

PENGARUH PARAMETER CETAK 3D *PRINTING* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* FILAMEN POLYLACTIC ACID

THE INFLUENT OF 3D *PRINTING* PARAMETERS ON *BENDING* STRENGTH OF POLYLACTIC ACID FILAMENT

Berril Habibil Rizka⁽¹⁾, Rifelino⁽²⁾, Mulianti⁽³⁾, Yufrizal A⁽⁴⁾

(1), (2), (3), (4) Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia

berrilhabibill@gmail.com

rifelino@ft.unp.ac.id

muliantihendrik@gmail.com

yufrizal@ft.unp.ac.id

Abstrak

Ilmu pengetahuan terus berkembang dari masa ke masa dimana memberikan pengaruh pada berbagai aspek yang ada di dunia Teknologi merupakan salah satu aspek yang berkembang pesat selama beberapa tahun belakang, Percetakan 3 dimensi (*3D Printing*) merupakan contoh dari teknologi yang berkembang pada saat ini. Mesin 3D print atau biasa yang disebut *Additive Layer Manufacturing* telah ada sejak tahun 1980-an, pertama kali ditemukan oleh Chuck Hull. Cara kerja mesin 3D print yaitu menumpuk filament cair lapis demi lapis sampai menjadi suatu cetakan yang sesuai dengan desain. Teknologi ini dapat mencetak suatu desain digital menjadi bentuk benda padat tiga dimensi yang dapat dilihat, diraba dan mempunyai volume. Teknologi mesin 3D print memiliki parameter-parameter cetak yang mempengaruhi sifat mekanis dari hasil cetakan. Pada penelitian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan hasil *bending strength* menggunakan bahan PLA (*PolyLactic Acid*) dari parameter-parameter pengaturan cetak 3D print yaitu *print speed*, *layer height*, *infill percentage*, *nozzle temperature*. Spesimen pengujian *bending* menggunakan standarisasi pengujian ASTM D790. Data hasil pengujian *bending* kemudian diolah menggunakan metode taguchi dengan matriks *Orthogonal Array*. Berdasarkan hasil pengujian *bending* didapatkan nilai *bending strength* dari setiap nomor eksperimen yang ada kemudian dilakukan pengolahan data yang mendapatkan hasil kombinasi parameter optimum yaitu *print speed* (V) 80 m/s, *layer height* (H) 0.3 mm, *infill percentage* (I) 100% dan *nozzle temperature* (T) 215.

Kata Kunci : 3D Print, Parameter Cetak 3D Print, *PolyLactic Acid*, Pengujian *Bending*, Metode Taguchi.

Abstract

Science continues to develop from time to time which has an influence on various aspects of the world. Technology is one aspect that has grown rapidly over the past few years, 3D Printing (*3D Printing*) is an example of the technology that is developing at this time. 3D printing machines or commonly called *Additive Layer Manufacturing* have been around since the 1980s, first invented by Chuck Hull. The way the 3D printing machine works is to stack the liquid filament layer by layer until it becomes a mold that matches the design. This technology can print a digital design into a three-dimensional solid object that can be seen, touched and has volume. 3D printing machine technology has printing parameters that affect the mechanical properties of the printout. In this study, the aim of this study was to obtain *bending strength* results using PLA (*PolyLactic Acid*) from the parameters of the 3D print settings, namely *print speed*, *layer height*, *infill percentage*, *nozzle temperature*. *Bending* test specimens using the standardized ASTM D790 test. The data from the *bending* test results were then processed using the Taguchi method with an *Orthogonal Array* matrix. Based on the results of the *bending* test, it is found that the *bending strength* value of each existing experimental number is then processed to obtain the optimum combination of parameters, namely *print speed* (V) 80 m/s, *layer height* (H) 0.3 mm, *infill percentage* (I) 100% and *nozzle temperature* (T) 215.

Keywords : 3D Print, 3D Print Parameters, *PolyLactic Acid*, *Bending* Testing, Taguchi Method.

