

Optimasi Variasi Jumlah *Blade Inlet Turbo* Pada *Waterjet Thruster Mini* Terhadap Gaya Dorong Menggunakan Metode Taguchi

Thala Viniolita, Zaldy Sirwansyah Suzen, Hasdiansah*

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Kawasan Industri Air Kantung, Sungailiat, Kepulauan Bangka Belitung 33211

*phiannttarah@yahoo.co.id

Revisi 2 Mei 2023; Diterima 29 Mei 2023.; publikasi Online 2 Juni 2023

Abstrak, Seiring dengan perkembangan zaman saat ini, sistem penggerak dari masa ke masa mengalami perkembangan semakin pesat. Penggunaan sistem penggerak sangat mempengaruhi laju kapal yang digunakan, salah satu sistem penggerak kapal yang sangat penting ialah propeller. Saat ini teknologi yang mendukung teknologi yang berbasis rapid prototyping adalah 3D printing dengan teknologi berbasis FDM. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor penelitian yang berpengaruh terhadap hasil gaya dorong suatu level yang telah dicetak menggunakan filament ST PLA (Super Tough Lactic Acid) sebagai material part 3D printing pada komponen waterjet thruster mini dan telah dilakukan proses uji gaya dorong yang kemudian mendapatkan nilai gaya dorong tertinggi hingga terendah. Dengan dilakukan metode Taguchi, penelitian ini dilakukan pencetakan part menggunakan mesin 3D printing Ender 3 Pro. Faktor penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini ialah jumlah blade inlet turbo, impeller type, dan jumlah blade outlet turbo. Penelitian ini menghasilkan gaya dorong tertinggi pada level eksperimen 2 dengan jumlah blade inlet turbo 6, impeller 2, dan jumlah blade outlet turbo 7 dengan nilai gaya dorong sebesar 2,281 N dan nilai gaya dorong terendah pada level eksperimen 3 dengan jumlah blade inlet turbo 6, impeller type 3, dan jumlah blade outlet turbo dengan nilai gaya dorong sebesar 0,956 N. Sehingga berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemilihan faktor penelitian berpengaruh pada hasil gaya dorong.

Kata kunci : FDM, filament, gaya dorong, propeller, sistem penggerak

1. Pendahuluan

Pada setiap transportasi laut yaitu kapal membutuhkan sebuah sistem penggerak yang mendukung kondisi lautnya dan memiliki kecepatan laju kapal yang memadai. *Propeller* ialah suatu aspek terpenting pada sebuah kapal, oleh karena itu dalam pembuatannya *propeller* harus mampu menahan gaya-gaya yang bergerak pada daunnya (*blade propeller*) [1]. Dalam perencanaan desain *propeller* ada beberapa elemen yang perlu diperhatikan seperti pada fungsi, dimensi, ukuran, serta struktur pada kekuatan dan kelemahannya [2]. Perencanaan *propeller* yang baik berguna dalam mencapai tujuan dari fungsi kapal yaitu kecepatan. Kecepatan pada sebuah kapal tidak lepas dari perencanaan desain *propeller* yang baik, sehingga mendapatkan gaya dorong (*thrust*) optimal yang diciptakan dari gerak *propeller* itu sendiri [3].

Pada umumnya sebuah sistem propulsi *waterjet* memiliki dua sistem, seperti sistem saluran dan sistem pompa. Pada sistem saluran sendiri ialah berfungsi sebagai pengontrol kecepatan fluida dari luar saluran ke pompa yang kemudian disemburkan kembali ke keluar sistem saluran. Sedangkan sistem pompa ialah berfungsi sebagai pengalihan energi mekanik menjadi energi hidrolik pada *waterjet* [4]. Sistem propulsi *waterjet* ialah suatu sistem yang menggunakan gaya dorong fluida sebagai penggerak laju kapal pada kecepatan operasinya yang sudah disesuaikan [5]. *Thrust* merupakan aspek terpenting dalam mengatasi tahanan (*resistance*) pada sebuah kapal. Kondisi ideal yang terjadi, besar gaya dorong yang diperlukan sama dengan gaya hambatan yang terjadi [6]. Namun kenyataan di lapangan tidaklah selalu realistis, karena adanya fenomena hidrodinamika pada bagian lambung kapal. Sehingga hasil dari nilai daya dorong kapal yang dihasilkan akan menurun [7].

