

OPTIMASI PARAMETER 3D PRINTING TERHADAP WAKTU DAN WARPING DENGAN PENDEKATAN METODE TAGUCHI

Hideaki Mase¹⁾, Agus Halim²⁾ dan Erwin Siahaan³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia

^{2,3)}Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia

e-mail: ¹⁾hideaki.515180016@stu.untar.ac.id, ²⁾agush@ft.untar.ac.id, ³⁾erwins@ft.untar.ac.id

Abstract: Fused Deposition Modeling (FDM) is one of the most popular 3D printing technology that used at academic and business purposes due to the easiness of the manufacture process that it held. But, one of the most major problems that usually occur in the industry is the frequentness of damaged and deficiency on the result of printing, especially when it is printed using the ABS filament. Although, ABS is one of the filaments which has a lower cost compared to others, but has a bigger value per gram on the printing sectors compared to PLA filaments. It could be a good business prospect if it can be handled on the problems. Therefore, the knowledge on how to prevent the problems, and finding an efficiency on the various of infill pattern, would be one of the key of success in this industry. In this article, a research on finding optimum parameters against the time and quality of the product using the Taguchi method, and also ASTM D-638 is also needed to find the best infill pattern against the tensile strength that an ABS filament have on the mechanical properties. As a result, the parameters, nozzle temperature and bed temperature have a small impact on producing time, but have a greater impact on the quality of printing product. Besides, the infill pattern which has the biggest tensile strength on smaller density is Trihexagon. Meanwhile, the Lines infill has the biggest standard of deviation, which endure the most stress on the bigger density compared to Triangles and Trihexagon.

Keywords: ABS, ASTM, Fused Deposition Modeling (FDM), Infill Pattern, Taguchi Method

Nomenklatur

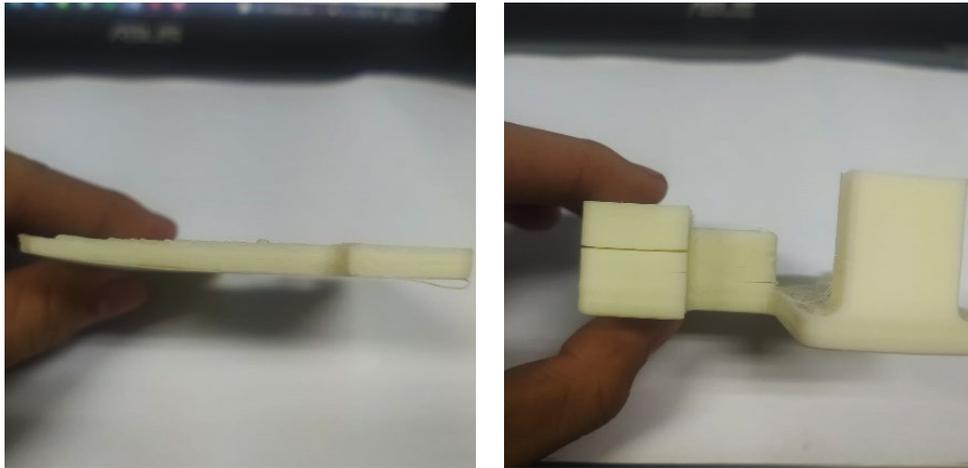
Symbol	Pengertian (Satuan)	Symbol	Pengertian (Satuan)
h	Tinggi Layer (mm)	v	Kecepatan Gerak Nozzle (mm/s)
T_N	Temperatur Nozzle (°C)	Y atau y	Deformasi Warping (mm)
T_B	Temperatur Bed (°C)	ρ	Massa Jenis (%)

PENDAHULUAN

3D printing merupakan salah satu metode manufaktur yang banyak digunakan untuk *rapid prototyping* bahkan juga dapat digunakan untuk pembuatan suatu produk. Seperti yang dilakukan oleh perusahaan manufaktur asal Inggris, *Reynolds*, yang membuat sepeda berbahan dasar *stainless steel* dan titanium dengan metode *3D printing* [1]. Namun pada umumnya, teknologi *3D printing* menggunakan bahan cetak berupa termoplastik atau resin, yang dibentuk dengan cara dilelehkan. Berbeda dengan proses *casting* yang membutuhkan cetakan atau *dies* untuk mencetak produk, teknologi ini memiliki kelebihan, di mana tidak membutuhkan cetakan untuk proses pencetakan, sehingga bentuk hasil produk dapat divariasikan.

