

Optimasi Parameter pada Mesin 3D *Printer* terhadap Kekuatan Tarik dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi – *Grey Relational Analysis*

Mega Tri Yoningtias^{1*}, Farizi Rachman², Bayu Wiro Karuniawan³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia ^{1*,2,3}
E-mail: megatri@student.ppps.ac.id^{1*}

Abstract - The world of the manufacturing industry continues to develop and one of the technologies that support the manufacturing industry in the era of the industrial revolution 4.0 is 3D printing technology. It is very important to know the mechanical properties of 3D printing materials, one of which is tensile strength. Low tensile strength causes the product to experience mechanical failure such as yielding and fracture. High surface roughness causes the wear of components and affects their functional factors. To get a product of good quality so that the resulting product has high tensile strength and low surface roughness, research is needed to find the right and optimal combination of process parameters in the 3D printing process. Tensile strength and surface roughness will be observed. The material used is ABS filament. Layer height, infill pattern, and nozzle temperature are varied. Design of Experiment using the Taguchi method in the form of an orthogonal matrix $L_9(3^4)$ with three replications and using Grey Relational Analysis. From the results of the study, it was found that the most optimal combination of independent variables for the response variables of tensile strength and surface roughness simultaneously was layer height at level 1 with a value of 0.1 mm, infill pattern at level 2 with line pattern and nozzle temperature at level 1 with a value of 230°C. The layer height parameter gives a contribution percentage of 49.55%, infill pattern 46.92%, and nozzle temperature 1.67%.

Keyword: 3D Printing, Tensile Strength, Surface Roughness, Taguchi-Grey Relational Analysis.

Nomenclature

LH	Layer Height
IP	Infill Pattern
NT	Nozzle Temperature
mm	satuan dari Layer Height
°C	satuan dari Nozzle Temperature
N/mm²	nilai kekuatan tarik
µm	nilai kekasaran permukaan (Ra)

1. PENDAHULUAN

3D *printing* merupakan salah satu jenis dari *additive manufacturing*, dimana suatu filamen diproses secara lapis demi lapis yang dikendalikan oleh komputer dan menghasilkan bentuk produk tiga dimensi [1]. 3D *printing* banyak membawa manfaat bagi teknik desain, pengembangan produk dan proses produksi [2]. Salah satu teknik *rapid prototyping* yang sering dijumpai di pasaran saat ini adalah jenis teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) [3]. *Fused Deposition Modelling* (FDM) merupakan metode dalam *additive manufacturing* yang dapat mempercepat proses dalam pemodelan desain ke manufaktur, dapat membuat objek dengan geometri yang rumit dan material sisa yang dihasilkan lebih sedikit [4].

Sifat mekanik pada material 3D *printing* sangat penting untuk diketahui, salah satunya adalah nilai dari kekuatan tarik (*tensile strength*). Kekuatan tarik yang rendah dapat menyebabkan

produk mengalami kegagalan mekanik seperti mulur dan patah, maka perlu dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui berapa kekuatan tarik yang mampu ditahan oleh material atau produk hasil 3D *printing*. Kekasaran permukaan suatu produk merupakan variabel penting yang dapat mempengaruhi kualitas dalam proses permesinan. Nilai kekasaran permukaan yang tinggi dapat menyebabkan keausan komponen dan mempengaruhi faktor fungsionalnya. Untuk mendapatkan produk dengan kualitas baik sehingga produk yang dihasilkan memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan kekasaran permukaan yang rendah, kepuasan konsumen yang tinggi, serta meningkatkan kinerja permesinan, maka diperlukan penelitian untuk mencari kombinasi parameter proses yang tepat dan optimal pada proses 3D *printing*.

Metode yang sering digunakan untuk optimasi parameter proses adalah metode Taguchi. Metode Taguchi bertujuan untuk mengoptimalkan parameter proses, meningkatkan kualitas produk dan menekan biaya produksi sehingga dihasilkan produk yang *robust* terhadap faktor *noise* [5]. Metode Taguchi hanya digunakan untuk optimasi dengan satu respon. Metode Taguchi digabung dengan *grey relational analysis* agar optimasi pada beberapa respon dapat dilakukan secara bersamaan.