Additive manufacturing atau biasa dikenal dengan istilah 3D *printing* adalah salah satu sebuah inovasi dalam dunia teknologi manufaktur. Kemunculan teknologi 3D *printing* memiliki peranan yang sangat penting terhadap sektor industri terutama pada perekonomian [8]. Teknologi ini dapat merealisasikan model 3D menjadi bentuk fisik menggunakan konsep dasar penambahan lapisan demi lapisan, berbeda halnya dengan teknologi manufaktur konvensional lainnya yang berbasis pengurangan pada material [9]. Pada umumnya prinsip kerja yang dimiliki mesin 3D *printing* mengambil dari *Additive manufacturing* (AM) dengan melakukan metode penambahan material bukan dengan mengurangi materialnya [10]. Salah satu dari berbagai macam teknologi 3D *printing* yang paling sering dijumpai karena kemudahan dalam penggunaannya yaitu teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) [11].

Teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) adalah salah satu metode dari mesin 3D *printing* yang lazim digunakan karena teknologi ini secara ekonomi lebih murah, dalam penggunaannya mudah, dan filamen atau material yang digunakan berupa produk komersial tersedia dengan mudah dipasaran [12]. Mesin 3D *printing* berbasis FDM ini memiliki beberapa kemampuan dalam mengakselerasikan suatu pengembangan pada produk dalam sektor industri, atas dasar ini dikarenakan adanya kemudahan dalam merancang sebuah *prototype* dari konsep produk yang akan dirancang [13]. Pada 3D *printing* berbasis FDM memiliki prinsip kerja yaitu dilakukan pelelehan pada benang polimer yang biasa disebut *filament*. Hasil dari lelehan *filament* inilah yang kemudian akan didepositkan pada sebuah permukaan dasar lalu melapiskannya dengan lapisan-lapisan baru hingga terbentuklah sebuah geometri pada permukaan [14].

Produk material PLA merupakan salah satu jenis dari *thermoplastic polymer* yang sering digunakan sebagai objek 3D. Dimana hal ini didukung karena material jenis PLA memiliki bentuk paling baik dalam mengorientasikan posisi dari objek horizontal [15]. Selain hal itu, *filament* PLA juga yaitu sebuah *filament* yang sangat mudah ditemukan di pasaran. Sehingga membuat *filament* jenis ini menjadi paling populer dibandingkan dengan *filament* jenis lainnya [16]. *Super Tough Polylactic Acid* (ST PLA) merupakan suatu inovasi dari sebuah jenis *filament* PLA yang telah dilakukan pengomposan dengan gabungan aditif spesial [17].

Dr. Genichi Taguchi menggagaskan mengenai *quality engineering* yang mana gagasan atau ide tersebut sudah digunakan selama beberapa tahun di Jepang. Sasaran dari *quality engineering* ialah merencanakan sebuah kualitas dalam tiap-tiap produk dan proses yang sesuai [18]. Pada dasarnya metode *Taguchi* menggunakan matriks khusus dalam penggunaannya yang dikenal dengan istilah Matrik Ortogonal atau *Orthogonal Array* (OA). Pemilihan kombinasi level variabel-variabel input masing-masing eksperimen merupakan salah satu bagian terpenting dalam Matrik Ortogonal [19]. Tujuan dari metode *Taguchi* ialah sebagai pembantu dalam meningkatkan kemampuan dalam proses dan sebagai pengurangan penyebab dari variabilitas produksi. Dimana dalam metode ini mengkombinasikan hasil dari eksperimen melalui faktor dan level penelitian optimal dalam waktu bersamaan untuk menghemat waktu dan biaya [20].

