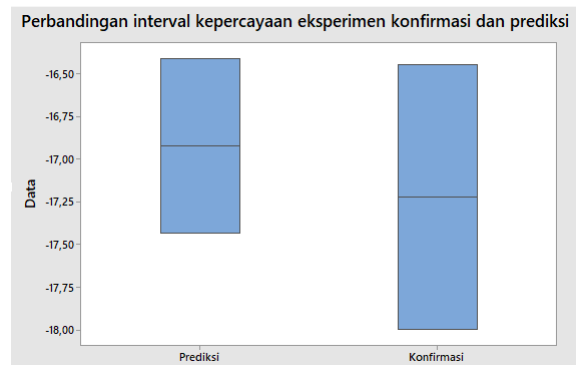
Berikut ini adalah hasil perhitungan interval kepercayaan untuk nilai rata-rata rasio S/N pada tingkat keyakinan 95% pada eksperimen konfirmasi.

$$\begin{aligned} n_{eff} &= \frac{9 \times 3}{1 + (2 + 2 + 2)} = \left(\frac{27}{7}\right) \\ CI_k &= \sqrt{F_{0,05,1,2} \times 0,0547 \times \left[\frac{1}{\frac{27}{7}} + \frac{1}{3}\right]} \\ CI_k &= \sqrt{18,513 \times 0,0547 \times \left[\frac{1}{\frac{27}{7}} + \frac{1}{3}\right]} = 0,774 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} -17,223 - 0,774 &\leq \mu_{prediction} \leq -17,223 + 0,774 \\ -17,998 &\leq \mu_{prediction} \leq -16,449 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan interval kepercayaan pada tingkat kepercayaan 95% untuk prediksi kemudian dibandingkan dengan interval kepercayaan pada tingkat kepercayaan 95% untuk eksperimen konfirmasi. Interval kepercayaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6. berikut ini:



Gambar 6. Grafik perbandingan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi dan prediksi

Grafik pada gambar 6 menunjukkan ada bagian dari *confidence interval* rata-rata untuk eksperimen konfirmasi yang beririsan dengan

interval kepercayaan rata-rata prediksi, sehingga bisa disimpulkan bahwa uji optimasi sudah berhasil. Oleh karena itu kombinasi *setting* parameter proses untuk prediksi juga merupakan *setting* parameter proses yang menghasilkan respon yang optimum.

4. KESIMPULAN

Metode Taguchi dapat digunakan untuk mencari kombinasi parameter proses yang optimal untuk satu *variabel respon*. Optimasi bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dari pemesinan yang lebih baik.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa parameter proses 3D printing yang mempengaruhi *variabel respon* kekasaran permukaan produk material filamen ABS adalah *Layer Height* dengan hasil hipotesis nilai F lebih besar dari F_{tabel} , sedangkan *Infill Pattern parameter* dan *Nozzle Temperature parameter* tidak berpengaruh signifikan terhadap *variabel respon* kekasaran permukaan dengan hasil hipotesis nilai F lebih kecil dari F_{tabel} . Kombinasi parameter proses yang optimal untuk menghasilkan produk dengan kekasaran permukaan terendah adalah *Layer Height* pada level 1 yang bernilai 0,10 mm, *Infill Pattern* pada level 2 yang berpola *Line*, *Nozzle Temperature* pada level 2 yang bernilai 240 °C. Parameter *layer height* memberikan persentase kontribusi sebesar 99,63%, *infill pattern* sebesar 0,04% dan *nozzle temperature* 0,154%.