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan

kombinasi parameter proses yang optimal pada mesin 3D printer FDM, seperti *layer height*, *infill pattern*, dan *nozzle temperature* menggunakan material filamen ABS terhadap kekuatan tarik dan kekasaran permukaan yang akan dianalisa menggunakan *Design of Experiment* (DoE) yaitu metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis*. Parameter yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekasaran permukaan akan teridentifikasi.

2. METODOLOGI

2.1 Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini, nilai dari setiap level dan tipe *infill* ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1: Variabel Bebas

Variabel Bebas	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
Layer Height	mm	0,1	0,15	0,2
Infill Pattern	-	Grid	Line	Cross
Nozzle Temperature	°C	230	240	250

Derajat kebebasan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_{ft} = (\text{banyak level} - 1) \quad (1)$$

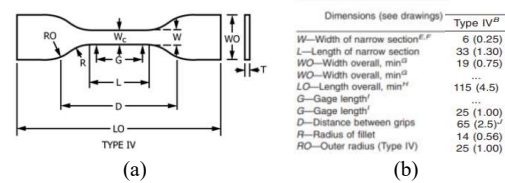
Variabel bebas yang digunakan ada tiga, dengan jumlah tingkat level ada tiga, maka perhitungan derajat kebebasan adalah $3 \times (3-1) = 6$. *Orthogonal array* yang sesuai dengan hasil perhitungan derajat kebebasan yaitu $L_9(3^4)$. Tabel 2 menunjukkan rancangan percobaan menggunakan *Software* Minitab19.

Tabel 2: Rancangan Percobaan

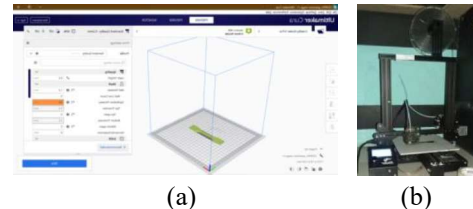
Eksperimen ke-	Variabel Bebas		
	Layer Height (mm)	Infill Pattern	Nozzle Temperature (°C)
1	0,1	Grid	230
2	0,1	Line	240
3	0,1	Cross	250
4	0,15	Grid	240
5	0,15	Line	250
6	0,15	Cross	230
7	0,2	Grid	250
8	0,2	Line	230
9	0,2	Cross	240

2.2 Pelaksanaan Percobaan

Spesimen didesain menggunakan *software* Autodesk Fusion 360 sesuai standar ASTM D638-14 tipe IV, kemudian disetting parameter prosesnya menggunakan *software* Ultimaker CURA. Selanjutnya spesimen dicetak menggunakan mesin 3D printer Ender 3 Pro sesuai rancangan percobaan sejumlah sembilan dengan replikasi sebanyak tiga kali.



Gambar 1. (a) Bentuk Spesimen dan (b) Dimensi Spesimen



Gambar 2. (a) Software CURA dan (b) Mesin 3D Printer

Setelah selesai dicetak, spesimen diukur kekasarannya menggunakan *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-310, kemudian diuji tarik menggunakan mesin uji tarik Hung Ta tipe HT-2402.

2.3 Pengolahan Data

Data hasil pengukuran dan pengujian dianalisa menggunakan metode Taguchi-*Grey Relational Analysis* dengan tahapan sebagai berikut:

a. Perhitungan Nilai Rasio S/N

Kekuatan tarik memiliki karakteristik *Larger is Better* dan kekasaran permukaan memiliki karakteristik *Smaller is Better* yang nilainya didapatkan dari persamaan berikut [6]:

- *Larger is Better*

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

- *Smaller is Better*

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

Keterangan:

n = Banyaknya data

y_i = Data respons pengamatan ke-i

b. Perhitungan Normalisasi Nilai Rasio S/N

Normalisasi dilakukan untuk mempermudah perhitungan selanjutnya karena setelah di normalisasi, nilainya akan berubah menjadi rentang 0 hingga 1. Rumus normalisasi rasio S/N adalah sebagai berikut [7]:

$$X_i^* = \frac{Xo^*(k) - \text{Min } Xo^*(k)}{\text{Max } Xo^*(k) - \text{Min } Xo^*(k)} \quad (3)$$