Pada penelitian kali ini, akan difokuskan pada *3D printing* tipe FDM (*fused deposition modeling*), yang di mana proses pencetakan dilakukan melelehkan filamen termoplastik, kemudian disuntikkan keluar melalui *nozzle*, untuk kemudian membentuk lapisan per lapisan, yang akan mendingin dan mengeras seiring berjalannya waktu [2]. Filamen termoplastik yang umum digunakan pada proses pencetakan FDM adalah jenis PLA dan ABS [3]. Namun saat ini, jenis filamen yang umum digunakan pada sektor FDM *3D printing* adalah filamen PLA. Hal ini dikarenakan, PLA memiliki resistansi yang cenderung lebih tinggi terhadap kecacatan dan kerusakan yang terjadi selama proses pencetakan, jika dibandingkan dengan kedua filamen lainnya [4].

Kerusakan yang sering ditemukan pada hasil cetakan *3D printing* dapat dilihat pada Gambar 1 seperti berikut:



(a) (b)
Gambar 1. Kecacatan jenis (a) *Warping*, (b) *Cracking*

Jenis-jenis kecacatan di atas adalah yang paling umum terjadi dalam sektor *3D printing*. Namun, tidak semua filamen mengalami kecacatan seperti Gambar 1. Filamen yang paling rentan terhadap terjadinya kecacatan yakni filamen ABS [4].

Tabel 1. Sifat mekanik ABS dan PLA [5]

Material	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
ABS	1.01-1.20	22.1-74.0	0,2-5,50
PLA	1.24	60	3,80

Ketika melihat perbandingan sifat mekanik antara ABS dan PLA seperti pada Tabel 1, ABS memiliki massa jenis yang lebih kecil dari pada PLA, namun dapat menghasilkan nilai *tensile strength* yang lebih tinggi.

Selain itu, setelah dilakukan riset pasar dari beberapa *platform* toko jual beli *online* seperti Tokopedia dan Shopee, diperoleh data perbandingan rata-rata harga filamen ABS dan PLA sebagai berikut:

Tabel 2. Perbandingan harga ABS dan PLA (Tokopedia dan Shopee)

Material	Harga Beli Filamen (Rp/Kg)	Harga Jual (Rp/g)
ABS	149,500	875
PLA	171,200	630,5

Dapat dilihat pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa harga dari filamen ABS lebih murah dibandingkan dengan PLA, namun memiliki nilai jual yang lebih tinggi. Hal ini diperkirakan terjadi akibat filamen ABS, memiliki tingkat kesulitan yang lebih tinggi dalam proses pencetakan untuk menghasilkan hasil yang maksimal jika dibandingkan dengan PLA, karena cenderung lebih sering ditemukan kerusakan atau kecacatan pada filamen ABS.

Namun, apabila hal ini dapat dimanfaatkan dengan baik, maka sektor *3D printing* yang menggunakan filamen ABS dapat dioptimalkan sebagai ladang bisnis. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada filamen ABS, dan bertujuan untuk mencari parameter yang optimal saat hendak melakukan proses pencetakan *3D printing* untuk meminimalisir terjadinya kecacatan pada hasil cetakan. Kemudian akan dicari juga pola *infill* yang telah divariasikan dengan massa jenis yang berbeda-beda, yang bertujuan mencari besar *tensile strength* dari masing-masing spesimen, agar dapat digunakan sebagai referensi saat hendak melakukan proses pencetakan.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian kali ini, akan dilakukan dua penelitian yang berbeda, yaitu pencarian parameter optimal dengan pendekatan *orthogonal array* metode taguchi, kemudian pengujian ASTM D-638 untuk pola *infill* dan massa jenis yang berbeda.

Optimasi Parameter dengan Metode Taguchi

Dalam penelitian kali ini, metode yang akan digunakan untuk menganalisis optimasi parameter adalah dengan menggunakan Metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan salah satu jenis dari metode *Design on Experiment* (DoE) yang sering digunakan untuk meningkatkan kualitas dari proses analisis dan produksi [6]. Dalam proses penelitian yang akan dilakukan, akan disiapkan beberapa sampel dengan parameter yang diatur berbeda satu sama lain, sehingga akan membutuhkan beberapa spesimen yang harus dicetak satu per satu.