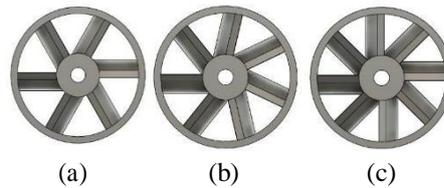
Penelitian ini berfokus untuk mengetahui hasil dari pengujian *prototype waterjet thruster* mini yang dicetak menggunakan 3D *printing* berbasis teknologi FDM. Adapun faktor penelitiannya meliputi jumlah *blade inlet turbo*, *impeller type*, dan jumlah *blade outlet turbo*. Untuk mengetahui kombinasi yang paling optimal dari penelitian yang dilakukan, dalam penelitian ini digunakan metode *Taguchi* yang mana akan membatasi jumlah dari kombinasi desain eksperimen, serta bertujuan untuk menganalisis faktor yang paling berpengaruh untuk mendapat nilai gaya dorong tertinggi dari penelitian.

2. Metode

Objek penelitian yang akan digunakan pada penelitian dicetak menggunakan mesin 3D *printer* berjenis FDM *Ender 3 Pro* dengan menggunakan suhu yang sudah ditentukan yaitu memiliki suhu *nozzle* 200-300°C, *bed temperature* 60-70°C, dan *printing speed* 50 mm/s. Material yang digunakan dalam penelitian ialah filamen ST PLA (*Super Tough Polylactid Acid*) merk CCTree. Dalam mendesain objek penelitian digunakan *software Autodesk Fusion 360* untuk menunjang penelitian. Dan Laptop Lenovo Ideapad Slim 1 digunakan untuk menggambar komponen part *inlet turbo*, *impeller*, dan *outlet turbo*, serta digunakan untuk pengolahan data hasil dari penelitian. Alat pendukung dalam penelitian ini ialah timbangan digital gantung dengan spesifikasi 14191-742E dengan maksimal beban 50 Kg. Bor tangan digunakan sebagai mesin utama dalam menggerakkan kapal uji *waterjet thruster* mini dengan putaran mesinnya sebesar 4600 RPM. Adapun bobot dari kapal uji ialah 8,030 Kg. Ukuran yang dimiliki dari *waterjet thruster* mini ialah 1¼ *inch*.

Langkah pertama yang akan dilakukan dalam penelitian ini ialah mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada sistem propulsi kapal. Diawali dengan melakukan studi literatur terkait dengan permasalahan yang akan diteliti. Dalam memodelkan objek penelitian menggunakan *software Autodesk Fusion 360*

berbasis CAD. Hasil desain dibuat dalam format *file* STL. Lalu *file* STL dimasukkan ke dalam *software Ultimaker Cura* untuk menerima G-code. Kemudian tahapan selanjutnya ialah proses pencetakan objek penelitian mesin 3D printer *Ender 3 Pro* dengan menggunakan filamen ST PLA. Setelah semua objek penelitian selesai dicetak, maka akan dilakukan perakitan pada *waterjet thruster* dan kapal uji untuk menunjang proses penelitian ini. Desain dari part *inlet turbo* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Tiga Variasi Jumlah *Blade Inlet Turbo*
(a) 6 *Blade* (b) 7 *Blade* (c) 8 *Blade*