Keterangan:

Max $Xo^*(k)$ = Nilai maksimum rasio S/N

Min $Xo^*(k)$ = Nilai minimum rasio S/N

$Xo^*(k)$ = Nilai dari rasio S/N disetiap eksperimen

k = Eksperimen yang dilakukan

c. Perhitungan Simpangan Deviasi

Rumus simpangan deviasi adalah sebagai berikut:

$$\Delta_{oi}(k) = |X_0^*(k) - X_i^*(k)| \quad (4)$$

Keterangan:

$X_0^*(k)$ = Nilai rasio S/N normalisasi terbesar

$X_i^*(k)$ = Nilai rasio S/N normalisasi pada eksperimen ke- i

d. Perhitungan *Grey Relational Coefficient* (GRC)

Rumus GRC adalah sebagai berikut:

$$\zeta_i^*(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (5)$$

Keterangan:

ζ = Koefisien pembeda (0.5)

Δ_{\min} = Nilai terendah dari rangkaian deviasi

Δ_{\max} = Nilai tertinggi dari rangkaian deviasi

$\Delta_{oi}(k)$ = Nilai deviasi

e. *Grey Relational Grade* (GRG)

Rumus GRG adalah sebagai berikut:

$$\gamma_i(k) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i^*(k) \quad (6)$$

Keterangan:

ζ_i^* = Nilai GRC

n = Jumlah respon yang diteliti

f. *Analysis of Variance* (ANOVA)

Perhitungan ANOVA bertujuan untuk menginvestigasi parameter desain mana yang secara signifikan mempengaruhi variabel respon suatu pengujian [5]. ANOVA digunakan untuk menganalisa data eksperimen yang terjadi dari perhitungan derajat kebebasan (df), jumlah kuadrat (SS), kuadrat tengah (MS) dan F_{hitung} .

Nilai F digunakan untuk pengujian hipotesis dengan membandingkan nilai F untuk setiap faktor dengan F_{tabel} . Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak, dan jika $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima.

- Uji F_{hitung} pada parameter *layer height*
 - H_0 : tidak ada pengaruh *layer height* terhadap variabel respon
 - H_1 : ada pengaruh *layer height* terhadap variabel respon
- Uji F_{hitung} pada parameter *infill pattern*
 - H_0 : tidak ada pengaruh *infill pattern* terhadap variabel respon
 - H_1 : ada pengaruh *infill pattern* terhadap variabel respon
- Uji F_{hitung} pada parameter *nozzle temperature*
 - H_0 : tidak ada pengaruh *nozzle temperature* terhadap variabel respon
 - H_1 : ada pengaruh *nozzle temperature* terhadap variabel respon

g. Perhitungan Parameter Optimal

Parameter dikatakan optimal apabila memiliki nilai rata-rata rasio S/N terbesar dari ketiga level.

h. Perhitungan Prediksi GRG yang Optimal

Rumus prediksi GRG adalah sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} = \gamma_m + \sum_{i=1}^q \gamma_i - \gamma_m \quad (7)$$

Keterangan:

γ_m = Nilai rata-rata dari keseluruhan GRG

γ_i = Rata-rata GRG kondisi level optimasi

q = banyaknya variabel yang berpengaruh signifikan

i. Interval Kepercayaan

1. Untuk eksperimen prediksi

$$CI_p = \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha;df_1;df_2} MS_E}{n_{eff}}} \quad (8)$$

Keterangan :

$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan}}$

MS_E = rata-rata kuadrat *error*

$\mu_p - CI_p \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_p + CI_p$

2. Untuk eksperimen konfirmasi

$$CI_k = \pm \sqrt{F_{\alpha;df_1;df_2} MS_E \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (9)$$

Keterangan :

r = Jumlah eksperimen konfirmasi

df_1 = Jumlah derajat kebebasan faktor

df_2 = Jumlah derajat kebebasan *error*

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

j. Eksperimen Konfirmasi

Setelah melakukan perhitungan, didapatkan kombinasi parameter yang optimal. Parameter optimal digunakan untuk eksperimen konfirmasi dengan mencetak spesimen kemudian dilakukan pengukuran kekasaran serta pengujian tarik. Selanjutnya data hasil pengukuran dan pengujian dianalisa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Percobaan