Tabel 3 merupakan parameter yang akan dijadikan acuan untuk mencari parameter yang paling optimal. Pada penelitian kali ini, parameter yang akan divariasikan antara lain tinggi *layer* (h), temperatur *nozzle* (T_N), temperatur *bed* (T_B), dan kecepatan gerak *nozzle* (v). Masing-masing divariasikan dalam 3 level seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter penelitian

<i>Parameters</i>	<i>Units</i>	<i>Levels</i>		
		1	2	3
h	mm	0,18	0,2	0,25
T_N	°C	240	245	250
T_B	°C	100	105	110
v	mm/s	50	55	60

Untuk meminimalisir waktu, dilakukan pendekatan eliminasi secara *orthogonal array*. Pendekatan *orthogonal array* sendiri berfungsi untuk mencari kombinasi parameter dengan variabel yang berbeda-beda, dalam jumlah minimum yang dibutuhkan untuk dilakukan proses analisis dengan Metode Taguchi [7]. Maka didapatkan *experimental plan* sebagai berikut:

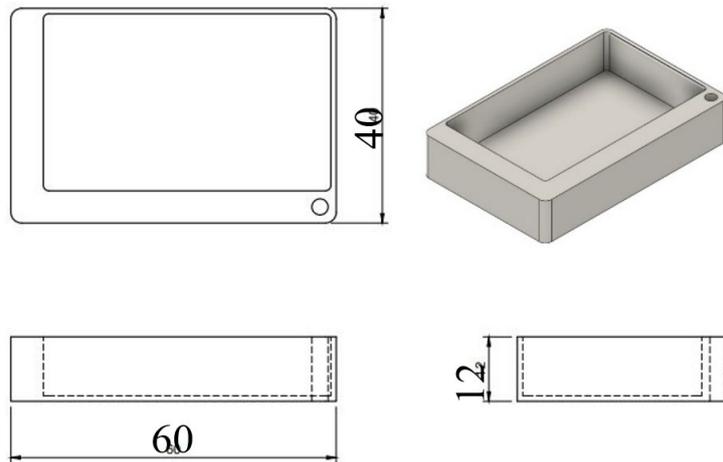
Tabel 4. *Experimental plan*

Percobaan	Level dan Parameter			
	h	T_N	T_B	v
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Didapatkan total pengujian yang dibutuhkan adalah sebanyak 9 kali, dengan level dari masing-masing parameter mengacu pada Tabel 3.

1. Model Spesimen

Setelah mendapatkan parameter yang akan diteliti, kemudian dibentuk model spesimen yang akan dicetak untuk dilakukan penelitian, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.

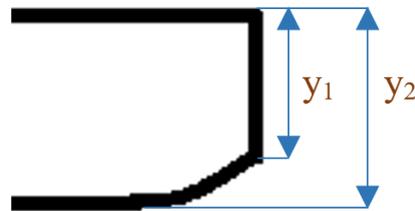


Gambar 2. Spesimen penelitian parameter

Model spesimen dibuat berbentuk kuboid, dengan masing-masing sisi dinding yang divariasikan dengan ketebalan 3mm dan 6mm seperti pada Gambar 2. Hal ini dikarenakan, kecacatan pada hasil *3D printing* cenderung lebih sering ditemukan pada model berbentuk persegi atau bujur sangkar [8].

2. Pengukuran *Warping*

Untuk pengukuran deformasi yang terjadi akibat *warping*, maka metode pengukuran menggunakan jangka sorong digital dengan tingkat ketelitian 0,01mm dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan persamaan berikut [8]:



Gambar 3. Metode pengukuran *warping*

$$\text{Deformasi Warping } (y) = y_2 - y_1 \quad (1)$$

Pengukuran deformasi *warping* akan dilakukan pada keempat sisi dari kuboid pada Gambar 3, kemudian dari masing-masing pengujian spesimen, akan dicari nilai y rata-rata.

Pengujian ASTM D-638

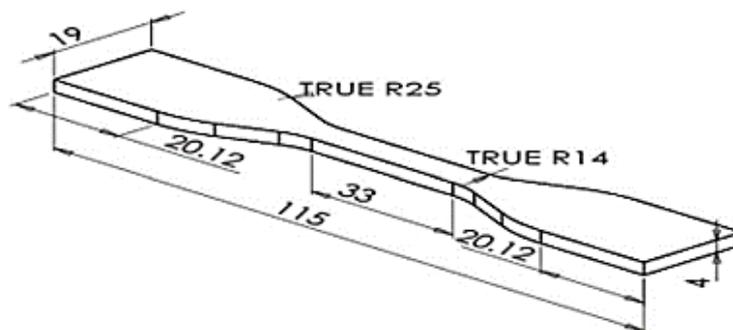
Untuk mengetahui besar *tensile strength* yang dimiliki oleh filamen ABS setelah diekstrusi, maka akan dilakukan pengujian ASTM D-638 dengan *Universal Testing Machine* (UTM) yang ada pada laboratorium metalurgi fisik, Universitas Tarumanagara.

