

ANALISIS PENGARUH VARIASI PARAMETER 3D PRINTING TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA FILAMEN ABS MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Farizi Rachman¹, Bayu Wiro Karuniawan², Ajeng Sukarno Putri³

Teknik Desain dan Manufaktur, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: farizirachman@ppns.ac.id; bayuwiro@ppns.ac.id; ajengputri@student.ppns.ac.id

ABSTRAK

3D printing merupakan salah satu teknologi yang mendukung perkembangan era revolusi industri 4.0. saat ini, penggunaan teknologi 3D printing tidak hanya sebatas pembuatan prototipe. Tetapi juga banyak produk yang telah digunakan dalam aplikasi teknik. Dalam proses produksi, hasil yang optimal merupakan hal yang ingin dicapai. Salah satunya adalah produk dengan kekuatan tarik yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini membahas tentang optimasi hasil teknologi 3D printing yang dijadikan sebagai bahan referensi dalam pengembangan teknologi 3D printing. Desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Taguchi dengan matriks ortogonal $L_9(3^4)$. Hasil parameter optimal yang didapatkan yaitu layer height sebesar 0,1 mm, infill pattern dengan pola concentric, dan print speed sebesar 60 mm/s. Berdasarkan Analysis of Variance, kontribusi parameter layer height sebesar 54,43%, infill pattern sebesar 42,09%, dan print speed sebesar 2,13%.

Kata Kunci: 3D Printing, Kekuatan Tarik, Taguchi

ABSTRACT

3D printing is one of the technologies that support the development of the industrial revolution 4.0 era. Currently, the use of 3D printing technology is not only limited to making prototypes. But also many products have been used in engineering applications. In the production process, optimal results are the things to be achieved. One of them is a product that has high tensile strength. Therefore, this study discusses the optimization of 3D printing technology printouts that are used as reference material in the development of 3D printing technology. Design of experiment in this study using the Taguchi method with an orthogonal matrix $L_9(3^4)$. The optimal parameter results are layer height of 0.1 mm, infill pattern with a concentric pattern, and print speed of 60 mm/s. Based on the Analysis of Variance, the layer height parameter contribution is 54,43%, the infill pattern is 42,09%, and the print speed is 2,13%.

Keyword : 3D Printing, Tensile Strength, Taguchi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia industri manufaktur terus mengalami perkembangan dari waktu ke waktu dan salah satu teknologi yang menunjang industri manufaktur pada era revolusi industri 4.0 adalah teknologi 3D printing. Dalam era revolusi industri 4.0, Kemenperin mendorong industri manufaktur di Indonesia agar mampu menciptakan inovasi dengan memanfaatkan teknologi terkini, yaitu *Artificial Intelligence (AI)*, *Internet of Things (IoT)*, *Human Machine Interface*, *Robotic and Sensor technology*, serta teknologi 3D printing [1].

Teknologi 3D printing juga disebut sebagai *Additive Manufacturing (AM)* yaitu teknologi yang mampu membuat objek nyata dari *Computer Aided Design (CAD)* secara langsung. Proses pembuatan objek dengan cara menambahkan lapisan demi

lapisan sampai objek tersebut jadi. *Fused Deposition Modeling (FDM)* merupakan salah satu metode yang cukup populer dalam AM, dimana produk yang dihasilkan dengan cara ekstrusi termoplastik melalui *nozzle*. AM mempunyai kelebihan dibandingkan dengan metode manufaktur konvensional, yaitu kemampuan untuk membuat objek dengan geometri yang rumit, proses desain ke manufaktur yang sangat cepat, material sisa yang dihasilkan lebih sedikit, lebih mudah dalam proses pengembangan produk, *prototyping*, dan manufaktur [2].