Tahapan selanjutnya dalam penelitian ini ialah melakukan pengujian terhadap part *inlet turbo*, *impeller*, dan *outlet turbo*. Pada proses ini akan dilakukan pengujian dengan kapal uji dengan bantuan timbangan digital sebagai media pengukuran dari hasil dorongan kapal uji. Kapal tersebut dapat melaju karena adanya kekautan dari *engine* yaitu bor tangan sebagai mesin utama untuk *prototype waterjet thruster* mini. Dengan adanya kekuatan dorongan tersebut menghasilkan nilai dorongannya pada timbangan digital yang telah dikaitkan. Nilai inilah yang kemudian akan digunakan sebagai nilai dari gaya dorong. Dan proses pengujian pada gaya dorong *waterjet thruster* mini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Proses Pengujian Pada *Waterhet Thruster Mini*
(a) Kapal Uji *Prototype Waterjet Thruster Mini*
(b) *Impeller Type*
(c) Jumlah Variasi *Blade Inlet Turbo*
(d) Jumlah Variasi *Blade Outlet Turbo*

Pada penelitian yang dilakukan *Orthogonal Array* harus dilakukan penentuan berdasarkan jumlah total derajat kebebasan yang dimiliki oleh faktor penelitian. *Orthogonal Array* yang telah dipilih mesti lebih besar atau memiliki kesamaan dengan jumlah derajat kebebasan yang dimiliki oleh faktor. Derajat kebebasan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Derajat Kebebasan untuk *Orthogonal Array*

Faktor	Jumlah Level	DK (N-1)
Jumlah <i>Blade Inlet Turbo</i>	3	2
<i>Impeller Type</i>	3	2
Jumlah <i>Blade Outlet Turbo</i>	3	2
Jumlah Derajat Kebebasan		6

Dari tabel 1. di atas dapat diketahui bahwa jumlah derajat kebebasan dari keseluruhan faktor berjumlah 6. Dalam *Orthogonal Array* (3^3) tersedia L_9 dan L_{18} , untuk menyederhanakan penelitian yang dilakukan maka dapat digunakan *Orthogonal Array* L_9 (3^3). Eksperimen dilakukan secara *random* dengan kombinasi variabel prosesnya mengacu pda rancangan percobaan yang sesuai dengan *Orthogonal Array*. Data pada metode *Taguchi* diatur dalam 3 buah faktor dengan masing-masing 3 variasi setiap faktornya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor dan Level Penelitian

No	Level	Factor		
		Jumlah Blade Inlet Turbo	Impeller Type	Jumlah Blade Outlet Turbo
1	Level 1	6 Blade	3 Blade Type 1	6 Blade
2	Level 2	7 Blade	3 Blade Type 2	7 Blade
3	Level 3	8 Blade	3 Blade Type 3	8 Blade

Metode *Taguchi* tersebut akan menghasilkan sebuah jumlah kombinasi minimal yang mana dapat digunakan sebagai acuan dalam mencari sebuah kombiansi yang optimal nantinya pada faktor dan level penelitiannya. Adapun beberapa kombinasi yang dihasilkan oleh metode *Taguchi Orthogonal Array L₉OA* dapat dilihat pada tabel 3. yang merupakan desain percobaan menggunakan *software* minitab.

Tabel 3. Desain Percobaan Metode *Taguchi Orthogonal Array L₉OA*

Level	Factor		
	Jumlah Blade Inlet Turbo	Impeller Type	Jumlah Blade Outlet Turbo
1	6 Blade	3 Blade Type 1	6 Blade
2	6 Blade	3 Blade Type 2	7 Blade
3	6 Blade	3 Blade Type 3	8 Blade
4	7 Blade	3 Blade Type 1	7 Blade
5	7 Blade	3 Blade Type 2	8 Blade
6	7 Blade	3 Blade Type 3	6 Blade
7	8 Blade	3 Blade Type 1	8 Blade
8	8 Blade	3 Blade Type 2	6 Blade
9	8 Blade	3 Blade Type 3	7 Blade