I. Pendahuluan

Mesin 3D print atau biasa yang disebut *Additive*

Layer Manufacturing telah ada sejak tahun 1980-an, pertama kali ditemukan oleh Chuck Hull (Pristiansyah, Hasdiansah, and Sugiyarto 2019).

Additive Layer Manufacturing ini telah sering dipakai pada beberapa industri seperti bidang konstruksi, kesehatan, *prototyping* dan biomekanik (Ngo et al. 2018). Sesuai dengan namanya *Additive Layer Manufacturing*, cara kerja dari teknologi ini yaitu menumpuk filament cair lapis demi lapis sampai menjadi suatu cetakan yang sesuai dengan desain. Salah satu jenis 3D Printing adalah teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM), pada saat ini teknologi FDM merupakan teknologi 3D print yang paling banyak dioperasikan dibandingkan dengan teknologi 3D print yang lain (Finali, Hanafi, and Eko 2021).

Produk pada mesin 3D print FDM dapat dibuat tanpa dibatasi oleh kompleksitas geometri dari desain yang ternyata kondisi ini tidak dapat dikerjakan pada proses-proses konvensional (Sobron and Sutanto 2016). Pada teknologi 3D Printing FDM terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi sifat mekanis dari hasil dari cetakan tersebut seperti kekuatan, ketangguhan, kekasaran, dan elastisitas pada hasil cetak (Hwang et al. 2015). Adapun beberapa parameter-parameter tersebut diantara lain yaitu : kecepatan gerak printer (*printer speed*), ketebalan antar layer (*layer height*), *infill percentage* dan lainnya. Parameter-parameter yang ada akan mengakibatkan perbedaan hasil pada kekuatan mekanik dari cetakan tersebut sehingga dibutuhkan pengujian kekuatan mekanik terhadap hasil cetakan tersebut. Mesin 3D Printing FDM dikendalikan secara *computerize* sehingga parameter-parameter yang ada dapat diatur di dalam computer (Nurfaedah et al. 2021). Benda yang akan dicetak terlebih dahulu didesain melalui *software solidworks*, kemudian menggunakan *software slicer* yang berguna untuk mengatur parameter-parameter yang kemudian pengaturan tersebut diinputkan ke mesin printer untuk membuat pencetakan objek 3D. Parameter-parameter yang ada akan mengakibatkan perbedaan hasil kekuatan mekanik dari cetakan tersebut sehingga dibutuhkan pengujian kekuatan mekanik terhadap hasil cetakan tersebut.

Mesin pengujian UTM (*Universal Testing Machine*) merupakan alat atau mesin uji yang digunakan untuk menguji ketahanan, kekuatan dan mengetahui struktur pada suatu material yang akan diuji. Salah pengujian dari mesin UTM adalah uji *bending*, uji *bending* bertujuan untuk mendapatkan besarnya kekuatan material akibat pembebanan sehingga dapat mengetahui titik batas elastisitasnya, pada pengujian *bending* spesimen akan diberi beban pada titik tengah spesimen dan kedua ujung dari spesimen ditumpu sehingga bagian atas pada sampel pengujian akan mengalami tekanan dan bagian bawah pada sampel pengujian akan mengalami tegangan tarik (Belieu, Pelle, and Jarson 2016). Kekuatan *bending* adalah tegangan lengkung tertinggi yang dapat diterima oleh sampel pengujian yang disebabkan

oleh pembebanan luar tanpa mengalami deformasi atau kegagalan (Syahrani, Sam, and Chairulnas 2013). Hasil cetak 3D *printing* dapat digunakan untuk beberapa hal mulai dari engsel pintu, mur dan baut, hingga dengan *gearbox*. Parameter proses cetak pada mesin 3D *printing* memberikan kontribusi terhadap kekuatan mekanik dari hasil cetak, diantaranya *infill geometry*, *printing speed* dan *nozzle temperature* (Bowo, Suzen, and Oktriadi 2021).