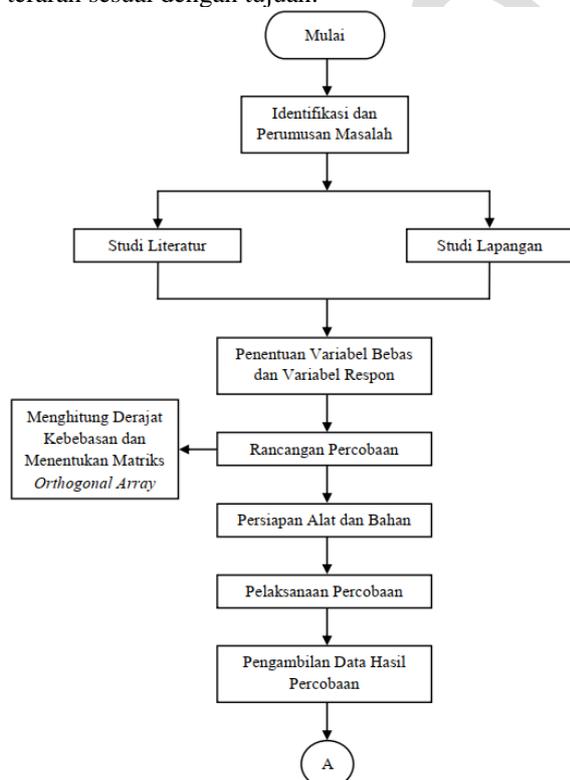
FDM merupakan salah satu teknik *Rapid Prototyping (RP)* yang sering digunakan. Pada awal perkembangan, produk yang dibuat dengan teknik RP hanya sebatas untuk pembuatan *prototype* saja. Namun, sekarang mulai banyak produk dari teknik RP yang mampu menghasilkan komponen yang mampu digunakan dalam aplikasi teknik [3].

Contoh dari penerapan teknologi FDM digunakan pada penelitian tentang rancang bangun protesis lengan pada bawah siku (amputasi transradikal) menggunakan material ABS. Tujuannya yaitu untuk menunjang kehidupan sehari-hari dalam lingkup genggam kuat (*power grip*) dan memiliki bentuk yang menarik untuk meningkatkan kepercayaan diri penyandang. Penelitian tersebut juga melakukan analisis genggam dan analisis uji tarik untuk memperoleh bentuk dan kekuatan tangan normal manusia. Namun, pada penelitian tersebut masih terdapat kekurangan mengenai unsur kekuatan pada bagian tangan dan jari. Untuk mekanisme *joint* pada jari dirasa kurang kuat sehingga kebutuhan *power grip* kurang terpenuhi [4].

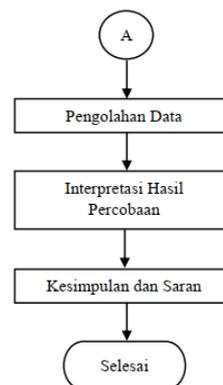
Oleh karena itu, penelitian ini membahas topik tentang analisis kekuatan hasil cetak 3D *printing* yang tujuannya digunakan sebagai bahan referensi pada penelitian selanjutnya tentang pengembangan teknologi 3D *printing*. Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu filamen ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) dengan variabel bebas yang diteliti yaitu *layer height*, *infill pattern*, dan *print speed*.

1.2 Metodologi

Tahapan penelitian dilakukan berdasarkan diagram alir di bawah ini agar penelitian lebih terarah sesuai dengan tujuan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian lanjutan

Pada penelitian ini, variabel respon yang diteliti yaitu kekuatan tarik. Kekuatan tarik mempunyai karakteristik *Larger is Better* yang berarti semakin besar nilai kuat tarik yang dimiliki, maka semakin baik kualitasnya. Kekuatan tarik dipilih menjadi salah satu variabel respon dikarenakan keinginan untuk menggali informasi mengenai parameter optimum untuk menghasilkan objek cetak dengan kuat tarik tertinggi menggunakan filamen ABS dengan tujuan bahwa hasil dari penelitian ini dapat dijadikan tolok ukur tentang kekuatan tarik bahan tersebut.

Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan sebanyak tiga parameter dengan tiga tingkat level pada setiap parameternya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Variabel bebas

Simbol	Variabel Bebas	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i>Layer Height</i>	mm	0,1	0,2	0,3
B	<i>Infill Pattern</i>	-	<i>Line</i>	<i>Grid</i>	<i>Concentric</i>
C	<i>Print Speed</i>	mm/s	60	80	100

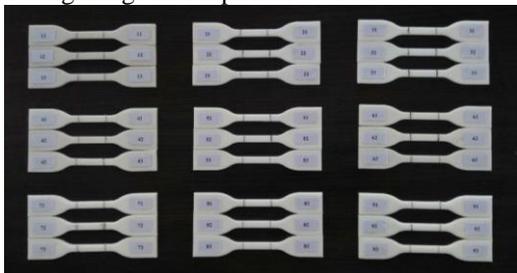
Berdasarkan perhitungan derajat kebebasan, didapatkan nilai sebesar 6. Maka, matriks *Orthogonal Array* (OA) yang sesuai adalah $L_9(3^4)$. Di bawah ini merupakan rancangan percobaan dengan menggunakan *software* Minitab18.

Tabel 2. Rancangan percobaan

Eksperimen ke-	Variabel Bebas		
	<i>Layer Height</i> (mm)	<i>Infill Pattern</i>	<i>Print Speed</i> (mm/s)
1	0,1	<i>Line</i>	60
2	0,1	<i>Grid</i>	80
3	0,1	<i>Concentric</i>	100
4	0,2	<i>Line</i>	80
5	0,2	<i>Grid</i>	100
6	0,2	<i>Concentric</i>	60
7	0,3	<i>Line</i>	100
8	0,3	<i>Grid</i>	60
9	0,3	<i>Concentric</i>	80

Setelah menentukan rancangan percobaan, tahap selanjutnya yaitu pembuatan desain spesimen tarik sesuai standar ASTM D638-14 tipe IV [5]

menggunakan *software* Autodesk Inventor Profesional 2020. *File* hasil desain diekspor ke dalam format STL supaya bisa dimasukkan ke *software slicer*. Gambar di bawah ini merupakan spesimen hasil 3D *printing* sesuai dengan matriks OA dengan tiga kali replikasi.



Gambar 3. Spesimen uji tarik hasil 3D *printing*

Sebelum dilakukan pengujian tarik, lebar dan tebal *gage length* dari masing-masing spesimen harus diukur. Lebar dan tebal *gage length* digunakan untuk menghitung luas penampang dan tegangan tarik. Pengambilan data pengujian tarik dilakukan secara langsung di Laboratorium *Universal Test* Politeknik Negeri Malang.

Data yang diperoleh pada saat pengujian tarik kemudian dianalisis menggunakan metode Taguchi dengan tahapan sebagai berikut [6]:

a. Perhitungan Nilai Rasio S/N

Kekuatan tarik dan kekuatan impak memiliki karakteristik *larger is better* dan *building time* memiliki karakteristik *smaller is better* yang nilainya didapatkan dari persamaan berikut:

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

Keterangan:

n = banyaknya data

y_i = data respon pengamatan ke- i

b. Perhitungan Normalisasi Nilai rasio S/N

$$X_i^* = \frac{Xo^o(k) - \text{Min } Xo^o(k)}{\text{Max } Xo^o(k) - \text{Min } Xo^o(k)} \quad (2)$$

Keterangan:

$\text{Max } Xo^o(k)$ = nilai maksimum rasio S/N

$\text{Min } Xo^o(k)$ = nilai minimum rasio S/N

$Xo^o(k)$ = nilai rasio S/N setiap eksperimen

k = eksperimen yang dilakukan

c. Perhitungan Simpangan Deviasi

$$\Delta_{oi}(k) = |X_0^*(k) - X_i^*(k)| \quad (3)$$

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)

$$\gamma_i^*(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{maks}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{maks}} \quad (4)$$

Keterangan:

ζ = koefisien pembeda (0.5)

Δ_{min} = nilai terendah dari rangkaian deviasi

Δ_{maks} = nilai tertinggi dari rangkaian deviasi

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

e. Interval Kepercayaan

Berikut merupakan rumus interval kepercayaan eksperimen prediksi:

$$CI_p = \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;df_e} MS_e}{n_{eff}}} \quad (5)$$

Keterangan :

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

$F_{\alpha;1;df_e}$ = rasio F

MS_e = rata-rata kuadrat *error*

2. PEMBAHASAN

Tabel di bawah ini merupakan hasil dari pengujian kekuatan tarik.