Spesimen yang telah dicetak menggunakan mesin 3D *print* kemudian diukur kekasarannya pada sisi samping kanan dan sisi kiri spesimen pada area *gage length*, selanjutnya dilakukan pengujian tarik. Data hasil pengujian kekasaran dan pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Data Hasil Eksperimen

Kombinasi	Replikasi	Kekasaran	Kekuatan
		Permukaan Ra (µm)	Tarik (mm/N ²)
1	1	7,030	16,11
	2	7,144	16,36
	3	7,313	16,53
2	1	7,164	16,55
	2	6,730	16,98
	3	6,950	16,49
3	1	7,489	13,29
	2	7,663	13,53
	3	7,200	13,30
4	1	10,797	17,25
	2	10,967	17,30
	3	10,876	17,50

5	1	10,867	17,60
	2	10,725	17,91
	3	10,857	17,53
6	1	10,985	15,25
	2	10,887	15,97
	3	10,829	15,59
7	1	15,104	19,00
	2	14,664	19,32
	3	15,371	19,04
8	1	15,403	19,53
	2	15,101	20,01
	3	15,305	19,62
9	1	14,951	16,97
	2	14,773	17,12
	3	14,582	17,02

3.2 Pengolahan dan Analisis Data Hasil Percobaan

Data yang telah didapatkan dari hasil pengujian tarik dan pengukuran kekasaran permukaan dianalisa menggunakan metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis* untuk mengetahui kontribusi dari variabel bebas terhadap variabel respon secara bersamaan.

Tahap perhitungan yang pertama yaitu menghitung rasio S/N menggunakan karakteristik *smaller is better* pada persamaan 1 untuk kekuatan tarik dan *larger is better* untuk kekasaran permukaan pada persamaan 2.

Tabel 4: Hasil Perhitungan Rasio S/N

Kombinasi	Kekasaran Permukaan	Kekuatan Tarik
1	-17,102	24,260
2	-16,840	24,438
3	-17,447	22,524
4	-20,733	24,785
5	-20,682	24,949
6	-20,749	23,860
7	-23,550	25,629
8	-23,677	25,897
9	-23,387	24,628

Tahap selanjutnya yaitu perhitungan normalisasi rasio S/N menggunakan persamaan 3. Hasil perhitungan normalisasi rasio S/N dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5: Hasil Normalisasi Rasio S/N

Kombinasi	Normalisasi rasio S/N	
	Kekasaran Permukaan	Kekuatan Tarik
1	0,962	0,515
2	1,000	0,568
3	0,911	0,000
4	0,431	0,671
5	0,438	0,719
6	0,428	0,396
7	0,019	0,921
8	0,000	1,000
9	0,042	0,624

Selanjutnya Perhitungan Simpangan Deviasi menggunakan persamaan 4. Hasil perhitungan simpangan deviasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Hasil Perhitungan Simpangan Deviasi

Kombinasi	Simpangan Deviasi
-----------	-------------------

	Kekasaran Permukaan	Kekuatan Tarik
1	0,038	0,485
2	0,000	0,432
3	0,089	1,000
4	0,569	0,329
5	0,562	0,281
6	0,572	0,604
7	0,981	0,079
8	1,000	0,000
9	0,958	0,376

Kemudian melakukan perhitungan *grey relational coefficient* menggunakan persamaan 5. Hasil perhitungan GRC dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7: Hasil Perhitungan *Grey Relational Coefficient*

Kombinasi	<i>Grey Relational Coefficient</i>	
	Kekasaran Permukaan	Kekuatan Tarik
1	0,929	0,507
2	1,000	0,536
3	0,849	0,333
4	0,468	0,603
5	0,471	0,640
6	0,467	0,453
7	0,337	0,863
8	0,333	1,000
9	0,343	0,571

Setelah mendapatkan nilai GRC, kemudian melakukan perhitungan *grey relational grade* menggunakan persamaan 6, selanjutnya dilakukan perhitungan rasio S/N GRG menggunakan karakteristik *larger is better*. Hasil perhitungan GRG dan rasio S/N GRG dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8: Hasil Perhitungan GRG dan Rasio S/N GRG

Kombinasi	GRG	Rasio S/N GRG	Rank
1	0,718	-2,875	2
2	0,768	-2,291	1
3	0,591	-4,563	5
4	0,535	-5,430	7
5	0,555	-5,107	6
6	0,460	-6,750	8
7	0,600	-4,433	4
8	0,667	-3,522	3
9	0,457	-6,806	9

Pada Tabel 8 dapat diketahui bahwa kombinasi ke 2 memberikan kontribusi optimal terhadap respon yang diharapkan.