Filamen adalah bahan utama 3D print yang dilelehkan menggunakan *nozzle* yang akan mencetak benda 3D. Filamen awalnya dipanaskan menggunakan *heating system* yang mengubah PLA yang awalnya padat menjadi cair. PLA merupakan filamen yang berbahan plastik polimer memuat beberapa material yang dapat diurai seperti jagung, singkong, maupun dari tebu. Dengan memuat beberapa material yang dapat diurai ini menjadikan filamen PLA merupakan filament yang ramah lingkungan. Filamen ini dapat membentuk cetakan yang kuat dan rapi (Napitupulu et al. 2021). Bahan PLA ini mempunyai kelebihan seperti kekuatan tarik yang baik, ramah lingkungan, kualitas cetak yang baik, dapat membuat benda yang memiliki detail yang tinggi, memiliki kapasitas yang baik untuk pencetakan model dan *prototype* (Sumardiyanto and Putra 2021). Kelebihan lain PLA yaitu PLA tidak memiliki resiko kesehatan saat mencetak pada ruang yang minim ventilasi (Ayrilmis 2018).

Salah satu metode rancangan eksperimen untuk pengoptimalisasian hasil dari parameter-parameter saat proses eksperimen adalah metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan rancangan eksperimen efisien yang memakai perencanaan percobaan dalam menciptakan gabungan faktor dan level yang dapat dikontrol dengan memanfaatkan harga paling rendah tetapi dapat sesuai dengan kebutuhan yang diharapkan (Kusumawardani, Mustafid, and Yasin 2015). Taguchi menggunakan metode perancangan yang mempunyai dasar untuk menghasilkan mutu yang baik dengan mengurangi akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya (Didik Wahjudi, Gan Shu San, and Yohan Pramono 2001). Metode ini merupakan metode yang bertujuan dalam meningkatkan kualitas yang dilakukan sebelum proses produksi atau yang biasa disebut disebut *off-line quality control*. Teknik ini menggunakan *Orthogonal Array* (OA) untuk tata letak eksperimennya. *Orthogonal array* (OA) adalah salah satu elemen dari fraksional *factorial experiment* (FFE). FFE adalah eksperimen dengan hanya memakai sebagian data dari semua jumlah data total (Wuryandari, Widiharih, and Anggraini 2009).

Orthogonal Array dipakai untuk menetapkan jumlah penelitian yang seminimal mungkin untuk mendapatkan penjelasan sebanyak-banyaknya dari

semua level yang mempengaruhi parameter. Dengan menggunakan *Orthogonal Array* dalam desain eksperimen, metode ini memberikan biaya yang rendah karena dapat mengurangi jumlah dari eksperimen (Rifelino, Rahim, and Indrawan 2021). Dalam penelitian ini, metode taguchi digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal dari parameter-parameter 3D print yang ada.

Berdasarkan beberapa penelitian yang melakukan eksperimen tentang parameter 3D print dengan menggunakan metode *response surface* (Nurfaedah et al. 2021), variasi parameter yang berbeda dengan metode taguchi (Riza et al. 2020) dan melakukan pengujian tarik untuk hasil cetak 3D print (Sharma, Sharma, and Kala 2019). Maka dari itu penulis melakukan eksperimen dengan judul "*Pengaruh Parameter Cetak 3D Printing terhadap Kekuatan Bending Filament Polylactic Acid*" untuk mengetahui parameter cetak yang optimal.

II. Metode Penelitian

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah bentuk spesifik investigasi yang berguna dalam memilih faktor-faktor apa saja dan bagaimana bentuk relasi antara satu dengan yang lainnya. Metode penelitian eksperimen digunakan dalam mencari dampak pengaturan pada suatu faktor dan dampaknya kepada yang lain dalam status yang terkendali (A et al. 2019). Dalam konsep klasik, eksperimen adalah penelitian yang bertujuan dalam menetapkan pengaruh variabel perlakuan (*independent variable*) terhadap variabel dampak (*dependent variable*) (Jaedun 2011). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui *bending strength* hasil cetak 3D *printing* dengan jenis filament PLA yang mempunyai 4 faktor dan 3 level dalam proses pencetakan. Metode taguchi digunakan untuk mendapatkan nilai optimum dari faktor dan level yang ada.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni – Agustus 2022. Mulai dari pembuatan spesimen uji sampai ke pembuatan laporan. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Manufaktur Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