Tabel 3. Data pengujian tarik

Kombinasi	Kekuatan Tarik (MPa)		
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3
1	44,429	44,334	43,285
2	36,023	33,534	35,009
3	45,666	44,951	45,229
4	40,951	41,038	37,210
5	28,734	37,656	36,087
6	45,027	42,759	41,487
7	38,898	23,997	36,773
8	24,852	29,379	35,006
9	31,622	38,747	36,340

Data hasil percobaan pada Tabel 3 akan diolah menjadi nilai rasio S/N menggunakan karakteristik kualitas *larger is better* menggunakan Persamaan 1. Rasio S/N digunakan untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan (*noise*). Perhitungan respon S/N rasio dilakukan untuk mengetahui pengaruh faktor level yang optimum pada penelitian ini.

Tabel 4. Rasio S/N

Kombinasi	Rasio S/N
1	32,870
2	30,834
3	33,118
4	31,956
5	30,483
6	32,673
7	29,806
8	29,216
9	30,927

Selanjutnya yaitu tahap perhitungan normalisasi rasio S/N menggunakan Persamaan 2 dilanjutkan menghitung simpangan deviasi dengan Persamaan 3. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Normalisasi rasio S/N dan simpangan deviasi

Kombinasi	Normalisasi S/N	Simpangan Deviasi
1	0,937	0,063
2	0,415	0,585
3	1,000	0,000
4	0,702	0,298
5	0,325	0,675

Kombinasi	Normalisasi S/N	Simpangan Deviasi
6	0,886	0,114
7	0,151	0,849
8	0,000	1,000
9	0,439	0,561

Hasil perhitungan simpangan deviasi kemudian akan dipakai untuk mencari nilai GRC sesuai Persamaan 4. Apabila nilai GRC bernilai 1, maka normalisasi dianggap cocok dengan kondisi ideal sehingga pada eksperimen dengan nilai GRC 1 memungkinkan menjadi eksperimen terbaik. Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan GRC.

Tabel 6. Perhitungan GRC

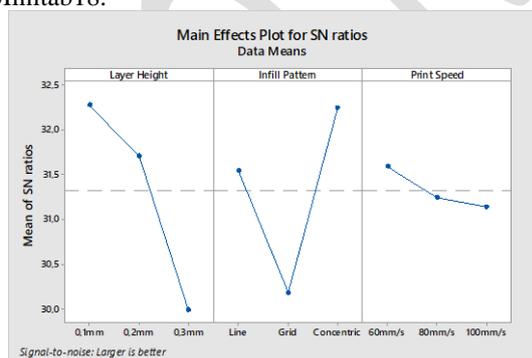
Kombinasi	GRC
1	0,887
2	0,461
3	1,000
4	0,627
5	0,425
6	0,814
7	0,371
8	0,333
9	0,471

Didapatkan kombinasi parameter yang optimum yaitu *layer height* pada level 1 sebesar 0,1 mm, *infill pattern* pada level 3 dengan pola *concentric*, dan *print speed* pada level 1 sebesar 60 mm/s.

Tabel 7. Respon rasio S/N

Level	Faktor		
	A	B	C
1	32,27	31,54	31,59
2	31,70	30,18	31,24
3	29,98	32,24	31,14
Delta	2,29	2,06	0,45
Ranking	1	2	3

Gambar 4 di bawah ini merupakan grafik level faktor dari rasio S/N berdasarkan *software Minitab18*.



Gambar 4. Grafik respon kekuatan tarik rasio S/N

Analysis of Variance (ANOVA) merupakan teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon, serta untuk mengetahui besar nilai kontribusi faktor-faktor tersebut terhadap variabel respon.

