



Kuat Bending Hasil Cetak 3D printing Berbahan PLA-Kuningan

Bending Strength of 3D printing PLA-Brass Printing

Mahros Darsin^{1, a)}, Moh Riski Efendi¹, Gaguk Jatisukamto¹, Hari Arbiantara Basuki¹, Hary Sutjahjono¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

^{a)}Corresponding author: mahros.teknik@unej.ac.id

Abstrak

Teknologi *3D printing* merupakan sebuah alat percetakan modern yang sudah berkembang dalam dunia *manufacturing*. Dalam penelitian ini, dilakukan inovasi dengan menggunakan filamen yang terdiri dari PLA dan kuningan. Penentuan kombinasi parameter *3D printing* menjadi kunci untuk mencapai kekuatan *bending* paling optimal pada hasil cetakan. Parameter yang diatur meliputi suhu *nozzle temperature*, *print speed*, dan *layer height*. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi L4(2³), serta pengolahan data menggunakan ANOVA. Kombinasi parameter optimal pada penelitian ini menggunakan suhu *nozzle temperature* 240 °C, *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 20 mm/s dengan nilai kekuatan *bending* sebesar 8.72MPa dan terendah 2.66 MPa. Faktor yang berkontribusi terhadap nilai *bending* adalah *nozzle temperature* dan *layer height* dengan kontribusi sebesar 45.29 % dan 20.91 % keduanya memiliki pengaruh yang signifikan. Kontribusi *print speed* sebesar 9.09 % tidak signifikan.

Kata Kunci: ASTM D-7264; 3d printing; filament; pla-brass; *bending*

Abstract

3D printing technology is a modern printing tool that has developed in the world of manufacturing. In this research, an innovation was made by using filaments consisting of PLA and brass. Determining the combination of 3D printing parameters is the key to achieving the most optimal bending strength of the print. The parameters set include nozzle temperature, print speed, and layer height. This research uses the Taguchi L4(23) method, and data processing using ANOVA. The optimal parameter combination in this study used nozzle temperature 240 °C, layer height 0.2 mm and print speed 20 mm/s with the highest bending strength value of 8.72MPa and the lowest 2.66 MPa. Factors that contribute to the bending value are nozzle temperature and layer height with a contribution of 45.29% and 20.91% both have a significant influence. Print speed contribution of 9.09% is not significant.

Keywords: ASTM D-7264; 3d printing; filament; pla-brass; *bending*

PENDAHULUAN

Dalam sejarahnya, teknologi *3D printing* merupakan sebuah alat percetakan modern yang sudah berkembang dalam dunia *manufacturing* dan menjadi salah satu teknologi yang berkembang saat ini. *3D printing* pertama dipelopori oleh Charles W atau Chuck Hull pada tahun 1984. Hideo Kodama dari Nagoya Municipal Industrial Research Institute telah berhasil mencetak benda padat pertama dari desain digital secara langsung melalui *3D printing* (Rusianto dkk., 2019). Perkembangan *3D printing* tidak terlepas dari berkembangnya *software* desain yang memungkinkan membuat model tiga dimensi. Pembuatan model yang sangat cepat dari suatu model *Computer Aided Design* (CAD) merupakan tuntutan yang

sangat penting mengingat proses pembuatan produk membutuhkan waktu yang lebih pendek (Lee dkk., 2017).

Dalam teknologi *3D printing* atau dikenal *Additive Manufacturing* (AM) terdapat beberapa teknik yang dapat digunakan, salah satunya adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM). FDM ini banyak digunakan karena mudah diimplementasikan pada skala produksi yang kecil dan biaya yang diperlukan cukup murah (Kesavarma dkk., 2020). Pada FDM *3D printing*, filamen akan dipanaskan kemudian diekstrusi melalui ujung *nozzle* dan bergerak mengikuti sumbu X dan sumbu Y hingga membentuk sebuah produk yang telah didesain dengan *software* CAD. FDM dapat menjadi persiapan yang membangun bagian-bagian dari geometri apa pun dengan deposisi bahan yang berurutan pada lapisan demi lapisan (Rayegani, 2014).

