

Optimasi Variasi Jumlah *Blade Inlet*, Tipe *Impeller*, dan Jumlah *Blade Outlet Turbo* terhadap Gaya Dorong menggunakan Metode *Taguchi*

Marcellino Stevanus Seva, Zaldy Kurniawan, Hasdiansah*

¹Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Kawasan industri air kantung, Sungailiat, Kepulauan Bangka Belitung 33211
phiannttarah@yahoo.co.id

Revisi 2 November 2023; Diterima 15 November 2023; publikasi Online 20 Desember 2023

Abstrak, Desain dari sistem propulsi sangat berperan terhadap gaya dorong yang dihasilkan pada transportasi laut. Dengan sistem propulsi yang optimal, maka efisiensi pada transportasi laut tersebut dapat meningkat. Penelitian ini akan mencari kombinasi komponen waterjet thruster berdiameter 1¹/₄ inci yang optimal menggunakan metode taguchi. Komponen waterjet thruster yang akan digunakan, dibuat menggunakan teknologi FDM untuk mendapatkan akurasi dimensi yang diinginkan. Pengambilan data menggunakan perahu uji yang berbobot 8 Kg yang akan diintal waterjet thruster dengan kombinasi komponen yang telah ditetapkan. Variabel yang digunakan adalah jumlah blade inlet, tipe impeller, dan jumlah blade outlet turbo. Level jumlah blade inlet dan outlet yang digunakan adalah 3, 4, dan 5. Tipe impeller yang digunakan adalah impeller yang digunakan pada jetski untuk tipe 1, impeller normal pada perahu untuk jenis 2, dan toroidal untuk jenis 3. Matriks ortogonal yang digunakan pada penelitian adalah $L_9 (3^3)$. Dari hasil pengujian gaya dorong, didapatkan bahwa gaya dorong terbesar dicapai dengan kombinasi jumlah blade inlet 4 blade, impeller tipe 2, dan jumlah blade outlet turbo 5 blade dengan gaya dorong sebesar 2.231 Newton. Respon *S/N ratio* yang didapatkan menyatakan bahwa gaya dorong yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh tipe impeller, kemudian jumlah blade outlet turbo, dan yang terakhir adalah jumlah blade inlet.

Kata kunci : FDM, gaya dorong, impeller, taguchi, waterjet thruster

1. Pendahuluan

Performa transportasi laut sangat bergantung pada sistem propulsi yang dimiliki. Semakin tinggi gaya dorong yang dapat dihasilkan oleh sistem propulsi tersebut, maka transportasi laut tersebut dapat melaju lebih kencang [1]. Performa dari sistem propulsi harus memiliki dua hal vital untuk dapat menjadi efisien, yaitu gaya dorong yang dihasilkan dan ketangguhan sistem propulsi tersebut dalam beroperasi. Umumnya sistem propulsi konvensional rentan terjadi kerusakan pada propeller yang diakibatkan oleh benturan dengan benda asing dibawah permukaan air [2]. Seiring berkembangnya teknologi, sistem propulsi ikut berkembang untuk mengatasi permasalahan yang dialami, salah satunya kerusakan propeller akibat benturan. Sistem propulsi yang dikembangkan tersebut diberi nama *Marine Jet* [3] dan kini dikenal dengan *waterjet thruster* yang menggunakan prinsip *Archimedean Screw* dengan baling-baling berbentuk ulir yang disebut dengan *impeller*. Dengan desain yang tertutup, tidak akan terjadi benturan yang akan merusak *impeller*. Sistem waterjet memanfaatkan semburan yang dihasilkan dari sistem pompa untuk menghasilkan gaya dorong [4]. Secara sederhana sistem *waterjet thruster* memanfaatkan perubahandiameter pada jalur outlet sehingga terjadi peningkatan momentum seperti saat ujung selang air dijepit [5]. Gaya dorong merupakan aspek vital dalam mengatasi hambatan pada transportasi laut [6]. Menurut Simbolon dkk, gaya dorong yang dihasilkan bergantung pada bentuk *impeller* yang digunakan [7]. Jumlahblade yang digunakan juga berpengaruh terhadap gaya dorong yang dihasilkan [8].