1. *Dog Bone Specimen*

Guna melakukan pengujian ASTM D-638, maka akan dicetak spesimen berbentuk seperti tulang anjing atau *dog bone specimen* dengan standar tipe-IV [9] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5:



Gambar 4. *Universal testing machine*



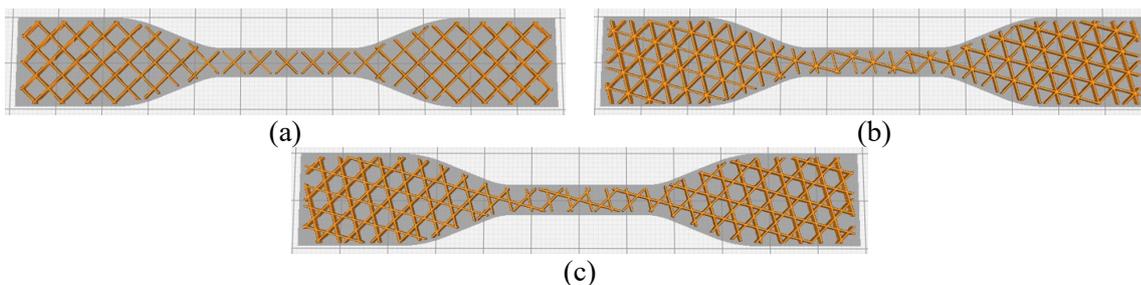
Gambar 5. Spesimen ASTM D-638 type IV [10]

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5, spesimen uji tarik ASTM D-638 Type IV memiliki tebal 4mm, dengan *gauge length* sebesar 33mm.

2. Variasi Pola *infill*

Untuk mencari efisiensi pada hasil cetakan, maka dilakukan variasi pola *infill* untuk mengetahui besar tegangan yang mampu diterima, agar dapat dijadikan referensi ketika hendak mencetak model.

Variasi *infill* yang akan dilakukan kali ini, dibagi menjadi tiga macam pola *infill*, yaitu *Lines*, *Triangles*, dan *Trihexagon* [11] seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6. Masing-masing *infill* akan diuji tarik dengan variasi *density* sebagai berikut: 10%, 30%, 50%, dan 70%. Untuk pengaturan pola *infill* dan *density* dilakukan pada *software Ultimaker Cura*.



Gambar 6. Pola *Infill* (a) *Lines*, (b) *Triangles*, dan (c) *Trihexagon*

Tabel 5. Spesimen ASTM D-638 type IV

No.	Infill Pattern	Density (%)
1	Lines	10
2	Lines	30
3	Lines	50
4	Lines	70
5	Triangle	10
6	Triangle	30
7	Triangle	50
8	Triangle	70
9	Trihexagon	10
10	Trihexagon	30
11	Trihexagon	50
12	Trihexagon	70

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan penelitian parameter untuk mencari optimisasi terhadap *warping* dan waktu pencetakan, beserta juga pengujian ASTM D-638 untuk mencari *tensile strength* dari masing-masing pola *infill*, maka akan dilakukan analisa untuk mencari parameter beserta pola *infill* yang paling optimal ketika hendak melakukan proses pencetakan.

Optimasi Parameter terhadap *Warping* dan Waktu Pencetakan

Setelah dilakukan pencetakan dan pengukuran deformasi *warping*, maka didapatkan data seperti Tabel 6 berikut:

