

## Optimasi Karakteristik Komponen *Waterjet thruster* terhadap Gaya Dorong Menggunakan Metode Taguchi

Marcellino Stevanus Seva<sup>1</sup>, Zaldy Kurniawan<sup>1</sup>, Hasdiansah<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

\*E-mail : phianntarah@yahoo.co.id

Received : 21 Nopember 2024; Received in revised form : 22 Juli 2024;

Accepted : 21 Agustus 2024

### Abstract

*Waterjet thruster is a technological breakthrough in ship propulsion system. The propulsion system has a very significant influence on ship operations. The waterjet thruster system consists of an inlet, waterjet pump, and turbo outlet. 3D Printing is one of the technological breakthroughs in the field of layer-by-layer manufacturing. 3D Printing is efficient in the world of manufacturing in making mechanical components, even prototypes. The combination of component characteristics will be arranged using Taguchi method with L9(3<sup>3</sup>) orthogonal matrix. This study aims to optimize the combination of waterjet thruster component characteristics. It is concluded that the characteristics of waterjet thruster components have an influence on the thrust force produced. The highest thrust force is in the 9th experiment with a thrust force of 2,281 Newton using a combination of the number of inlet blades of 5 pieces, the second type impeller, and the number of turbo outlet blades totaling 3 pieces.*

**Keywords:** Propulsion; 3D Printing; Taguchi; Thrust Force; Waterjet Thruster.

### Abstrak

*Waterjet thruster merupakan terobosan teknologi dalam sistem propulsi kapal. Sistem propulsi memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap operasional kapal. Sistem waterjet thruster terdiri dari inlet, pompa waterjet, dan outlet turbo. 3D Printing merupakan salah satu terobosan teknologi di bidang manufaktur yang berbasis lapis per lapis. 3D Printing memiliki efisien dalam dunia manufaktur dalam membuat komponen mekanik, bahkan prototipe. Kombinasi dari karakteristik komponen tersebut akan disusun menggunakan metode taguchi dengan matriks ortogonal L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>). Penelitian ini bertujuan untuk mencari optimasi kombinasi karakteristik komponen *waterjet thruster*. disimpulkan bahwa karakteristik komponen *waterjet thruster* memiliki pengaruh terhadap gaya dorong yang dihasilkan. Gaya dorong tertinggi berada pada eksperimen ke 9 dengan gaya dorong sebesar 2.281 Newton menggunakan kombinasi jumlah *blade inlet* 5 buah, *impeller* tipe kedua, dan jumlah *blade outlet turbo* berjumlah 3 buah.*

**Kata kunci:** Gaya Dorong; Propulsi; Taguchi; 3D Printing; Waterjet Thruster.

## 1. PENDAHULUAN

*Waterjet thruster* merupakan terobosan teknologi dalam sistem propulsi kapal. Sistem propulsi memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap operasional kapal [1]. Gaya dorong yang dihasilkan pada sistem propulsi yang digunakan bertanggung jawab atas keluaran kecepatan dan performa kapal [2]. *Waterjet thruster* memiliki performa yang tinggi, memiliki anti kavitasi, dan kebisingan yang rendah. Oleh karena itu, *waterjet thruster* sangat unggul diaplikasikan pada kendaraan militer [3]. Sistem waterjet thruster terdiri dari *inlet*,

*pompa waterjet*, dan *outlet turbo*. Dalam sistem ini, pompa *waterjet* adalah alat utama yang digunakan untuk menciptakan semburan air melewati *outlet turbo* [4]. Pompa *waterjet* berupa *impeller* dimana pada sistem propulsi konvensional dikenal dengan *propeller*. Kondisi *impeller* menjadi faktor yang vital dalam sistem propulsi [5]. Secara sederhana, cara kerja dari *waterjet thruster* adalah menghisap air melalui jalur inlet dengan putaran *impeller*, kemudian dikeluarkan melalui *outlet turbo* dengan memanfaatkan perubahan diameter yang

diperkecil pada nozzle untuk meningkatkan momentum yang dihasilkan [6].