Tabel 8. Perhitungan ANOVA rasio S/N kekuatan tarik

Source	DF	SS	Contribution	MS	F _{hitung}
Layer Height	2	8,5359	54,43%	4,2680	40,66
Infill Pattern	2	6,6010	42,09%	3,3005	31,44
Print Speed	2	0,3345	2,13%	0,1673	1,59
Error	2	0,2100	1,34%	0,1050	
Total	8	15,6814	100,00%		

Nilai F_{hitung} digunakan untuk pengujian hipotesa dengan melakukan perbandingan antara F_{hitung} pada masing-masing faktor dengan F_{tabel} . Pada penelitian ini menggunakan F_{tabel} dengan tingkat kepercayaan 95%, dan $\alpha = 0,05$; $DF_1 = 2$; $DF_2 = 2$ yaitu sebesar 19,00. Berdasarkan Tabel 7 di atas, nilai F_{hitung} kekuatan tarik untuk faktor A (*layer height*) sebesar 40,66 dan faktor B (*infill pattern*) sebesar 31,44, yang mana nilai F_{hitung} untuk faktor A dan B lebih besar dari nilai F_{tabel} . Maka, dapat disimpulkan bahwa faktor A dan B memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon kekuatan tarik. Sedangkan nilai F_{hitung} untuk faktor C (*print speed*) yaitu sebesar 1,59, yang mana kurang dari nilai F_{tabel} . Maka, dapat disimpulkan bahwa faktor C tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon kekuatan tarik.

Berdasarkan hasil perhitungan persentase kontribusi, diketahui bahwa persentase kontribusi faktor A (*layer height*), faktor B (*infill pattern*), dan faktor C (*print speed*) terhadap respon kekuatan tarik secara berturut-turut yaitu 54,433%, 42,095%, dan 2,133%. Sedangkan untuk persentase kontribusi faktor *error* yaitu sebesar 1,339%. Dimana persentase kontribusi faktor *error* yang didapat kurang dari sama dengan 15%. Hal tersebut berarti tidak ada faktor penting yang terabaikan selama eksperimen. Berdasarkan hasil perhitungan interval kepercayaan, didapatkan nilai minimum kepercayaan sebesar 32,749 dan nilai maksimum kepercayaan sebesar 34,169.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa parameter *layer height* dan *infill pattern* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon kekuatan tarik dengan persentase kontribusi sebesar 54,43% dan 42,09%. Sedangkan parameter *print speed* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon kekuatan tarik, tetapi parameter *print speed* memberikan kontribusi terhadap respon kekuatan tarik yaitu sebesar 2,13%. Kombinasi parameter 3D *printing* yang optimum pada filamen ABS untuk respon kekuatan tarik yaitu *layer height* sebesar 0,1 mm, *infill pattern* dengan pola *concentric*, dan *print speed* sebesar 60 mm/s. Dalam proses eksperimen ini masih terdapat kontribusi *error* sebesar 1,34%. Kemungkinan bisa disebabkan karena adanya faktor gangguan pada saat proses pembentukan produk dan pengujian

tarik. Oleh karena itu disarankan untuk menggunakan mesin *high end* agar data eksperimen yang didapatkan minim dari faktor gangguan.

PUSTAKA

- [1] Kemenperin, "Implementasi Industri 4.0 Memacu Investasi Teknologi dan Produksi," 2019. <https://kemenperin.go.id/artikel/20160/Implementasi-Industri-4.0-Memacu-Investasi-Teknologi-dan-Produksi>.
- [2] D. Andriyansyah, Herianto, and Purfaji, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Filamen Polylactic Acid Menggunakan Metode Taguchi," *Semin. Nas. Pendidik. Tek. Otomotif*, no. ISSN: 2338-0284, pp. 61–68, 2018.
- [3] R. A. Tanjung, M. I. P. Hidayat, and S. T. Wicaksono, "Analisis Distribusi Tegangan pada Struktur Sandwich yang Dipreparasi dengan PLA 3D Printer," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [4] M. Rahman and D. Kuswanto, "Rancang Bangun Protesis Lengan untuk Tunadaksa pada Bawah Siku (Amputasi Transradial)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [5] ASTM (American Society for Testing and Material). 2015. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM International. United States.
- [6] I. Soejanto, *Rekayasa Kualitas : Eksperimen dengan Teknik Taguchi*. Penerbit Yayasan Humaniora, 2008.