C. Objek Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui *bending strength* hasil cetak 3D print dengan menggunakan parameter-parameter cetak yang telah disusun menggunakan cara *Orthogonal Array* adapun parameter tersebut adalah *Print Speed* (V), *Layer Height* (H), *Infill Percentage* (I), *Nozzle*

Temperature (T). Proses pencetakan dilakukan pada ruangan berAC dengan pengaturan 23°C dengan suhu ruangan yang bernilai 19°C.

Tabel 2.1 Parameter Faktor Cetak 3D Print

No	Faktor
1	<i>Printer Speed (mm/s)</i>
2	<i>Layer Height (mm)</i>
3	<i>Infill Percentage (%)</i>
4	<i>Nozzle Temperature (°C)</i>

D. Jenis dan Sumber Data

Pada penelitian ini mempunyai jenis data yaitu data primer yang mana data tersebut didapatkan dengan melakukan observasi atau pengukuran langsung yang diambil dari proses pengukuran spesimen. Data yang diperoleh selanjutnya akan dilakukan pengolahan. Sumber data dari penelitian ini diperoleh dengan cara observasi yaitu pengukuran langsung terhadap hasil uji *bending* pada spesimen yang akan dilaksanakan di Laboratorium Manufaktur Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

E. Alat dan Bahan

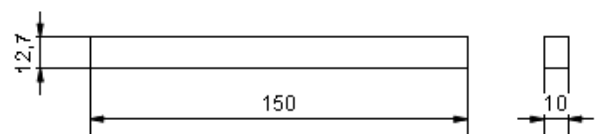
1. Alat

- Mesin cetak 3D Print FDM ANET A8 PLUS V-1.6.
- Mesin Pengujian UTM (*Universal Testing Machine*) tipe HT 2402.
- Software Solidwork 2022* untuk melakukan pembuatan desain pengujian.
- Software Ultimaker Cura* untuk mengatur parameter-parameter cetak.
- Software Minitab 18* untuk pengolahan hasil dari pengujian *bending*.

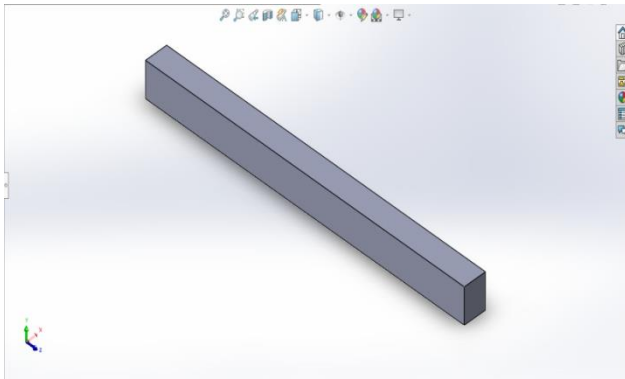
2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan yaitu filament PLA (*Poly Lactic Acid*). Filamen yang dipakai merupakan buatan dari eSUN.

Gambar 2.1 Dimensi ASTM D790 (Romli et al. 2020)



Gambar 2.2 Desain Spesimen Menggunakan Software Solidwork



Tabel 2.2 Matriks Orthogonal Array L₉(3⁴)

Eksperimen	Faktor			
	V (mm/s)	H (mm)	I (%)	T(°C)
1	40	0.1	60	195
2	40	0.2	80	210
3	40	0.3	100	225
4	60	0.1	80	225
5	60	0.2	100	195
6	60	0.3	60	210
7	80	0.1	100	210
8	80	0.2	60	225
9	80	0.3	80	195

Matriks OA L₉(3⁴) terdiri dari sembilan kali eksperimen dan satu kali eksperimen konfirmasi serta terdapat 4 faktor dan 3 level pada masing-masing faktornya.