Meskipun proses lapis demi lapis ini dapat membuat bentuk yang rumit, akan tetapi masih banyak juga kelemahan seperti waktu pembuatan yang lama, permukaan yang tidak rata, dan kekuatan mekanik yang kurang baik (Jin dkk., 2015). Sudah banyak digunakan di dalam dunia manufaktur seperti percetakan skala kecil hingga skala besar, mencetak prototipe hingga produk fungsional, serta kegiatan penelitian (Lubis dkk., 2016). Pada prinsip FDM merupakan teknik mendorong filamen keluar dari *nozzle* yang panas sehingga meleburkan filamen. Teknik FDM sudah banyak digunakan karena pengoperasiannya yang mudah, biaya yang lebih rendah dalam proses produksi, dan sifatnya yang ramah lingkungan (Aris dkk., 2020).

Beberapa jenis material yang dapat digunakan pada 3D printing FDM ini umumnya dari jenis plastik, seperti *polylactic acid or polylactide* (PLA), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS). PLA adalah polimer termoplastik *biodegradable*, dan kompos yang berasal dari sumber tanaman terbarukan, seperti tanaman yang mengandung pati dan gula. PLA dianggap dapat menjadi solusi untuk mengurangi pembuangan limbah dan ketergantungan pada plastik berbasis minyak bumi untuk bahan kemasan (Lim dkk., 2008). Bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuningan. Kuningan yaitu dapat menghantarkan panas dengan baik. Kuningan banyak digunakan pada berbagai industri dikarenakan memiliki sifat mampu bentuk yang baik, ketahanan terhadap korosi yang tinggi, rasio kekuatan terhadap berat, serta memiliki sifat yang ulet (Trivedi M, 2015).

Penelitian sebelumnya oleh (Darsin dkk..2023) telah dilakukan uji tarik filamen tunggal PLA dan kuningan. Variasi yang digunakan pada saat ekstrusi yaitu *temperature barrel* (950 °C dan 1000 °C), komposisi kuningan dan PLA (10g/20g dan 10/30 g), dan kecepatan roller (2.70 mm/s dan 3.02 mm/s). Dengan parameter kombinasi *temperature barrel* 1000 °C komposisi kuningan dan PLA 10/30 g dan kecepatan *roller* 2.7 mm/s merupakan hasil uji tarik spesimen tunggal dengan nilai paling besar yaitu 4.56 MPa. Penelitian sebelumnya oleh (Darsin dkk..2022) dengan bahan Cu-PLA menyatakan bahwa kekuatan lentur maksimal sebesar 43,6 MPa diperoleh saat menggunakan parameter kombinasi suhu *nozzle* 240 °C, tinggi lapisan 0,4 mm, pola pengisi *octet*. Faktor yang menyebabkan lentur secara berurutan adalah suhu *nozzle*, tinggi lapisan, dan pola pengisi berkontribusi pada persentase masing-masing 57,66 %, 15,22 %, dan 0,44 %.

Menurut penelitian (Ilham dkk, 2022) untuk bahan ABS, didapatkan nilai *flexural strength* tertinggi pada spesimen dengan kombinasi parameter *nozzle temperature* 220 °C dan *layer height* 0.1 mm dengan nilai 57.78 MPa. Sedangkan untuk nilai *flexural strength* terendah yaitu pada spesimen 2 dengan kombinasi parameter *nozzle temperature* 220 °C dan *layer height* 0.2 mm dengan nilai 52.12 MPa.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah membahas pengujian sifat mekanik campuran filamen PLA + aluminium yang telah dilakukan dengan parameter variasi *extruder temperature* (200 °C – 230 °C), *bed*

temperature (60 °C – 70 °C) dan *layer height* (0.10 – 0.30 mm). Hasil optimal yang didapatkan dalam pengujian tarik dan *impact* adalah *extruder temperature* (220 °C) dan *bed temperature* (60 °C). (Sakthivel dkk., 2020)