Metode FDM mempunyai keunggulan dalam mencetak produk dengan bentuk yang kompleks dan teliti [9]. Filamen ST-PLA memiliki kekuatan bentur yang lebih tinggi dibandingkan PLA normal [10]. Konfigurasi parameter optimum pada filament ST-PLA dengan suhu *Nozzle* 205°C, ketebalan tiap lapisan 0.3mm, serta kecepatan aliran 100% [11]. *Turbojet drive* yang pernah diuji menggunakan metode 3D *printing* dapat menjadi teknologi tepat guna yang bermanfaat bagi masyarakat nelayan dalam efisiensi bahan bakar[12]

Metode taguchi merupakan metode yang digunakan untuk menyederhanakan eksperimen yang dilakukan dengan urutan-urutan faktor dan level yang digunakan [13]. Penentuan faktor dan level pada taguchi menggunakan matriks yang dikenal dengan matriks ortogonal dalam pemilihan kombinasi faktor dan level yang digunakan[14]. Dari hasil kombinasi eksperimen berdasarkan matriks ortogonal yang ditentukan taguchi, data yang didapatkan akan diolah menjadi *signal to noise* [15].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan mencari kombinasi komponen *waterjet thruster* yang optimal terhadap gaya dorong yang dihasilkan menggunakan desain penelitian *taguchi*. Kemudian untuk mendapatkan dimensi yang akurat, maka digunakan FDM untuk mencetak komponen *waterjet thruster* yang akan digunakan.

2. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini untuk mendapatkan data berupa eksperimen menggunakan perahu uji berbahan pipa PVC yang dilengkapi dengan penggerak berupa bor berkecepatan 4600 RPM dan memiliki bobot 8 Kg dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perahu Uji

Penelitian ini dimulai dari studi literatur untuk mencari permasalahan yang berada di masyarakat sekitar, kemudian dilanjutkan dengan perencanaan, perancangan, proses manufaktur, dan pengujian untuk besar gaya dorong yang dihasilkan dan hasil pengujian tersebut kemudian akan diolah menggunakan metode *Taguchi*.

2.1 Desain Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah variasi komponen *waterjet thruster* seperti *inlet*, *impeller*, dan *outlet turbo*. Untuk lebih jelas, variabel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

(A) Variabel Bebas	Level	Faktor		
		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>
(B) Variabel Terikat	Gaya Dorong			

2.2 Ortogonal Array Penelitian

Ortogonal Array penelitian ditentukan berdasarkan jumlah total derajat kebebasan yang dimiliki oleh faktor penelitian. *Ortogonal Array* yang dipilih harus lebih besar atau sama dengan jumlah derajat kebebasan yang dimiliki faktor. Berdasarkan Tabel 1, derajat kebebasan dapat dihitung seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Derajat Kebebasan

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

Dari tabel 2, diketahui bahwa jumlah derajat kebebasan dari keseluruhan faktor berjumlah 6. Dalam *Orthogonal Array* (3^3) tersedia L_9 dan L_{18} , untuk menyederhanakan penelitian dapat digunakan *Orthogonal Array* L_9 (3^3). Eksperimen dilakukan secara acak dengan kombinasi variable proses mengacu pada rancangan percobaan yang sesuai dengan *Orthogonal Array*. Pengacakan ini dilakukan dengan menggunakan *randomizer numeric* melalui bantuan *software statistic*. Desain eksperimen tersebut dapat dilihat pada tabel 3.