F. Analisis Data

Analisis data menggunakan perhitungan nilai *ratio* S/N dipilih sejalan mengikuti bentuk karakteristik kualitas yang diinginkan dari respon. Respon *bending strength* memiliki karakteristik kualitas yaitu semakin besar semakin baik (*Larger the Better*). Perhitungan karakteristik *ratio* S/N dapat menggunakan rumus dibawah ini

$$SN = - + 10 \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

Dimana : SN = *Ratio* S/N
 n = Jumlah data
 y_i = data ke-i

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian didapatkan dari data pengujian *bending strength* yang mempunyai parameter cetak yaitu *print speed*, *layer height*, *infill percentage* dan *nozzle temperature*. Penelitian dilakukan pada

ruangan berAC dengan keadaan suhu AC yang mempunyai pengaturan temperatur sebesar 23°C. Setelah dilakukan pengukuran ruangan AC mempunyai suhu 19°C. Dari penjelasan diatas didapatkan nilai *bending strength* dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.1 Hasil Pengujian *Bending Strength*

Eksperimen	Faktor				<i>Bending Strength</i> (MPa)
	V (mm/s)	H (mm)	I (%)	T (°C)	
1	40	0.1	60	195	15,267
2	40	0.2	80	210	22,962
3	40	0.3	100	225	31,106
4	60	0.1	80	225	23,343
5	60	0.2	100	195	24,906
6	60	0.3	60	210	18,122
7	80	0.1	100	210	31,840
8	80	0.2	60	225	17,320
9	80	0.3	80	195	20,298

B. Perhitungan *Ratio* S/N

Nilai *ratio* S/N yang diperoleh respon tiap eksperimen dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan *Ratio* S/N

Eksperimen	Faktor				<i>Ratio</i> S/N
	V (mm/s)	H (mm)	I (%)	T (°C)	
1	40	0.1	60	195	23,67
2	40	0.2	80	210	27,22
3	40	0.3	100	225	29,85
4	60	0.1	80	225	27,36
5	60	0.2	100	195	27,92
6	60	0.3	60	210	25,16
7	80	0.1	100	210	30,05
8	80	0.2	60	225	24,77
9	80	0.3	80	195	26,14

Pengolahan data *ratio* S/N didapatkan kombinasi faktor-faktor dari eksperimen ke tujuh dengan nilai *ratio* S/N tertinggi. *print speed* (V) pada level 3, *layer height* (H) pada level 1, *infill percentage* (I) pada level 3 dan *nozzle temperature* (I) pada level 2. Maka eksperimen nomor 7 merupakan kombinasi optimum untuk *bending strength*.

Respon *ratio* S/N dan nilai rata-rata *bending strength* dari pengaruh faktor parameter dapat dilihat pada tabel 3.3 dan 3.4:

Tabel 3.3 Nilai Pengaruh Faktor terhadap Respon

Level	Faktor
-------	--------

	V (mm/s)	H (mm)	I (%)	T(°C)
1	26,92	27,03	24,54	25,92
2	26,82	26,64	26,91	27,48
3	26,99	27,06	29,28	27,33
Delta	0,18	0,42	4,74	1,56
Rank	4	3	1	2

Tabel 3.4 Nilai Rata-rata Pengaruh Faktor terhadap Respon

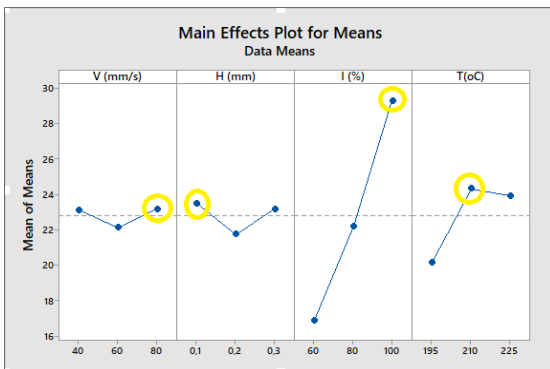
Level	Faktor			
	V (mm/s)	H (mm)	I (%)	T(°C)
1	23,11	23,48	16,90	20,16
2	22,12	21,73	22,20	24,31
3	23,15	23,18	29,28	23,92
Delta	1,03	1,75	12,38	4,15
Rank	4	3	1	2