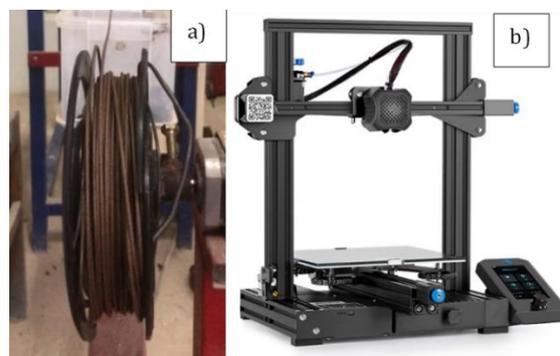
Adapun alasan pemelihan penelitian ini karena penelitian sebelumnya (Darsin dkk..2023) hanya pembuatan filamen saja dan dalam penelitian ini meneruskan sampai proses percetakan menggunakan mesin 3D printing dan kemudian dilanjutkan pengujian *bending* spesimen PLA-kuningan.

METODE DAN BAHAN

Proses pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan pengujian *bending* (uji tekuk) untuk mengetahui kekuatan lentur maksimum dari spesimen 3D printing dengan material PLA-kuningan. Spesimen pengujian *bending* berjumlah 12 spesimen dengan 4 kombinasi, setiap kombinasi masing-masing dilakukan 3 kali replikasi sesuai dengan matriks orthogonal L4(2³) (Soejanto, 2009). Parameter yang digunakan pada proses percetakan yaitu *nozzle temperature*, *layer height*, dan *print speed*, dimana setiap parameter terdiri dari 2 level. Untuk *nozzle temperature* (230°C dan 240°C), *layer height* (0,2 mm dan 0,3mm), dan *print speed* (20mm/s dan 30mm/s). Mesin yang digunakan untuk pengujian *bending* adalah mesin uji universal HT-2402. Uji *bending* dianalisis dengan metode Taguchi dan ANOVA untuk mengetahui pengaruh dari variasi parameter dan parameter optimal setiap level. Sebagai tambahan, dilakukan analisis fraktografi dan struktur mikro.

Alat dan Bahan

Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi parameter 3D printing terhadap kekuatan *bending*. Filamen yang dipakai yaitu campuran PLA-kuningan yang dibuat sendiri. PLA berbentuk granul dengan ukuran 8 mesh dan serbuk kuningan dengan ukuran 100 mesh. Komposisi untuk membuat filamen yaitu 60 % PLA dan 40 % kuningan. Hasil ekstrusi filamen kemudian dicetak dengan mesin 3D printing Ender 3 V2. Gambar filamen dan mesin 3D printing dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. a) Filament PLA-kuningan, b) mesin 3D printing

Parameter

Parameter kontrol penelitian ini yaitu *nozzle temperature*, *layer height* dan *print speed*. Variasi nilai

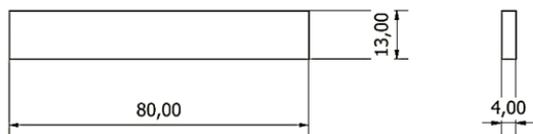
pada setiap level parameter didapatkan dari sebelum eksperimen dan penelitian pada jurnal sebelumnya. Variasi parameter pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi parameter

Faktor kendali	Parameter	Level 1	Level 2
A	Nozzle temperature	230 °C	240 °C
B	Layer height	0,2 mm	0.3 mm
C	Print speed	20 mm/s	30 mm/s

Pemilihan Dimensi

Pembuatan desain ini menggunakan software Autodesk Inventor 2012. Hasil desain disimpan dalam format.stl agar dapat dilakukan proses slice pada software Prusa Slicer v2.0.0 nantinya. Pemilihan dimensi pengujian *bending* sesuai standard ASTM D7264 Skema sampel pengujian *bending* berdasarkan ASTM D7264 disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain spesimen uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