Untuk meningkatkan performa kapal yang digunakan, banyak orang meningkatkan kapasitas mesin yang mereka gunakan. Menurut Rahardian, metode tersebut malah meningkatkan biaya operasional dikarenakan semakin besar kapasitas mesin yang digunakan, maka semakin besar pula konsumsi bahan bakar [7]. Dengan begitu, harapan yang diinginkan untuk meningkatkan efisiensi tidak akan tercapai. Oleh karena itu, modifikasi pada sistem propulsi merupakan langkah yang tepat. Menurut Molland, gaya dorong yang dihasilkan sistem propulsi diandalkan untuk mengatasi hambatan / gaya gesek air terhadap kapal [8]. Hal tersebut dikarenakan kecepatan kapal dan gaya dorong saling berbanding lurus [9].

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian yang dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja waterjet thruster sehingga menjadi lebih efisien. Pada penelitian yang dilakukan Budiyanto dkk pada tahun 2019 yang meneliti mengenai desain dan *nozzle* dari *waterjet thruster* menyimpulkan bahwa desain konvergen dapat meningkatkan efisiensi sistem propulsi 8% hingga 12% [10].

Seiring berkembangnya teknologi, ditemukan terobosan di dunia manufaktur yang dikenal dengan *3D Printing*. *3D Printing* merupakan salah satu terobosan teknologi di bidang manufaktur yang berbasis lapis per lapis [11]. *3D Printing* memiliki efisien dalam dunia manufaktur dalam membuat komponen mekanik, bahkan *prototipe* [12]. *3D printing* dengan teknik *Fused Deposition Modelling* memiliki keunggulan dalam mencetak desain yang memiliki bentuk dan dimensi yang kompleks dan ideal [13]. *3D Printing* menggunakan material yang disebut filamen. Filamen tersebut terbagi menjadi berbagai macam jenis, salah satunya yang memiliki kekuatan yang tinggi adalah ST-PLA

(*Super Tought Polylactic Acid*). Dengan karakteristik yang lebih keras dibandingkan dengan PLA normal, menyebabkan ST-PLA memiliki kekuatan bentur dan ikatan antar lapisan yang kuat [14]. Penelitian untuk optimasi parameter ST-PLA pernah dilakukan Yulian pada tahun 2021 dan menyimpulkan bahwa kuat tarik tertinggi produk ST-PLA dicapai dengan konfigurasi suhu *nozzle* 205 °C, ketebalan perlayer 0,3 mm, dan kecepatan aliran 100% dengan kekuatan sebesar 47,66 MPa [15].

Metode taguchi adalah salah satu metode statistik yang dikembangkan oleh Genichi Taguchi pada tahun 1940 [16]. Biasanya, taguchi digunakan untuk mengukur mutu suatu produk dengan memfokuskan 3 tahapan yaitu perancangan sistem, perancangan parameter, dan perancangan toleransi [17]. Metode taguchi juga digunakan untuk menyederhanakan penelitian yang dilakukan dengan urutan faktor dan level yang akan digunakan [18]. Pada metode ini, penentuan kombinasi faktor dan level menggunakan sebuah matriks, yang disebut dengan matriks ortogonal [19]. Dari kombinasi tersebut, untuk menganalisis hasil yang didapatkan dari pengujian, digunakan signal to noise [20].

Penelitian ini bertujuan untuk mencari kombinasi karakteristik komponen *waterjet thruster* yang optimal dengan metode taguchi.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen gaya dorong yang dihasilkan *waterjet thruster* berdiameter 1 1/4 inci dengan perahu uji seperti pada Gambar 1. Perahu tersebut memiliki massa total 8.03 kg dan dilengkapi dengan penggerak berupa bor dengan kecepatan maksimal 4600 RPM dan terhubung dengan poros *waterjet thruster*.