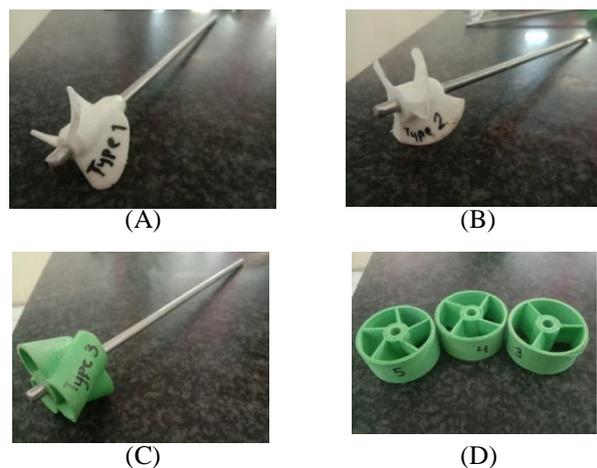
Tabel 3. Desain Eksperimen

Nomor	Faktor		
	Jumlah <i>Blade Inlet</i>	Tipe <i>Impeller</i>	Jumlah Blade Outlet Turbo
1	3 blade	Tipe 1	3 Blade
2	3 blade	Tipe 2	4 Blade
3	3 blade	Tipe 3	5 Blade
4	4 blade	Tipe 1	4 Blade
5	4 blade	Tipe 2	5 Blade
6	4 blade	Tipe 3	3 Blade
7	5 blade	Tipe 1	5 Blade
8	5 blade	Tipe 2	3 Blade
9	5 blade	Tipe 3	4 Blade

2.3 Proses Manufaktur

Proses manufaktur merupakan langkah pembuatan semua alat atau komponen yang akan digunakan. Proses manufaktur ini dilakukan untuk membuat *waterjet thruster* berdiameter tabung $1\frac{1}{4}$ inci dengan bahan pipa PVC.

Metode yang digunakan dalam proses pembuatan komponen *waterjet thruster* adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM). Dengan keunggulan akurasi dimensi yang sesuai, komponen yang diproduksi dapat sesuai dengan desain yang diinginkan. Sehingga faktor-faktor yang ditetapkan dapat sesuai dengan produk. Produk hasil FDM disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. (A) *Impeller* tipe 1 (B) *Impeller* tipe 2 (C) *Impeller* tipe 3 (D) *Inlet*

Komponen tersebut akan dikombinasikan sesuai desain penelitian yang telah dibuat dan menjadi kesatuan *waterjet thruster* yang utuh. Setelah itu, *waterjet thruster* tersebut diinstal pada perahu uji untuk dilakukan pengujian gaya dorong yang dihasilkan.