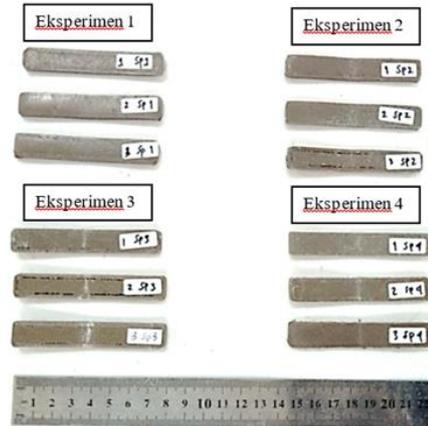
Hasil

Untuk pembuatan spesimen dalam penelitian ini menggunakan dua tahap, yang pertama membuat filamen dengan mesin *ektruder*, dan yang kedua tahap pembuatan spesimen menggunakan mesin *3D printing*. Untuk pembuatan filamen bahan yang digunakan berupa PLA-kuningan dengan perbandingan PLA 60% dan 40% serbuk kuningan. Dengan pengaturan suhu pada *band heater* 180 °C dan 190 °C. Hasil dari ekstrusi filamen yang dipakai untuk percetakan *3D printing* berdiameter 1.75 ± 0.05 mm. hasil ekstrusi filamen dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Filamen PLA-kuningan

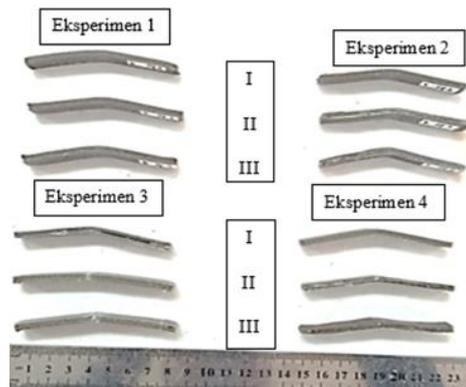
Spesimen yang berbahan dasar PLA dan kuningan yang telah selesai dicetak dengan menggunakan mesin *3D printing* dapat dilihat pada Gambar 4.



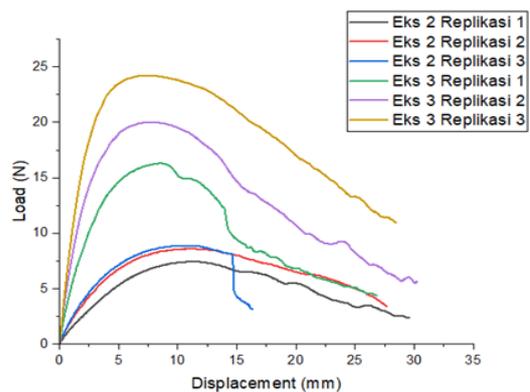
Gambar 4. Spesimen uji

Analisis Taguchi

Spesimen mengalami kegagalan atau patah pada bagian tengah. Hal ini karena pembebanan diberikan pada titik tengah spesimen. Spesimen uji *bending* ASTM D7264 berdasarkan kombinasi dan replikasi (angka romawi) setelah pengujian *bending* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Spesimen hasil uji *bending*



Gambar 6. Grafik uji *bending*

Gambar 6. menjelaskan bahwa nilai tertinggi didapatkan pada eksperimen 3 replikasi 3 dengan nilai *max force* sebesar 24.2 N dan nilai terendah pada eksperimen 2 replikasi 1 dengan nilai *max force* sebesar 7.4 N. Hasil dari pengujian tersebut kemudian diolah dengan rumus berikut.

$$\sigma = \frac{3 P L}{2 l t^2}$$

Keterangan:

- σ = Tegangan *bending* (MPa)
- P = Load (N)
- L = Jarak span (mm)
- l = Lebar spesimen (mm)
- t = Tebal spesimen (mm)

Hasil dari pengolahan data hasil uji *bending* dapat dilihat pada Tabel 2. Pada penelitian kali ini menggunakan S/N Rasio *Larger is Better*, karena semakin besar nilai kekuatan *bending* semakin baik. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2 kolom 9.