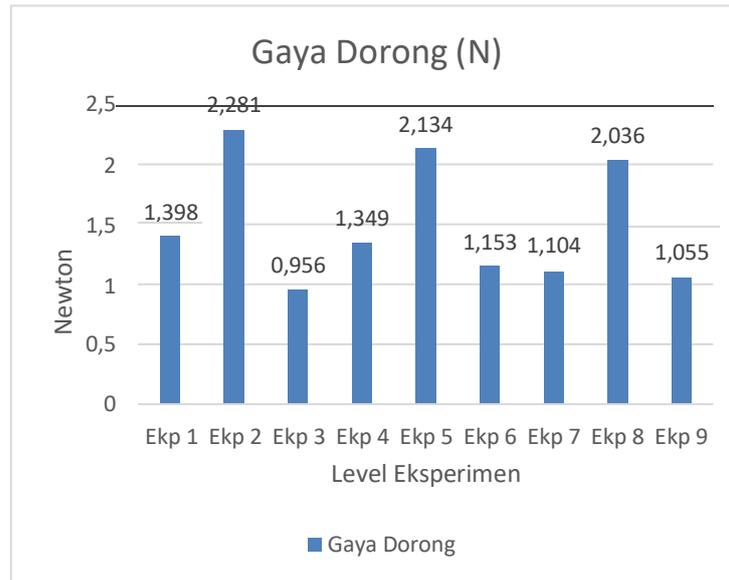
3. Hasil dan Diskusi

Pengambilan data pada penenlitan ini dilakukan berdasarkan dengan desain *Taguchi L₉ OA* dengan dilakukan dua kali percobaan dengan pengujian gaya dorong pada *waterjet thruster* mini. Hasil dari pengujian tersebut mendapatkan rata-rata dari tarikan kapal uji yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian

Ekp.	Percobaan 1	Percobaan 2	Average	Gaya Dorong (N)
1	0,140 Kg	0,145 Kg	0,143 Kg	1,398 N
2	0,230 Kg	0,235 Kg	0,233 Kg	2,281 N
3	0,095 Kg	0,100 Kg	0,098 Kg	0,956 N
4	0,135 Kg	0,140 Kg	0,138 Kg	1,349 N
5	0,215 Kg	0,220 Kg	0,218 Kg	2,134 N
6	0,115 Kg	0,120 Kg	0,118 Kg	1,153 N
7	0,110 Kg	0,115 Kg	0,113 Kg	1,104 N
8	0,205 Kg	0,210 Kg	0,208 Kg	2,036 N
9	0,105 Kg	0,110 Kg	0,108 Kg	1,055 N

Pada tabel 4. menunjukkan hasil dari pengujian dengan faktor penelitian didapat untuk gaya dorong tertinggi pada ekperimen 2 dengan jumlah *blade inlet turbo* 6, *impeller type* 2, dan jumlah *blade outlet turbo* 7 dengan nilai gaya dorong sebesar 2,281 N. Sedangkan untuk gaya dorong terendah pada ekperimen 3 dengan jumlah *blade inlet turbo* 6, *impeller type* 3, dan jumlah *blade outlet turbo* 8 dengan nilai gaya dorong sebesar 0,956 N. Dan pengaruh dari keseluruhan pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengujian

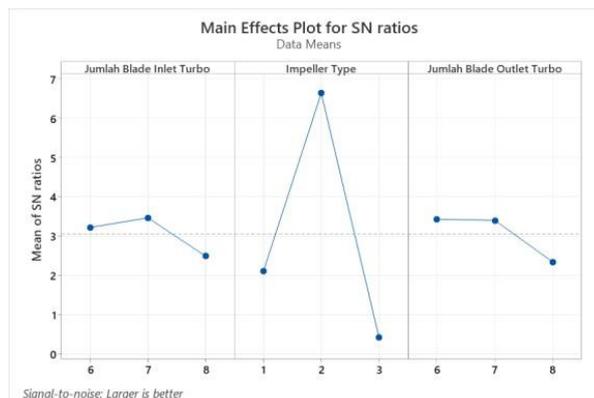
Proses hasil pengolahan data yang telah dilakukan pengujian dibuat untuk mendapatkan hasil gaya dorong yang akurat serta yang mempengaruhi terhadap hasil uji gaya dorong dengan menggunakan metode *Taguchi L₉OA*. Hasil pengolahan data tersebut menggunakan bantuan *software statistic*, untuk mendapatkan nilai hasil respon *S/N Ratio* dengan karakteristik "*Large is Better*" karena dengan semakin besar hasil pengujian maka hasil yang dibutuhkan semakin baik. Hasil respon *S/N Ratio* dapat dilihat pada gambar 3.