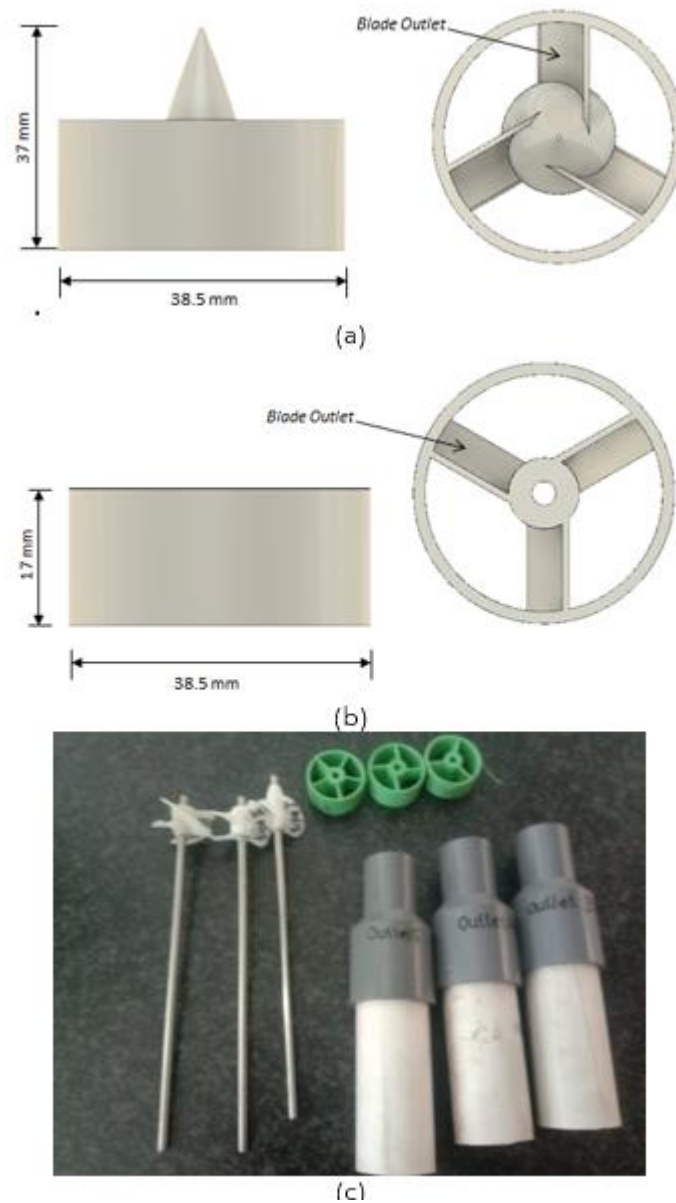
Gambar 1. Perahu Uji

Penelitian ini diawali dengan persiapan alat dan bahan untuk proses manufaktur hingga proses pengujian dilakukan. Pembuatan komponen-komponen *waterjet thruster* seperti *inlet*, *impeller*, dan *outlet turbo* akan dilakukan

dengan metode FDM menggunakan filamen ST-PLA (*Super Tough Polylactic Acid*). Karakteristik komponen-komponen yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. dengan detail disajikan pada Gambar 2.

Tabel 1. Karakteristik komponen

Level	Jumlah <i>Blade Inlet</i>	Tipe <i>Impeller</i>	Jumlah <i>Blade Outlet Turbo</i>
1	3 <i>Blade</i>	Tipe 1	3 <i>Blade</i>
2	4 <i>Blade</i>	Tipe 2	4 <i>Blade</i>
3	5 <i>Blade</i>	Tipe 3	5 <i>Blade</i>



Gambar 2. (a) *Outlet Turbo* (b) *Inlet* (c) *Komponen*

Komponen tersebut akan dipasangkan sesuai dengan kombinasi yang telah ditetapkan pada desain eksperimen

taguchi bermatriks ortogonal  $L_9$  ( $3^3$ ) yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Desain eksperimen L<sup>9</sup> (3<sup>3</sup>)

Eksperimen No	Tipe <i>Impeller</i>	Jumlah <i>Blade Outlet Turbo</i>	Tipe <i>Impeller</i>
1	3 <i>blade</i>	Tipe 1	3 <i>blade</i>
2	3 <i>blade</i>	Tipe 2	4 <i>blade</i>
3	3 <i>blade</i>	Tipe 3	5 <i>blade</i>
4	4 <i>blade</i>	Tipe 1	4 <i>blade</i>
5	4 <i>blade</i>	Tipe 2	5 <i>blade</i>
6	4 <i>blade</i>	Tipe 3	3 <i>blade</i>
7	5 <i>blade</i>	Tipe 1	5 <i>blade</i>
8	5 <i>blade</i>	Tipe 2	3 <i>blade</i>
9	5 <i>blade</i>	Tipe 3	4 <i>blade</i>

Pengujian dilakukan dengan mengukur kekuatan yang dihasilkan oleh masing-masing pasangan komponen dengan neraca yang terikat pada perahu uji dengan RPM 4600.