Dari tabel diatas didapatkan grafik respon *ratio S/N* dan rata rata dari *bending strength* dari pengaruh faktor seperti pada gambar ini :

Gambar 3.1 Grafik Nilai Pengaruh Faktor terhadap Respon



Gambar 3.2 Grafik Nilai Rata-rata Faktor terhadap Respon



Dari data diatas diperoleh level optimum untuk faktor parameter yaitu *print speed* yaitu pada level 3 dengan nilai 80m/s, *layer height* pada *ratio S/N* pada level 3 tetapi nilai rata-rata berada pada level 1 walau perbedaanya tidak terlalu signifikan, *infil*

percentage pada level 3 dengan nilai 100% mendapatkan nilai tertinggi dalam semua level dan faktor parameter yang ada dan *nozzle temperature* pada level 2 dengan nilai 210°C.

C. Analisis Varians (ANOVA)

Analisis *Varians* berfungsi untuk menghitung hasil data yang telah disusun pada desain secara statistik. Anova ini menganalisis dengan menjabarkan seluruh variansi atas bagian-bagian yang diteliti (Bernaldo et al. 2021).

Tabel 3.5 Hasil Analisis Varians (ANOVA)

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	Persen Kontribusi
V	2	2,037	1,018	0,75%
H	2	5,262	2,631	1,95%
I	2	231,527	115,76	85,63%
T	2	31,562	15,781	11,67%
<i>Error</i>				
Total	8	270,388		100%

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa *infill percentage* (I) memiliki nilai yang paling tinggi sehingga dapat diketahui bahwa *infill percentage* (I) adalah faktor yang memiliki pengaruh paling tinggi terhadap *bending strength*, *nozzle temperature* (T) mendapati urutan ke dua untuk nilai yang berpengaruh, *layer height* (H) di urutan ke tiga dan *print speed* (V) di urutan terakhir.

Persen kontribusi berbanding lurus dengan hasil perhitungan *sums of square* yang mana pada *infill percentage* merupakan faktor yang memiliki kontribusi tertinggi yaitu sebanyak 85,63%, kemudian *nozzle temperature* memiliki persen kontribusi sebanyak 11,67%, *layer height* pada urutan ketiga memiliki persen kontribusi sebanyak 1,95% dan pada urutan terakhir yaitu *print speed* yang memiliki nilai persen kontribusi 0,75%.

D. Konfirmasi Eksperimen

Eksperimen konfirmasi adalah bagian terakhir pada penelitian pada metode taguchi. Eksperimen ini dilakukan dengan melaksanakan pencetakan 3D print dengan memakai gabungan level dan faktor yang mempunyai hasil yang paling optimal. Konfirmasi eksperimen bertujuan untuk verifikasi pada hasil yang didapatkan pada bagian analis.

Kombinasi faktor yang mendapatkan respon yang optimum terhadap *bending strength* adalah *print speed* (V) yaitu 80 m/s, *layer height* (H) 0.3, *infill percentage* (I) 100% dan *nozzle temperature* (T) 215.

Tabel 3.6 Hasil Konfirmasi Eksperimen

Konfirmasi Eksperimen	Faktor				<i>Bending Strength (MPa)</i>
	V (mm/s)	H (mm)	I (%)	T (°C)	
1	80	0.3	100	215	34,043

Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Zaman et al. 2019) menunjukkan bahwa semakin tinggi *infill percentage* maka akan semakin besar kekuatan yang dimiliki cetakan serta *infill percentage* pada penelitian tersebut memiliki kontribusi yang tinggi. Menurut (Wibawa, Mastriswadi, and Ismianti 2020) variasi parameter *nozzle temperature* memiliki kontribusi dalam menentukan suhu yang stabil, dengan suhu yang stabil dan cocok pada bahan filamen yang digunakan maka filamen yang dipanaskan memiliki bentuk yang seragam, sehingga menyebabkan produk cetak 3D lebih kuat.