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Jumlah Blade Inlet Turbo	2	1,5427	1,5427	0,7713	3,76	0,210
Impeller Type	2	61,7716	61,7716	30,8858	150,52	0,007
Jumlah Blade Outlet Turbo	2	2,3003	2,3003	1,1502	5,61	0,151
Residual Error	2	0,4104	0,4104	0,2052		
Total	8	66,0249				

Gambar 3. S/N Ratio Pengujian Gaya Dorong

S/N Ratio kemudian disusun berdasarkan dari rata-rata faktor yang digunakan untuk mendapatkan faktor yang berperan dalam pengaruh gaya dorong yang dihasilkan dari *waterjet thruster* mini. Data dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik S/N Ratio

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Jumlah Blade Inlet Impeller		Jumlah Blade Outlet
	Turbo	Type	Turbo
1	3,2239	2,1164	3,4348
2	3,4676	6,6366	3,4031
3	2,4932	0,4317	2,3468
Delta	0,9744	6,2049	1,0879
Rank	3	1	2

Gambar 5. Respon S/N Ratio

Dari gambar 4. dan gambar 5. Hasil S/N Ratio dengan karakteristik “Large is Better” menyatakan faktor yang paling menonjol yaitu faktor *Impeller Type*. Faktor yang optimal dan berpengaruh secara berturut-turut terhadap pengujian gaya dorong yaitu *impeller type*, jumlah *blade outlet turbo*, dan jumlah *blade inlet turbo*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan, bahwa gaya dorong tertinggi pada eksperimen 2 dengan jumlah *blade inlet turbo* 6, *impeller type* 2, dan jumlah *blade outlet turbo* 7 dengan nilai gaya dorong sebesar 2,281 N. Dari gambar respon yang didapatkan dari S/N Ratio, pengaruh gaya dorong sangat dipengaruhi oleh *type impeller*, kemudian jumlah *blade inlet turbo* yang menduduki posisi ke-2.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua untuk dukungan dan doanya yang telah diberikan kepada penulis. Kemudian kepada pembimbing, penulis mengucapkan terima kasih atas masukan, saran dan bimbingannya selama ini. Serta tak luput teman-teman seperjuangan untuk ucapan terimakasih yang telah membantu dan memberikan motivasi dan semangat.