Setelah dilakukan pengujian *waterjet thruster* dengan karakteristik komponen sesuai dengan desain eksperimen taguchi, didapatkan gaya dorong yang dirangkum dalam Tabel 3.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

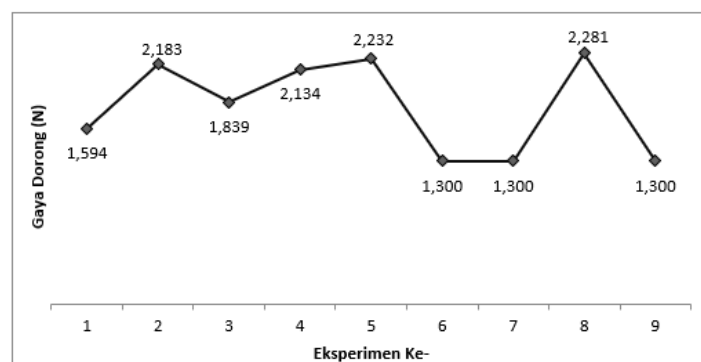
Tabel 3. Hasil penelitian

Eks No	Faktor			Percobaan 1	Percobaan 2	Rata - rata	Gaya Dorong (F = m.g)
	Jumlah <i>Blade Inlet</i>	Tipe <i>Impeller</i>	Jumlah <i>Blade Outlet turbo</i>				
1	3 <i>blade</i>	Tipe 1	3 <i>blade</i>	0.165	0.160	0.1625	1.594
2	3 <i>blade</i>	Tipe 2	4 <i>blade</i>	0.220	0.225	0.2225	2.183
3	3 <i>blade</i>	Tipe 3	5 <i>blade</i>	0.190	0.185	0.1875	1.839
4	4 <i>blade</i>	Tipe 1	4 <i>blade</i>	0.215	0.220	0.2175	2.134
5	4 <i>blade</i>	Tipe 2	5 <i>blade</i>	0.225	0.230	0.2275	2.232
6	4 <i>blade</i>	Tipe 3	3 <i>blade</i>	0.130	0.135	0.1325	1.300
7	5 <i>blade</i>	Tipe 1	5 <i>blade</i>	0.130	0.135	0.1325	1.300
8	5 <i>blade</i>	Tipe 2	3 <i>blade</i>	0.230	0.235	0.2325	2.281
9	5 <i>blade</i>	Tipe 3	4 <i>blade</i>	0.135	0.130	0.1325	1.300

Dari Tabel 3, gaya dorong tertinggi berada pada eksperimen ke 9 dengan gaya dorong sebesar 2.281 Newton menggunakan kombinasi jumlah *blade inlet* 5 buah, *impeller* tipe kedua, dan jumlah *blade outlet turbo* berjumlah 3 buah. Sedangkan gaya dorong terendah sebesar

1.3 Newton, sehingga memiliki selisih 0.981 Newton.

Gaya dorong didapatkan dari perkalian antara rata-rata dengan percepatan gravitasi. Setelah itu, grafik dari gaya dorong dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Gaya Dorong

Setelah itu, untuk menyimpulkan masing-masing pengaruh komponen *waterjet thruster* digunakan metode taguchi sesuai matriks ortogonal yang digunakan, yaitu  $L_9(3^3)$ . Pengaruh tersebut dapat diambil

berdasarkan *S/N ratio* yang dihasilkan dari data gaya dorong. Pada Gambar 4, menunjukkan hasil *Analisis of Variance* (ANOVA) dari *S/N ratio* menggunakan bantuan *software statistic*.

#### Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Jumlah Blade Inlet	2	4.0494	4.0494	2.0247	0.38	0.725
Tipe Impeller	2	21.7665	21.7665	10.8832	2.04	0.329
Jumlah Blade Outlet Turbo	2	0.7707	0.7707	0.3854	0.07	0.933
Residual Error	2	10.6779	10.6779	5.3389		
Total	8	37.2644				

Gambar 4. ANOVA S/N Ratio

Dari hasil ANOVA tersebut, *S/N ratio* disusun berdasarkan rata-rata per faktor sehingga faktor yang memiliki nilai terbesar memiliki pengaruh yang paling besar

diantara faktor lainnya. Pada Gambar 5., ditampilkan gambar tabel respon dari *Large is Better* dari data gaya dorong.