Perhitungan *Analysis of Variance* dilakukan secara manual menggunakan *Microsoft Excel* dan divalidasi menggunakan *software Minitab19*. Berikut adalah hasil perhitungan ANOVA kekasaran permukaan, kekuatan tarik dan S/N GRG.

Tabel 9: Hasil Perhitungan ANOVA Kekasaran Permukaan

Sour	D	SS	contri	MS	F _{hitung}
ce	F		on		

LH	2	61,90 34	99,6306 %	30,95 17	566,33 47
IP	2	0,024 6	0,0396 %	0,012 3	0,2251
NT	2	0,095 6	0,1538 %	0,047 8	0,8745
Error	2	0,109 3	0,1759 %	0,054 7	
Total	8	62,13 29			

Tabel 10: Hasil Perhitungan ANOVA Kekuatan Tarik

Source	D	SS	contribution	MS	F _{hitung}
LH	2	4,054 5	51,4779 %	2,027 3	39,454 9
IP	2	3,560 4	45,2047 %	1,780 2	34,646 8
NT	2	0,158 5	2,0126 %	0,079 3	1,5426
Error	2	0,102 8	1,3047 %	0,051 4	
Total	8	7,876 3			

Tabel 11: Hasil Perhitungan ANOVA S/N GRG

Source	D	SS	contribution	MS	F _{hitung}
LH	2	9,8658	49,5452 %	4,93 3	26,55 4
IP	2	9,3423	46,9160 %	4,67 1	25,14 4
NT	2	0,3331	1,6729 %	0,16 7	0,897
Error	2	0,3715	1,8659 %	0,18 6	
Total	8	19,912 8			

Berdasarkan hasil dari perhitungan ANOVA, dapat diketahui persen kontribusi pada masing – masing parameter terhadap variabel respon. Pada penelitian ini menggunakan F_{tabel} dengan tingkat kepercayaan 95% dan $\alpha = 0,05$; df_1 = jumlah derajat kebebasan faktor, df_2 = jumlah kebebasan error. Keputusan dibuat yaitu apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak. Sedangkan apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima. Hasil uji hipotesis masing – masing variabel bebas pada setiap respon dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12: Hasil Uji Hipotesis

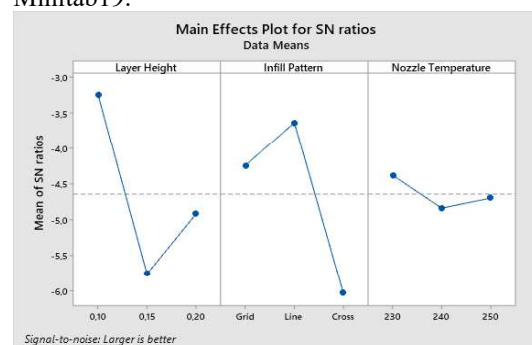
Respon	F _{hitung}			F _{tabel}	Hipotesis
	LH	IP	NT		
Kekasaran Permukaan	566,33 47	0,225 1	0,87 45	19, 00	LH tolak H_0
Kekuatan Tarik	39,454 9	34,64 68	1,54 26	19, 00	LH dan IP tolak H_0
Rasio S/N GRG	26,554	25,14 4	0,89 7	19, 00	LH dan IP tolak H_0

Perhitungan parameter optimal dilakukan untuk mengetahui level yang paling optimal pada parameter terhadap respon dari suatu eksperimen. Hasil perhitungan parameter optimal GRG dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13: Parameter Optimal GRG

Level	Layer Height	Infill Pattern	Nozzle Temperature
1	-3,243	-4,246	-4,382
2	-5,762	-3,640	-4,842
3	-4,920	-6,040	-4,701
Delta	2,519	2,400	0,460
Rangk	1	2	3

Pada Tabel 13 diketahui bahwa parameter optimal terhadap respon gabungan yaitu faktor A (layer height) terdapat pada level 1 dengan nilai 0,1 mm, faktor B (infill pattern) dengan pola line, faktor C (nozzle temperature) pada level 1 dengan nilai 230°C. Gambar 3 merupakan grafik level faktor untuk respon gabungan (kekasaran permukaan dan kekuatan tarik) sesuai software Minitab19.