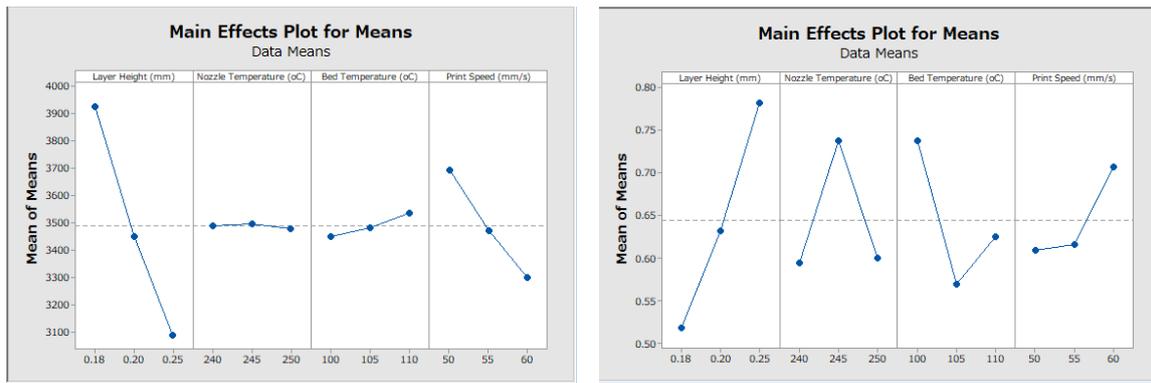
Tabel 6. Hasil cetakan terhadap waktu dan *warping*

Specimen No.	t (s)	Y _{ave} (mm)
1	4,098	0,5275
2	3,910	0,51
3	3,774	0,5175
4	3,254	0,57
5	3,710	0,6725
6	3,386	0,6525
7	3,120	0,685
8	2,867	1,0325
9	3,277	0,63

Digunakan *loss function* untuk mencari mean dari standar deviasi, dengan ketentuan *signal* untuk nilai yang diinginkan dan *noise* untuk nilai yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, akan dicari *S/N ratio* berdasarkan hasil pada Tabel 6, dengan waktu dan *warping* sebagai *signal*. Pada penelitian kali ini, nilai *S/N ratio* menggunakan ketentuan *smaller is better* dengan rumus seperti berikut:

$$\frac{S}{N} \text{ Ratio} = -10 \log \frac{1}{n} \sum R^2 \quad (2)$$

Di mana, n adalah jumlah data yang diobservasi, kemudian R adalah hasil dari data yang telah diobservasi atau *signal*.



(a) (b)
Gambar 7. Grafik respon parameter terhadap (a) Waktu dan (b) *Warping*

Gambar 7 merupakan grafik yang diperoleh dari respon parameter di masing-masing level terhadap waktu dan besar *warping*. Kemudian, masing-masing level diberi bobot, untuk mencari kombinasi yang paling optimal baik terhadap waktu dan *warping* yang ditemukan. Maka didapatkan hasil seperti berikut:

Tabel 7. Bobot Penilaian parameter pada masing-masing level

Level	Rank			
	h (mm)	T _N (°C)	T _B (°C)	v (mm/s)
1	4	5	4	4
2	4	2	5	4
3	4	5	3	4

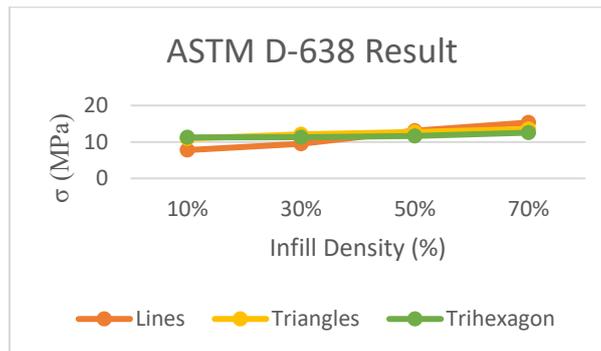
Setelah mendapatkan bobot dari respon masing-masing parameter terhadap waktu dan kualitas cetakan, maka diketahui bahwa untuk *h* memiliki bobot yang sama pada masing-masing level, *T_N* memiliki bobot terbesar pada level 1 dan 3, *T_B* memiliki bobot terbesar pada level 2, dan *v* memiliki bobot yang sama pada masing-masing level.