Berdasarkan pada data hasil pengujian *bending* yang ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai pengujian *bending* terkecil adalah 2,66 MPa pada kombinasi ke-2 dengan *nozzle temperature* 230°C, *layer height* 0,3 mm dan *print speed* 30 mm/s. Sedangkan nilai pengujian *bending* terbesar adalah 7,13 MPa pada kombinasi ke-1 dengan *nozzle temperature* 240°C, *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 30 mm/s.

Tabel 2. Hasil Pengujian

No. Eksperimen	Parameter Kendali			Nilai Kuat <i>Bending</i> (MPa)			Rata-rata (MPa)	S/N Rasio
	Nozzle Temperature (°C)	Layer Height (mm)	Print Speed (m/s)	Replikasi				
				I	II	III		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	230	0.2	20	4.61	5.84	7.13	5.86	14.95
2	230	0.3	30	2.66	3.10	3.20	2.99	9.42
3	240	0.2	30	5.87	7.21	8.72	7.27	16.89
4	240	0.3	20	8.14	6.02	5.87	6.68	16.21

Analisis S/N Rasio

Rasio S/N (rasio *Signal-to-Noise*) merupakan rasio antara *signal* (faktor yang dapat dikendalikan) dengan *noise* (faktor yang tidak dapat dikendalikan). Rasio ini mengukur level kinerja terhadap level faktor gangguan pada kinerja. Rasio ini mengevaluasi stabilitas kinerja dengan karakteristik *ouput*. Kinerja yang baik dapat diukur dari tingginya rasio S/N. Pada penelitian ini digunakan karakteristik kualitas *large is better*, karena semakin tinggi kekuatan lentur yang dihasilkan, maka semakin baik kualitas produknya. Berikut contoh perhitungan S/N rasio dari parameter *nozzle temperature* level 1 sebagai berikut:

$$\bar{A}_I = \frac{14.95+9.42}{2}$$

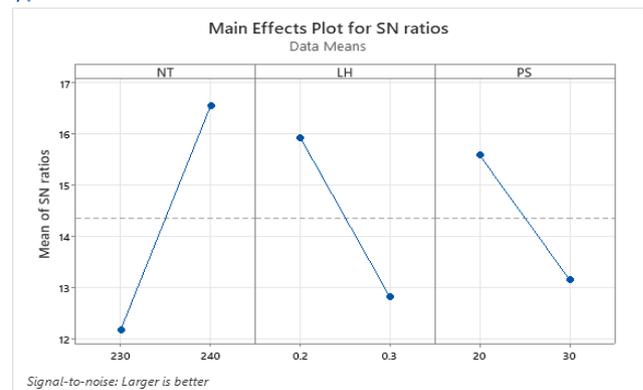
$$\bar{A}_I = 12.18$$

Hasil perhitungan S/N rasio terhadap kekuatan *bending* dari masing-masing level dan faktor dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. S/N Rasio *larger is better*

Level	Nozzle temperature	Layer height	Print speed
1	12.18	15.92	15.58
2	16.55	12.82	13.15
Delta	4.37	3.10	2.43
Rank	1	2	3

Plot S/N rasio *larger is better* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Plot *larger is better*

Dari Gambar 7, parameter optimal pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter optimal

Faktor kendali	Level	Nilai
Nozzle temperature	2	240°C
Layer height	1	0.2 mm
Print speed	1	20 mm/s