Gambar 3. Grafik Level Optimal GRG

Kemudian dilakukan perhitungan prediksi GRG optimal sesuai dengan persamaan 7. Berikut adalah perhitungan prediksi GRG optimal:

$$\mu_{prediksi} = \gamma_m + \sum_{i=1}^q \gamma_i - \gamma_m$$

$$\mu_{prediksi} = (-4,6419) + ((-3,243) - (-4,4619)) + ((-3,640) - (-4,4619)) + ((-4,382) - (-4,4619))$$

$$\mu_{prediksi} = -1,9818$$

Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan interval kepercayaan menggunakan persamaan 8. Nilai MS_{Error} sesuai dengan tabel 11 yaitu 0,186. Tingkat kepercayaan yang digunakan yaitu 95% dengan F_{tabel} yaitu $F_{(0,05;1;2)} = 18.513$. Berikut adalah perhitungan interval kepercayaan:

$$n_{eff} = \text{Banyaknya pengamatan efektif}$$

$$= \frac{9 \times 3}{1+2+2+2}$$

$$= 3,8571$$

$$CI_p = \sqrt{\frac{F_{\alpha;df_1;df_2} MS_E}{n_{eff}}}$$

$$CI_p = \sqrt{\frac{18,513 \times 0,186}{3,8571}}$$

$$CI_p = \pm 0,9443$$

$$\mu_p - CI_p \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_p + CI_p$$

$$-2,926 \leq \mu_{prediksi} \leq -1,0375$$

Hasil perhitungan interval kepercayaan eksperimen prediksi akan dibandingkan dengan

hasil perhitungan interval kepercayaan dari eksperimen konfirmasi.

3.3 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk validasi terhadap kesimpulan hasil prediksi kombinasi parameter yang didapatkan dari analisa data sebelumnya. Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan parameter optimal GRG untuk respon gabungan dan dilakukan replikasi sebanyak tiga kali. Kombinasi parameter optimal GRG yaitu *layer height* dengan nilai 0,1 mm, *infill pattern* dengan pola *line* dan *nozzle temperature* dengan nilai 230°C. Berikut adalah data hasil eksperimen konfirmasi:

Tabel 14: Data Hasil Eksperimen Konfirmasi

Replikasi	Kekasaran Permukaan Ra (µm)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)
1	6,831	16,13
2	6,829	16,46
3	6,866	17,01

Setelah mendapatkan data hasil eksperimen konfirmasi seperti pada Tabel 14, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan tahapan yaitu yang pertama perhitungan rasio S/N pada masing – masing respon, kemudian yang kedua yaitu perhitungan normalisasi rasio S/N, yang ketiga yaitu perhitungan simpangan deviasi, selanjutnya yang keempat perhitungan nilai GRC pada masing – masing respon, dan yang kelima yaitu melakukan perhitungan nilai GRG kedua respon. Rumus atau persamaan yang digunakan sama seperti pada eksperimen prediksi. Berikut ini adalah hasil perhitungan interval kepercayaan pada eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan 9:

$$CI_k = \sqrt{F_{\alpha, d_{f1}, d_{f2}} MS_E \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