IV. Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh parameter cetak 3D *printing* terhadap kekuatan *bending* filamen PLA menggunakan metode taguchi didapatkan kombinasi faktor parameter yang mendapatkan hasil optimum untuk respon *bending strength* adalah *print speed* (V) yaitu 80 m/s, *layer height* (H) 0.3, *infill percentage* (I) 100% dan *nozzle temperature* (T) 215. Selanjutnya persen kontribusi dari faktor parameter yang mempengaruhi hasil dari respon adalah yang paling signifikan adalah *infill percentage* yaitu bernilai 85,63%, kemudian *nozzle temperature* memiliki persen kontribusi sebanyak 11,67%, *layer height* pada urutan ketiga memiliki persen kontribusi sebanyak 1,95% dan pada urutan terakhir yaitu *print speed* yang memiliki nilai persen kontribusi 0,75%.

Pada penelitian ini pengujian *bending* dilakukan secara bersamaan sehingga dapat mengakibatkan hasil cetak 3D print yang terlebih dahulu dicetak mengalami perubahan sifat mekanis yaitu getas. Dikarenakan oleh filamen PLA yang terkena udara lebih rentan untuk mengalami kegetasan oleh karena itu penulis menyarankan untuk melakukan pengujian setelah pencetakan selesai.

Referensi

- A, Yufrizal, Eko Indrawan, Nofri Helmi, Abdul Aziz, and Yoga Amanda Putra. 2019. "Pengaruh Sudut Potong Dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Bubut Mild Steel ST 37." *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi* 19(2):29–36. doi: 10.24036/invotek.v19i2.582.
- Ayrlimis, Nadir. 2018. "Effect of Layer Thickness on Surface Properties of 3D Printed Materials Produced from Wood Flour/PLA Filament."

Polymer Testing 71(September):163–66. doi: 10.1016/j.polymertesting.2018.09.009.

- Beliu, Harun N., Yeremias M. Pelle, and Jahirwan Ut Jarson. 2016. "Analisa Kekuatan Tarik Dan Bending Pada Komposit Widuri - Polyester." *Lontar* 03(02):11–20.
- Bernaldo, Aditya, Rifelino Rifelino, Yufrizal A, and Febri Prasetya. 2021. "Kombinasi Optimum Kondisi Pemotongan Bubut Cnc Dengan Menggunakan Metode Taguchi." *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)* 3(4):55–61. doi: 10.24036/vomek.v3i4.254.
- Bowo, Frandika Putra, Zaldy Sirwansyah Suzen, and Yudi Oktriadi. 2021. "PENGARUH INFILL GEOMETRY, PRINTING SPEED DAN NOZZLE TEMPERATURE TERHADAP KEKUATAN IMPAK MENGGUNAKAN FILAMEN ST PLA." 2(7):6.
- Didik Wahjudi, Gan Shu San, and Yohan Pramono. 2001. "Optimasi Proses Injeksi Dengan Metode Taguchi." *Jurnal Teknik Mesin* 3(1):24–28.
- Finali, Asmar, Agung Fauzi Hanafi, and Rochmad Eko. 2021. "J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin Analisis Variasi Pattern 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Analysis of 3D Printing Pattern Variation on Tensile Strength." 5(1):16–19.
- Hwang, Seyeon, Edgar I. Reyes, Kyoung sik Moon, Raymond C. Rumpf, and Nam Soo Kim. 2015. "Thermo-Mechanical Characterization of Metal/Polymer Composite Filaments and Printing Parameter Study for Fused Deposition Modeling in the 3D Printing Process." *Journal of Electronic Materials* 44(3):771–77. doi: 10.1007/s11664-014-3425-6.
- Jaedun, Amat. 2011. "METODOLOGI PENELITIAN EKSPERIMEN." *Metodologi Penelitian Eksperimen* 0–12.
- Kusumawardani, M., Mustafid, and Hasbi Yasin. 2015. "Optimalisasi Parameter Teknik Pengelasan Flux Cored Arc Welding (Fcaw) Menggunakan Metode Taguchi Multirespon Pcr-Topsis." *Jurnal Gaussian* 4(3):573–82.
- Napitupulu, Richad A. M., Lestina Siagian, Joel Panjaitan, and Miduk Tampubolon. 2021. "Pelatihan Pembuatan Prototype Spare Part Motor Dengan Aplikasi Printer 3D Pada Siswa Siswi Kls XI SMK Swasta Parulian 3 Medan." 1(1):37–44.
- Ngo, Tuan D., Alireza Kashani, Gabriele Imbalzano, Kate T. Q. Nguyen, and David Hui. 2018. "Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges." *Composites Part B: Engineering* 143(December 2017):172–96. doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
- Nurfaedah, Dira, Rifelino Rifelino, Purwantono Purwantono, and Febri Prasetya. 2021.