Daftar Pustaka

- [1] M. Ridho, A. F. Zakki, dan P. Manik, “Analisa Fatiguepropeller Tugboat Ari 400Hp Dengan Metode Elemen Hingga,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 1, hal. 110–117, 2015.
- [2] M. Z. Abidin, S. W. Adji, dan I. S. Arief, “Analisa Performance Propeller B-series dengan pendekatan structure dan unstructure meshing,” *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, hal. G241–G246, 2012.
- [3] H. Simbolon, A. Trimulyono, dan G. Rindo, “Analisa Nilai Maximum Thrust Propeller B-Series Dan Kaplan Series Pada Kapal Tugboat Ari 400 Hp Dengan Variasi Diameter, Jumlah Daun, Sudut Rake Menggunakan Cfd,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 4, hal. 394–404, 2015.
- [4] A. Alfrendy, B. Untung, dan Kiryanto, “Analisa Penerapan Diesel Waterjet Propulsion (Dwp) Dan Electrical Waterjet Propulsion (Ewp) Ditinjau Dari Konsumsi Bbm Pada Kapal Patroli Imigrasi 14 Meter,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 1, hal. 168–177, 2018.
- [5] A. Maulana, “Kajian Teknis Perancangan Sistem Propulsi Waterjet Pada Patrol Boat 10,3 M,” 2017.
- [6] Z. Astamar, *mekanika teknik*, no. 1. 2004.
- [7] A. F. Molland, S. R. Turnock, dan D. A. Hudson, “Ship Resistance and Propulsion,” *Sh. Resist. Propuls.*, 2011, doi: 10.1017/cbo9780511974113.
- [8] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, dan D. Hui, “Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 143, no. December 2017, hal. 172–196, 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
- [9] A. Alafaghani, A. Qattawi, B. Alrawi, dan A. Guzman, “Experimental Optimization of Fused Deposition Modelling Processing Parameters: A Design-for-Manufacturing Approach,” *Procedia Manuf.*, vol. 10, hal. 791–803, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.079.
- [10] Pristiansyah, Hasdiansah, dan Sugiyarto, “Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap

- Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex,” *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, hal. 33–40, 2019, doi: 10.33504/manutech.v11i01.98.
- [11] R. D. Putra, Z. S. Suzen, dan Hasdiansah, “Optimasi Parameter Proses 3D Printing Kekuatan Tarik Filament Abs Menggunakan Metode Taguchi,” *Inov. Teknol. Terap.*, no. January, 2022.
- [12] H. Hasdiansah, R. I. Yaqin, P. Pristiansyah, M. L. Umar, dan B. H. Priyambodo, “FDM-3D printing parameter optimization using taguchi approach on surface roughness of thermoplastic polyurethane parts,” *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, hal. 1–14, 2023.
- [13] R. Srinivasan, W. Ruban, A. Deepanraj, R. Bhuvanesh, dan T. Bhuvanesh, “Effect on infill density on mechanical properties of PETG part fabricated by fused deposition modelling,” *Mater. Today Proc.*, vol. 27, no. xxxx, hal. 1838–1842, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.797.
- [14] C. K. Chua, K. F. Leong, dan J. An, “Introduction to rapid prototyping of biomaterials,” *Rapid Prototyp. Biomater. Princ. Appl.*, hal. 1–15, 2014, doi: 10.1533/9780857097217.1.
- [15] Z. S. Suzen, Hasdiansah, dan Yuliyanto, “Pengaruh Tipe Infill dan Temperatur Nozzle terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun,” *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 12, no. 02, hal. 73–80, 2020.
- [16] G. P. Annanto, S. M. B. Respati, dan A. H. Azhar, “Implementasi Optimasi Topologi Sebagai Infill Modifier pada Hasil Cetak 3D Printer Berbahan Polylactic Acid dengan Menggunakan Metode Taguchi,” *J. Ilm. MOMENTUM*, vol. 18, no. 1, hal. 62, 2022, doi: 10.36499/jim.v18i1.6033.
- [17] Y. Subakti dan Hasdiansah, “Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekuatan Tarik Filamen St-Pla Menggunakan Metode Taguchi,” 2021, [Daring]. Tersedia pada: www.primes3d.com
- [18] A. Mitra, *Fundamentals of Quality Control and Improvement: Third Edition*. 2012. doi: 10.1002/9781118491645.
- [19] S. Karabulut, “Optimization of surface roughness and cutting force during AA7039/Al2O3 metal matrix composites milling using neural networks and Taguchi method,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 66, hal. 139–149, 2015, doi: 10.1016/j.measurement.2015.01.027.
- [20] M. Muharom dan S. Siswadi, “Desain Eksperimen Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Batu Bata Berbahan Baku Tanah Liat,” *J. Eng. Manag. Industial Syst.*, vol. 3, no. 1, hal. 43–46, 2015, doi: 10.21776/ub.jemis.2015.003.01.7.