Variasi Pola dan *Density Infill* terhadap besar *Tensile Strength*

Setelah melakukan uji tarik dengan UTM untuk masing-masing spesimen seperti pada Tabel 5, maka didapatkan besar *tensile strength* seperti pada Tabel 8 dan Gambar 8 berikut:

Tabel 8. *Tensile strength* hasil pengujian

No.	<i>Infill Pattern</i>	ρ (%)	σ (MPa)
1	Lines	10	7.774
2	Lines	30	9.495
3	Lines	50	13.077
4	Lines	70	15.341
5	Triangle	10	10.928
6	Triangle	30	12.103
7	Triangle	50	12.718
8	Triangle	70	13.558
9	Trihexagon	10	11.256
10	Trihexagon	30	11.279
11	Trihexagon	50	11.640
12	Trihexagon	70	12.560



Gambar 8. Grafik hasil uji tarik ASTM D-638

Dapat dilihat dari Gambar 8, bahwa kemiringan terbesar dari grafik ada pada pola *infill Lines*, sedangkan pola *Trihexagon*, cenderung lebih stabil, dan memiliki tegangan yang lebih besar pada *density* rendah. Berat per gram dari pola *Lines*, *Triangles*, dan *Trihexagon* adalah sama pada masing-masing *density* (Ultimaker Cura, 2022).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada bab sebelumnya, maka parameter yang optimal untuk mencetak filamen ABS adalah 0,2mm untuk tinggi *layer* (h), 240°C untuk temperatur *nozzle* (T_N), 105°C untuk temperatur *bed* (T_B), dan 50mm/s untuk kecepatan gerak *nozzle* (v).

Sedangkan untuk pola *infill* yang optimal adalah *Trihexagon* apabila besar tegangan yang diterima dari model berada di bawah 12 MPa. Sedangkan apabila beban tegangan yang diberikan cukup besar, maka dapat digunakan pola *Lines*.

PENGHARGAAN

Dalam pelaksanaan penelitian kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada PT. Matahari Megah, yang turut memfasilitasi penulis guna melakukan pencetakan 3D *printing*. Kemudian, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Universitas Tarumanagara yang mengizinkan untuk melakukan pengujian tarik pada laboratorium metalurgi fisik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "The best 3D printed consumer products - 3D Printing Industry." <https://3dprintingindustry.com/news/the-best-3d-printed-consumer-products-148352/> (accessed Sep. 22, 2021).
- [2] "FDM vs. SLA: Compare the Two Most Popular Types of 3D Printers." <https://formlabs.com/asia/blog/fdm-vs-sla-compare-types-of-3d-printers/> (accessed Sep. 22, 2021).
- [3] "Reasons Why 3D Printing is Reaching Mainstream | Smithers." <https://www.smithers.com/resources/2017/jul/reasons-why-3d-printing-is-reaching-the-mainstream> (accessed Sep. 22, 2021).
- [4] "PLA vs. ABS: What's the difference? | Hubs." <https://www.hubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference/> (accessed Sep. 22, 2021).
- [5] C. Abeykoon, P. Sri-Amphorn, and A. Fernando, "Optimization of fused deposition modeling parameters for improved PLA and ABS 3D printed structures," *Int. J. Light. Mater. Manuf.*, vol. 3, no. 3, pp. 284–297, 2020, doi: 10.1016/j.ijlmm.2020.03.003.
- [6] A. M. Titu, A. V. Sandu, A. B. Pop, S. Titu, and T. C. Ciungu, "The Taguchi Method Application to Improve the Quality of a Sustainable Process," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 374, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/374/1/012054.
- [7] P. Sivaiah and D. Chakradhar, "Modeling and optimization of sustainable manufacturing process in machining of 17-4 PH stainless steel," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 134, pp. 142–152,

2019, doi: 10.1016/j.measurement.2018.10.067.

- [8] M. A. Nazan, F. R. Ramli, M. R. Alkahari, M. N. Sudin, and M. A. Abdullaah, "Process parameter optimization of 3D printer using Response Surface Method," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 7, pp. 2291–2296, 2017.
- [9] V. Madhav and S. Yeole, "Relative Studies on ASTM D638 Type–IV Specimens 3D," *6th Int. 27th All India Manuf. Technol. Des. Res. Conf.*, no. September 2018, 2016, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/327703890_Relative_Studies_on_ASTM_D638_Type-IV_Specimens_3D_Printed_using_ABS_Material.
- [10] S. Anand Kumar and Y. Shivraj Narayan, *Tensile testing and evaluation of 3D-printed PLA specimens as per ASTM D638 type IV standard*, no. February 2018. Springer Singapore, 2019.
- [11] Q. Ma, M. R. M. Rejab, A. P. Kumar, H. Fu, N. M. Kumar, and J. Tang, "Effect of infill pattern, density and material type of 3D printed cubic structure under quasi-static loading," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 235, no. 19, pp. 4254–4272, 2021, doi: 10.1177/0954406220971667.