- “Optimalisasi Kekuatan Bending Hasil 3D Printing Menggunakan Metode Response Surface Pada Filamen Pla (Poly Lactic Acid).” *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)* 3(3):58–66. doi: 10.24036/vomek.v3i3.217.
- Pristiansyah, Pristiansyah, Hasdiansah Hasdiansah, and Sugiyarto Sugiyarto. 2019. “Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex.” *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur* 11(01):33–40. doi: 10.33504/manutech.v11i01.98.
- Rifelino, Rifelino, Bulkia Rahim, and Eko Indrawan. 2021. “Optimization of CNC Turning Parameters Using Taguchi Method.” *Teknomekanik* 4(1):42–48. doi: 10.24036/teknomekanik.v4i1.11072.
- Riza, E. I., C Budiyanoro, A. W. Nugroho, Eduar Iqbal Riza, Cahyo Budiyanoro, and Aris Widyo Nugroho. 2020. “Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Material PETG Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi.” *Materials* 66–75.
- Romli, D. Seprianto, D. P. Putra, Zamheri, and M. Rasid. 2020. “The Effect of Parameters on the Process of Making Objects with Rapid Prototyping Digital Light Processing Technology on the Bending Stress.” *Journal of Physics: Conference Series* 1500(1). doi: 10.1088/1742-6596/1500/1/012027.
- Sharma, Mohit, Varun Sharma, and Prateek Kala. 2019. “Optimization of Process Variables to Improve the Mechanical Properties of FDM Structures.” *Journal of Physics: Conference Series* 1240(1). doi: 10.1088/1742-6596/1240/1/012061.
- Sobron, Lubis, and David Sutanto. 2016. “Pengaruh Posisi Orientasi Objek Pada Proses Rapid Prototyping 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Material Polymer.” *Sinergi* 20(3):229. doi: 10.22441/sinergi.2016.3.009.
- Sumardiyanto, Didit, and Setiawan Putra. 2021. “ALAT PENGOLAHAN LIMBAH FILAMENT 3D PRINT DENGAN MATERIAL POLYLACTIC ACID (PLA) 13 | P a g e.” *Jurnal Kajian Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta* 6(2):13–23.
- Syahrani, Awal, Alimuddin Sam, and Chairulnas. 2013. “Variasi Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Pada Hasil Pengelasan SM490.” *Jurnal Mekanika* 4(2):393402.
- Wibawa, Tri, Hasan Mastrisiswadi, and Ismianti Ismianti. 2020. “3DPrint Parameter Optimization: A Literature Review.” *Yogyakarta Conference Series Proceeding on Engineering and Science Series (ESS)* 1(1):146–51.
- Wuryandari, Triastuti, Tatik Widiharih, and Sayekti Dewi Anggraini. 2009. “METODE TAGUCHI UNTUK OPTIMALISASI PRODUK PADA RANCANGAN FAKTORIAL.” 2:81–92.
- Zaman, Uzair Khaleeq uz, Emilien Boesch, Ali Siadat, Mickael Rivette, and Aamer Ahmed Baqai. 2019. “Impact of Fused Deposition Modeling (FDM) Process Parameters on Strength of Built Parts Using Taguchi’s Design of Experiments.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 101(5–8):1215–26. doi: 10.1007/s00170-018-3014-6.