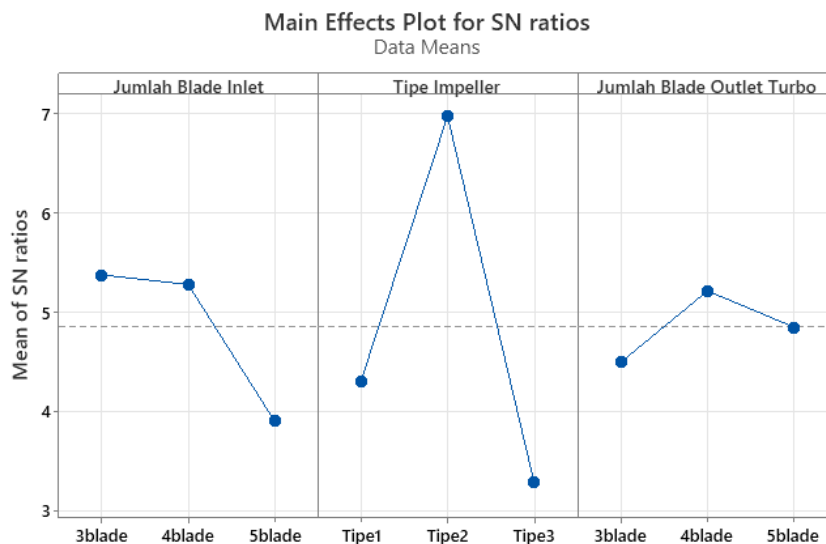
Larger is better

Level	Jumlah Blade Inlet	Tipe Impeller	Jumlah Blade Outlet Turbo
1	5.375	4.304	4.497
2	5.278	6.972	5.213
3	3.906	3.283	4.848
Delta	1.469	3.689	0.717
Rank	2	1	3

Gambar 5. Tabel Respon

Dari tabel respon yang dihasilkan, maka dapat disimpulkan bahwa memang benar *impeller* merupakan komponen yang paling berpengaruh terhadap performa sistem propulsi yang digunakan. Kemudian

jumlah *blade inlet* dan jumlah *blade outlet turbo* menjadi urutan yang memiliki pengaruh selanjutnya. Grafik pengaruh dari jumlah *blade inlet*, tipe *impeller*, dan jumlah *blade outlet turbo* disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hasil untuk S/N Ratio

#### 4. SIMPULAN

Dari percobaan yang dilakukan menggunakan *waterjet thruster* berdiameter 11/4 inci dengan perahu uji dengan massa 8.03 kg dapat disimpulkan bahwa karakteristik komponen *waterjet thruster* memiliki pengaruh terhadap gaya dorong yang dihasilkan. Gaya dorong tertinggi berada pada eksperimen ke 9 dengan gaya dorong sebesar 2.281 newton menggunakan kombinasi jumlah *blade inlet* 5 buah, *impeller* tipe kedua, dan jumlah *blade outlet turbo* berjumlah 3 buah. Sedangkan gaya dorong terendah sebesar 1.3 newton, sehingga memiliki selisih 0.981 newton, kemudian memang benar *impeller* merupakan komponen yang paling berpengaruh terhadap performa sistem propulsi yang digunakan. Kemudian jumlah *blade inlet* dan jumlah *blade outlet turbo* menjadi urutan yang memiliki pengaruh selanjutnya.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang terlibat atas segala bentuk dukungan yang diberikan hingga penelitian ini dapat selesai, khususnya kepada seluruh keluarga penulis, kepada kedua Dosen Pembimbing yang selalu membimbing, mendampingi, serta mengarahkan penulis selama penelitian ini berlangsung. Serta kepada rekan seperjuangan atas kerja sama yang diberikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. W. H. Bulten, "A breakthrough in waterjet propulsion systems," Doha Int. Marit. Def. Exhib. Conf., no. March, hal. 2-7, 2008, [Daring]. Tersedia pada: [http://www.rusiqatar.org/attach/7B\\_SHIP DESIGN & MAINTENANCE - NORBERT BULTEN.pdf](http://www.rusiqatar.org/attach/7B_SHIP DESIGN & MAINTENANCE - NORBERT BULTEN.pdf)
- [2] X. Luo, W. Ye, R. Huang, Y. Wang, T. Du, dan C. Huang, "Numerical investigations of the energy performance and pressure fluctuations for a waterjet pump in a non-uniform inflow," *Renew. Energy*, vol. 153, hal. 1042-1052, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.02.081.
- [3] J. H. BRANDAU, "Performance of Waterjet Propulsion Systems- A Review of the State-of-the-Art," *J. Hydronautics*, vol. 2, no. 2, hal. 61-73, 1968, doi: 10.2514/3.62775.
- [4] N. W. H. Bulten, Numerical Analysis of a Waterjet Propulsion System, vol. 1, no. 2006. 2006. doi: 10.6100/IR614907.
- [5] S. Wilastari dan B. Santoso, "Studi Kasus Perbaikan Daun Baling-Baling Kapal Tug Boat Akibat Patah dan Fouling," hal. 24-28, 2019.
- [6] Sumardi, N. Fasni, Martunis, dan Munzir, "Tinjauan Efektifitas Dan Perbandingan Kinerja Mesin Tempel Outboard Jenis Propeller Baling-Baling Konvensional Dengan Propeller Jenis Water Jet Propulsion," vol. 4, no. 1, hal. 121-127, 2020.
- [7] Y. Rahardian Andilolo, P. Manik, dan M. Iqbal, "Studi Kasus Kinerja Propeller Kaplan Series Akibat Pengurangan Diameter dan Penambahan End Plate dengan Metode CFD," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, hal. 205, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>
- [8] A. F. Molland, S. R. Turnock, dan D. A. Hudson, "Ship Resistance and Propulsion," Cambridge Univ. Press, 2011, doi: 10.1017/cbo9780511974113.
- [9] K. C. P. Lumbanraja, D. Chrismiando, dan S. Samuel, "Perhitungan Nilai Maksimum Thrust, Torque, dan Efficiency Propeller Tipe B-4 Series pada Kapal Tugboat dengan Modifikasi Diameter, Rake, dan Pitch menggunakan Metode Komputasi," *J. Rekayasa Hijau*, vol. 5, no. 1, hal. 63-78, 2021, doi: 10.26760/jrh.v5i1.63-78.
- [10] M. A. Budiyanto, J. Novri, M. I. Alhamid, dan Ardiyansyah, "Analisis nosel konvergen dan divergen- konvergen dari propulsi waterjet dengan simulasi CFD," vol. 010001, no. Imat 2018, 2019.
- [11] H. Hasdiansah, M. Masdani, I. Feriadi, dan ..., "Optimasi Parameter Proses Terhadap Akurasi Dimensi Pla Food Grade Menggunakan Metode Taguchi," Pros. Semin. Nas. NCIET Vol.1 A175-A186, vol. 1, hal. 175-186, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <http://conf.nciet.id/index.php/nciet/article/view/150%0Ahttp://conf.nciet.id/in>