Analisis ANOVA

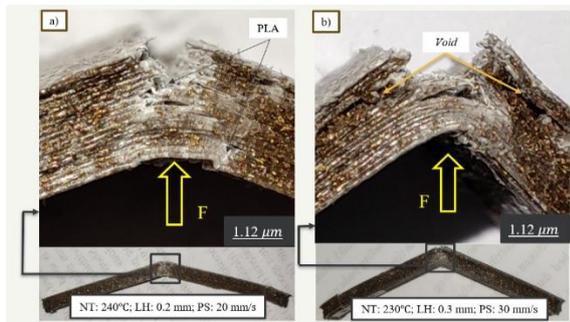
ANOVA (*Analysis of Variance*) merupakan metode analisis yang digunakan untuk memperkirakan besar kontribusi dari setiap faktor pada pengukuran respon. Model analisis pada penelitian kali menggunakan varian dua arah yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat (*Sum of Square*), rata-rata jumlah kuadrat dan F value. Konsep analisis variansi didasarkan pada konsep distribusi F dan dapat diaplikasikan untuk analisis hubungan antara berbagai variabel yang diamati. ANOVA pada penelitian kali ini dihitung berdasarkan data *means*. Berikut perhitungan ANOVA dua arah terhadap hasil kekuatan *bending*. Dari hasil perhitungan ANOVA, pengaruh parameter kontrol terhadap uji *bending* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Anova

Parameter Kontrol	DO F	SS	MS	F value	P	Kontribusi
Nozzle Temperature	1	19.48	19.48	14.66	Signifikan	45.29 %
Layer Height	1	8.99	8.99	6.77	Signifikan	20.91 %
Print Speed	1	3.91	3.91	2.94	Not Signifikan	9.09 %
Error	8	10.63	1.33	1	Signifikan	24.71 %
STotal	11	43.01	33.71	24.37		100.00 %

Analisis Fraktografi

Fractography adalah ilmu metalurgi fisik yang mempelajari permukaan patahan (Amin, 2017). Informasi penting mengenai sifat patah suatu bahan dapat diamati melalui pemeriksaan mikroskopi permukaan patah. Penelitian ini menghasilkan fenomena patahan pada spesimen yang telah diuji *bending*. Dapat dilihat fraktografi pada Gambar 8.



Gambar 8. Fraktografi spesimen dengan nilai *bending*, a) tertinggi, b) terendah

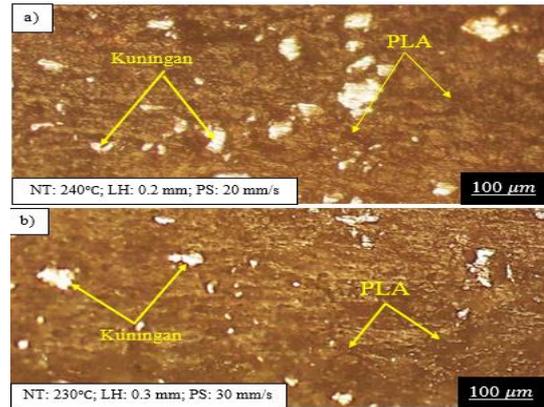
Analisis fraktografi dilakukan pada spesimen yang memiliki nilai kekuatan *bending* terbesar dengan nilai sebesar 8.72 MPa dan spesimen dengan nilai kekuatan terendah sebesar 2.66 MPa. Pemilihan ini digunakan untuk membandingkan fraktur antara spesimen dengan kekuatan *bending* tertinggi dan terendah, menunjukkan fraktur dari spesimen yang mengalami pengujian *bending*.

Pada Gambar 8a (kekuatan *bending* tertinggi) menunjukkan susunan lapisan yang padat dan ulet tidak mengalami patah, pada bagian warna putih menunjukkan PLA yang mengalami deformasi. Selanjutnya pada Gambar 8b (kekuatan *bending* terendah) memperlihatkan terdapat void. Hal ini terjadi karena ketidak sempurnaan dalam proses percetakan. Semakin banyak void akan mengurangi nilai kekuatan *bending* pada spesimen.

Analisis Struktur Mikro

Analisis struktur mikro yang dilakukan dalam penelitian ini menampilkan dua spesimen dengan hasil uji *bending* tertinggi dan terendah untuk membandingkan

hasil dari pembuatan spesimen melalui mesin 3D printing (Gambar 9).