DAFTAR PUSTAKA

- A. A. Setiawan, B. W. Karuniawan, dan N. Arumsari, Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis, Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application Program ke-2, hal. 1–5, Surabaya, 2018. (<http://journal.ppns.ac.id/index.php/CDMA/article/view/590>)
- A. Rinanto dan W. Sutopo. 2017. Perkembangan Teknologi Rapid Prototyping: Study Literatur. Jurnal Metris. Vol. 18, pp. 105 - 112. (<http://ojs.atmajaya.ac.id/index.php/metris/article/view/787>)
- B. W. Karuniawan, F. Rachman, dan A. A. Setiawan. 2019. Optimasi Parameter Mesin Fused Deposition Modelling (FDM) terhadap Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi. *Journal Techno Bahari*. Vol. 6, No. 2, pp. 23–29. (<https://jurnal.poltera.ac.id/index.php/technobahari/article/view/63/18>)
- Creativity Ender 3 Pro, S. (no date). Spesifikasi Mesin 3D Printer Ender 3 Pro. <https://www.creativity3dofficial.com/products/creality-ender-3-pro-3d-printer>. (diakses 30 Juni 2018)
- D. Andriyansyah, Herianto, dan Purfaji, Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Filamen PLA Menggunakan Metode Taguchi. *prosiding Seminar Nasional Pendidik. Tek. Otomotif*, no. ISSN : 2338-0284, hal. 61–68, Purworejo, 2018. (<http://e-proceedings.umpwr.ac.id/index.php/se-mnaspto/article/view/248>)
- D. Nicholson. 2014. 3D Printing-Approaching Critical Mass In An \$8 Billion Industry <https://www.forbes.com/sites/davidnicholson/2014/05/30/3d-printing-approaching-critical-mass-in-an-8-billion-industry/?sh=7182ecb61075> (diakses 30 Juni 2018)
- E. I. Riza, C. Budiyanoro, dan A. W. Nugroho. 2020. Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Material PETG Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi. *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*. Vol. 21, No.2, pp. 66–75. (doi: [10.23917/mesin.v21i2.10856](https://doi.org/10.23917/mesin.v21i2.10856))
- I. Soejanto, 2009, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Graha Ilmu, Yogyakarta. (<https://scholar.google.co.id/citations?user=i4bgzAIAAAAJ&hl=id>)
- I. Soejanto, 2008, *Rekayasa Kualitas: Eksperimen dengan Teknik Taguchi*, Kedua, Yayasan Humaniora, Yogyakarta. (<https://scholar.google.co.id/citations?user=i4bgzAIAAAAJ&hl=id>)
- N. M. A. Awwaliyah, B. W. Karuniawan, dan D. A. Purnomo. 2020. Analisa Pengaruh Parameter 3D Printing Dengan Taguchi - Grey Relational Analysis Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Building Time Produk. Tugas Akhir. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. (<http://repository.ppns.ac.id/2907/>)
- P. A. Sylajakumari, R. Ramakrishnasamy, dan G. Palaniappan. 2018. Taguchi grey relational analysis for multi-response optimization of wear in co-continuous composite. *Materials (Basel)*. Vol. 11, No. 9, pp. 1–17 (DOI: <https://doi.org/10.3390/ma11091743>)
- S. A. Widyanto. 2008. Pengembangan Teknologi Rapid Prototyping Untuk Pembuatan Produk-Produk Multi Material. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Diponegoro*. Vol. 2, No. 2., pp. 10–11. (<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/jgti/article/view/1513>)
- S. Lubis, S. Djamil, dan Y. Yolanda. 2016. Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer PLA Dan ABS Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Tarumanagara*. Vol. 20, No. 1. pp. 27-34 (<https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/sinergi/article/view/259>)

- T. Nancharaiah. 2011. Optimization of Process Parameters in FDM Process Using Design of Experiments. *International Journal on Emerging Technologies*, Vol 2, No. 1, pp. 100–102. (https://www.researchgate.net/publication/266228304_Optimization_of_Process_Parameters_in_FDM_Process_Using_Design_of_Experiments)
- V. H. Nguyen, T. N. Huynh, T. P. Nguyen, dan T. T. Tran. 2020. Single and multi-objective optimisation of processing parameters for fused deposition modelling in 3D printing technology. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. Vol 17, No. 1. pp. 7542–7551. (<https://journal.ump.edu.my/ijame/article/view/2086>)