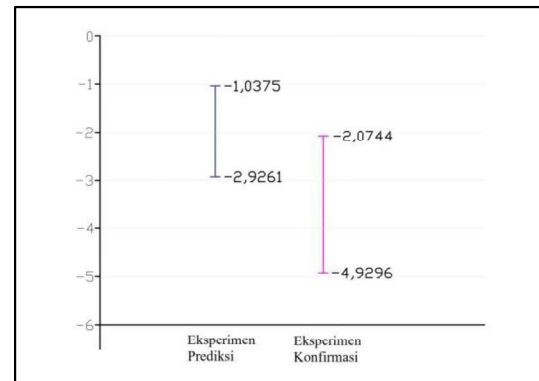
$$CI_k = \sqrt{18,513 \times 0,186 \left[\frac{1}{3,8571} + \frac{1}{3} \right]}$$

$$CI_k = \pm 1,4276$$

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

$$-4,9296 \leq \mu_{konfirmasi} \leq -2,0744$$

Selanjutnya nilai interval kepercayaan eksperimen prediksi dengan nilai interval kepercayaan eksperimen konfirmasi dibuat perbandingan ke dalam bentuk grafik. Gambar 4 merupakan grafik perbandingan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi dan eksperimen prediksi.



Gambar 4. Perbandingan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi dan prediksi

Grafik perbandingan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi dan eksperimen prediksi pada Gambar 3 menunjukkan grafik tersebut saling beririsan. Jika nilai selang kepercayaan eksperimen konfirmasi berada pada selang kepercayaan eksperimen prediksi atau saling beririsan, maka kombinasi level dari variabel proses dinyatakan berhasil.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan ANOVA pada respon kekuatan tarik dapat diketahui bahwa parameter proses *layer height* dan *infill pattern* berpengaruh secara signifikan yang memberikan kontribusi sebesar 51,48% dan 45,20%, parameter *nozzle temperature* tidak berpengaruh secara signifikan yang memberikan kontribusi sebesar 2,01%.

Dari hasil perhitungan ANOVA pada respon kekasaran permukaan dapat diketahui bahwa parameter proses *layer height* berpengaruh secara signifikan yang memberikan kontribusi sebesar 99,63%, parameter *infill pattern* dan *nozzle temperature* tidak berpengaruh secara signifikan yang memberikan kontribusi sebesar 0,04% dan 0,15%.

Kombinasi parameter proses yang optimal pada mesin 3D printer menggunakan material ABS terhadap respon kekuatan tarik dan kekasaran permukaan secara bersamaan yaitu parameter *layer height* pada level 1 dengan nilai 0,1 mm, *infill pattern* pada level 2 dengan pola *line*, dan *nozzle temperature* pada level 1 dengan nilai 230°C.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada keluarga besar penulis, dosen pembimbing, teman – teman dan semua pihak yang telah mendoakan, membantu dan mendukung penulis dalam penyelesaian penelitian ini.

6. PUSTAKA

- [1] E. I. Riza, C. Budiyanoro, and A. W. Nugroho, "Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Material PETG

- Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi,” *Media Mesin Maj. Tek. Mesin Vol. 21, No.2, Juli 2020*, pp. 66–75, 2020.
- [2] V. H. Nguyen, T. N. Huynh, T. P. Nguyen, and T. T. Tran, “*Single and multi-objective optimisation of processing parameters for fused deposition modelling in 3D printing technology*,” *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 17, no. 1, pp. 7542–7551, 2020.
- [3] B. W. Karuniawan, F. Rachman, and A. A. Setiawan, “Optimasi Parameter Mesin *Fused Deposition Modelling* (FDM) terhadap Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Optimasi Parameter Mesin *Fused Deposition Modelling* (FDM) terhadap,” vol. 6, no. October 2019, pp. 23–29.
- [4] D. Andriyansyah, Herianto, and Purfaji, “Optimasi Parameter Proses 3D *Printing* Terhadap Kuat Tarik Filamen PLA Menggunakan Metode Taguchi,” *Semin. Nas. Pendidik. Tek. Otomotif*, no. ISSN : 2338-0284, pp. 61–68, 2018.
- [5] I. Soejanto, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2009.
- [6] I. Soejanto, *Rekayasa Kualitas : Eksperimen dengan Teknik Taguchi*, Kedua. Penerbit Yayasan Humaniora, 2008.
- [7] P. A. Sylajakumari, R. Ramakrishnasamy, and G. Palaniappan, “*Taguchi grey relational analysis for multi-response optimization of wear in co-continuous composite*,” *Materials (Basel)*, vol. 11, no. 9, pp. 1–17, 2018.