Gambar 9. Struktur mikro dengan nilai rata-rata kekuatan *bending*, a) tertinggi, b) terendah

Pembahasan Pengaruh Parameter

Pengaruh Nozzle Temperature terhadap Kekuatan Bending

Nozzle temperature merupakan faktor yang paling berpengaruh signifikan terhadap sifat lentur material hasil cetak 3D printing. Pada penelitian ini, kontribusi nozzle temperature memiliki persentase parameter dengan pengaruh yang paling tinggi, yaitu sebesar 45.29%. Hal ini dikarenakan nozzle temperature berpengaruh secara langsung dalam proses ikatan layer by layer. Pada saat proses percetakan pada suhu 240°C filamen akan meleleh lebih sempurna sehingga lapisan mengikat lebih kuat pada lapisan sebelumnya dan memiliki nilai kekuatan *bending* yang tinggi. Penelitian sebelumnya dilakukan (Darsin dkk., 2022) yang memiliki kesimpulan bahwa nozzle temperature sangat mempengaruhi kekuatan *bending* pada proses 3D printing karena nozzle temperature berperan dalam ikatan tiap lapisan.

Pengaruh Layer Height terhadap Kekuatan Bending

Parameter layer height menjadi faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan pada pengujian ini dengan faktor kontribusi sebesar 20.91%. Layer height dapat mengatur tinggi lapisan dan menentukan seberapa tebal tiap lapisan dalam spesimen cetak. Semakin kecil lapisan akan menyebabkan semakin banyak jumlah lapisan yang menyusun produk cetak dan meningkatkan kekuatan *bending*. Layer height yang semakin tipis juga memperkecil terjadinya porositas, dikarenakan semakin rapatnya jarak antar lapisan. Pernyataan ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ilham dkk., 2022) dimana dalam penelitian tersebut dinyatakan bahwa semakin rapat jarak antar lapisan maka ikatan tiap layer juga akan semakin kuat dan akan menghasilkan kekuatan yang semakin tinggi pula.

Pengaruh Print Speed terhadap Kekuatan Bending

Parameter ini berfungsi sebagai pengatur seberapa cepat atau lambatnya proses percetakan spesimen. Pada penelitian kali ini sesuai dengan Tabel 4 *print speed* memberikan kontribusi sebesar 9.09% dan parameter *print speed* yang telah dipilih memiliki level yang paling optimal pada kecepatan 20 mm/s. *print speed* yang tinggi akan menyebabkan ikatan lapisan tidak menempel dengan maksimal, sehingga struktur cetakan kurang padat dan tidak sesuai dengan desain. Untuk mendapatkan hasil yang lebih bagus *print speed* harus diatur lebih lambat agar pada saat mengekstrusi filamen dapat mengisi dengan baik. Hal ini didukung oleh penelitian (Butt dkk., 2021) menyatakan bahwa *print speed*, berpengaruh terhadap hasil kekuatan *bending* karena akan mempengaruhi struktur dari spesimen.