- dex.php/nciet/article/download/150/231
- [12] M. Attaran, "The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing," *Bus. Horiz.*, vol. 60, no. 5, hal. 677-688, 2017, doi: 10.1016/j.bushor.2017.05.011.
- [13] Pristiansyah, Hardiansah, dan Sugiyarto, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, hal. 0-7, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>
- [14] Hasdiansah dan Pratama, "Pengaruh Parameter Proses Slicing Software Terhadap Kekasaran Permukaan Printing Part Filamen ST-PLA," *J. Teknol. Manufaktur*, vol. 13, no. 01, hal. 1-8, 2021.
- [15] Y. Subakti, Hasdiansah, dan Z. Kurniawan, "Pengaruh Media, Temperatur Dan Waktu Perlakuan Annealing Pada Spesimen Standar ASTM D638 Type IV Menggunakan Filamen ST PLA," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 3, no. 1, hal. 7-14, 2021, doi: 10.36655/sprocket.v3i1.569.
- [16] A. Aris Setiawan, B. Wiro Karuniawan, dan N. Arumsari, "Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis," *Proc. Conf. Des. Manuf. Eng. its Appl.*, no. 2654, hal. 165-168, 2018.
- [17] B. Gunawan, "Metode Taguchi Sebagai Salah Satu Alternatif Pengendalian Biaya Mutu," *J. Akunt. dan Investasi*, vol. 2, no. 1, hal. 44-55, 2001.
- [18] D. H. Tangahu dan T. H. Ningsih, "Optimasi Komposit Serat Kersen Kekuatan Bending Dengan Menggunakan Metode Taguchi," hal. 282, 2008.
- [19] Ş. 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, no. April 2015, hal. 139-149, 2015, doi: 10.1016/j.measurement.2015.01.027.
- [20] H. A. Pamasaria, T. H. Saputra, A. S. Utama, dan C. Budiyanoro, "Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3D Printing berbahan Plastik PP Daur Ulang dengan Menggunakan Metode Taguchi," *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 4, no. 1, hal. 12-19, 2020, doi: 10.18196/jmpm.4148.