PENUTUP

Simpulan

Kesimpulan yang di dapat dari penelitian uji *bending* spesimen *3D printing* dengan filamen PLA-Kuningan dengan variasi faktor *nozzle temperature*, *layer height*, dan *print speed* adalah sebagai berikut. Pertama, didapatkan faktor yang berkontribusi terhadap nilai *bending* spesimen *3D printing* adalah *nozzle temperature* dan *layer height* dengan kontribusi sebesar 45.29% dan 20.91% keduanya memiliki pengaruh yang signifikan. Untuk kontribusi *print speed* adalah 9.09% dan berpengaruh tidak signifikan. Adapun kontribusi error yang terjadi adalah 24.71%. Kedua, kombinasi parameter yang dapat menghasilkan nilai *bending* yang baik berdasarkan perhitungan menggunakan Metode Taguchi adalah menggunakan *nozzle temperature* 240 °C, *layer height* 0.2 mm, dan *print speed* 20 mm/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amin, A., Pengaruh Variasi Temperatur Interpass Terhadap Struktur Mikro dan Fraktografi Haz Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper Bead Welding Pada Baja Karbon Sedang, Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 1(2), 2017.
- [2] Aris, M. A. I. Z., Mat, S., Sam, M. S., Ramli, F. R., Alkahari, M. R., & Kudus, S. I. A., Design And Development Of 3D Printer Filament Extruder. Proceedings of Mechanical Engineering Research Day, 2020, 293-294, 2020.
- [3] Butt, J., Bhaskar, R., & Mohaghegh, V., Investigating The Effects Of Extrusion Temperatures And Material Extrusion Rates On FFF-Printed Thermoplastics. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 117(9-10), 2679-2699., 2021, <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07850-5>.
- [4] Darsin, M., Amir, R. L., Sutjahjono, H., Ramadhan, M., Hermawan, Y., & CHOIRON, M., The Effect of *Nozzle Temperature*, *Layer Height*, and *Infill Pattern* on Dimensional Accuracy and Flexural Strength of 3D Printed Cu-PLA Filaments. Advanced Engineering Science, 54(03), 2022.
- [5] Ilham, A., Arafat, A., Rifelino, R., & Nurdin, H., Pengaruh *Nozzle Temperature* dan *Layer Height* Hasil 3D *printing* terhadap Uji *Bending* Material ABS. Jurnal Vokasi Mekanika, 4(1), 144-150, 2022.
- [6] Jin, Y. A., Li, H., He, Y., & Fu, J. Z., Quantitative Analysis of Surface Profile in Fused Deposition Modelling. Additive Manufacturing, 8, 142-148, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.10.001>.
- [7] Kesavarma, S., Lee, E. H., Samykano, M., Kadirgama, K., Rahman, M. M., & Sofiah, A. G. N. (2020, April). Flextural Properties of 3D Printed Copper-Filler Poly(lactic Acid) (Cu-PLA). In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering ,Vol. 788, No. 1, p. 012051),April. 2020, IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/788/1/012051>.
- [8] Lee, J. Y., An, J., & Chua, C. K., Fundamentals and applications of 3D *printing* for novel materials. In Applied Materials Today, Vol. 7, pp. 120-133, 2017, ElsevierLtd.<https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.02.004>.
- [9] Lim, L. T., Auras, R., & Rubino, M., Processing technologies for poly(lactic acid). In Progress in Polymer Science (Oxford), Vol. 33, Issue 8,pp.820-852,2008,<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004>.
- [10] Lubis, S., Djamil, S., & Yolanda, Y., Pengaruh orientasi objek pada proses 3D *printing* bahan polymer pla dan abs terhadap kekuatan tarik dan ketelitian dimensi produk. Sinergi, 20(1), 27-35, 2016.
- [11] Rayegani, F., & Onwubolu, G. C., Fused deposition modelling (fdm) process parameter prediction and optimization using group method for data handling (gmdh) and differential evolution (de). International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 73 (1-4),509-519,2014,<https://doi.org/10.1007/s00170-014-5835-2>.
- [12] Rusianto, T., Huda, S., & Wibowo, H, A riview: jenis dan pencetakan 3d (3d *printing*) untuk pembuatan prototipe. Jurnal Teknologi, 12(1), 14-21, 2019 <https://aaq.auburn.edu/node/9907/take>.
- [13] Sakthivel, N., Bramsch, J., Voung, P., Swink, I., Averick, S., & Vora, H. D., Investigation of 3D-printed PLA-stainless-steel polymeric composite through fused deposition modelling-based Additive Manufacturing process for biomedical applications. Medical Devices & Sensors, 3(6), 2020, e10080. <https://doi.org/10.1002/mds3.10080>.
- [14] Soejanto, I, Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.
- [15] Trivedi, M., Nayak, G., Patil, S., Tallapragada, R. M., Latiyal, O., & Jana, S.Characterization of Physical and Structural Properties of Brass Powder after Biofield Treatment. Powder Metallurgy & Mining, 1(4),2015, <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9806.1000134> .