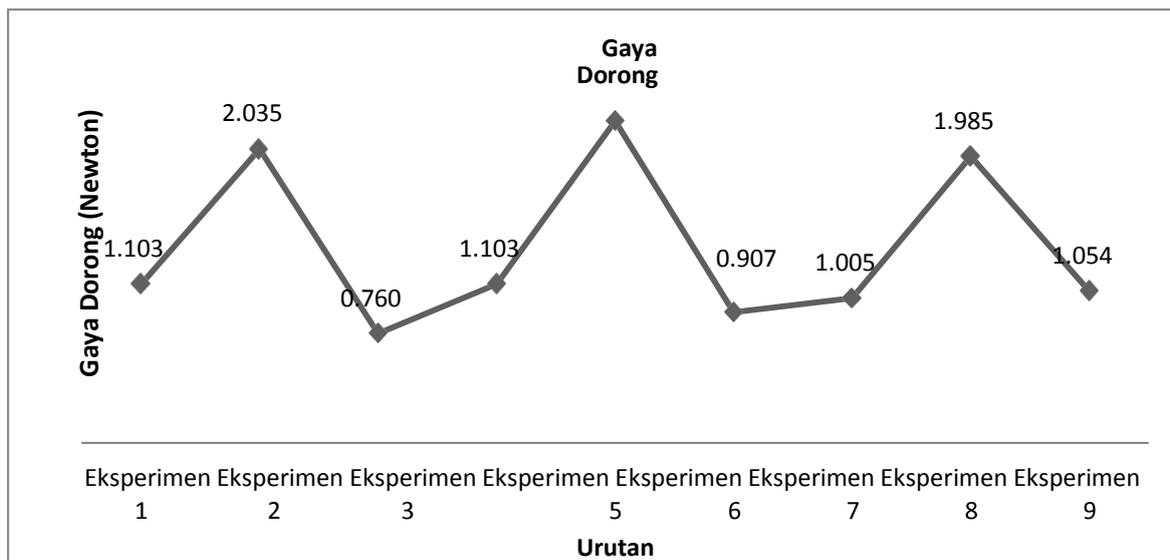
3. Hasil dan Diskusi

Berikut data hasil pengujian *waterjet thruster* dengan kecepatan 4600 RPM setelah melewati proses pengolahan data dari neraca yang mengukur massa dengan satuan Kilogram yang kemudian dirata- ratakan dan diubah menjadi Newton dengan dikalikan percepatan gravitasi sesuai dengan hukum Newton dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian

No	Faktor			Rata - Rata	Gaya Dorong
	Jumlah Blade Inlet	Tipe Impeller	Jumlah Blade Outlet Turbo		
1	3 blade	3 blade type 1	3 blade	0,112 Kg	1.103 N
2	3 blade	3 blade type 2	4 blade	0,207 Kg	2.035 N
3	3 blade	3 blade type 3	5 blade	0,077 Kg	0.760 N
4	4 blade	3 blade type 1	4 blade	0,112 Kg	1.103 N
5	4 blade	3 blade type 2	5 blade	0,227 Kg	2.231 N
6	4 blade	3 blade type 3	3 blade	0,092 Kg	0.907 N
7	5 blade	3 blade type 1	5 blade	0,102 Kg	1.005 N
8	5 blade	3 blade type 2	3 blade	0,202 Kg	1.985 N
9	5 blade	3 blade type 3	4 blade	0,107 Kg	1.054 N

Dari tabel 3, diketahui gaya dorong terbesar didapatkan dengan kombinasi jumlah *blade inlet* 4 *blade*, *impeller* tipe 2, dan jumlah *blade outlet* turbo 5 *blade* dengan gaya dorong sebesar 2.231 Newton. Sedangkan gaya dorong terendah didapat pada kombinasi *blade inlet* berjumlah 3 *blade*, tipe *impeller* ketiga, dan *blade outlet turbo* berjumlah 5 *blade* dengan gaya dorong sebesar 0.760 Newton. Pengaruh kombinasi jumlah *blade inlet*, tipe *impeller*, dan jumlah *blade outlet turbo* dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Grafik Gaya Dorong Eksperimen

Data tersebut kemudian diolah menggunakan metode *taguchi* untuk mendapatkan pengaruh masing-masing faktor terhadap gaya dorong berdasarkan S/N ratio yang dihasilkan dari penelitian tersebut. Gambar 4 menunjukkan hasil analisa ANOVA untuk S/N ratio dengan bantuan *software statistic*.

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Jumlah Blade Inlet	2	1.004	1.004	0.5022	0.37	0.728
Tipe Impeller	2	88.864	88.864	44.4318	33.02	0.029
Jumlah Blade Outlet Turbo	2	1.357	1.357	0.6785	0.50	0.665
Residual Error	2	2.691	2.691	1.3454		
Total	8	93.916				

Gambar 4. S/N Ratio Pengujian Gaya Dorong

Setelah itu, S/N Ratio disusun berdasarkan rata-rata faktor yang digunakan untuk mendapatkan faktor yang berperan dalam pengaruh gaya dorong yang dihasilkan *waterjet thruster*. Data tersebut disajikan pada Gambar 5.

Larger is better

Level	Jumlah Blade Inlet	Tipe Impeller	Jumlah Blade Outlet Turbo
1	1.5499	0.5869	1.9915
2	2.3286	6.3695	2.4972
3	2.1571	-0.9209	1.5468
Delta	0.7787	7.2905	0.9505
Rank	3	1	2

Gambar 5. Respon S/N Ratio

Dari gambar tersebut, dinyatakan bahwa pengaruh terbesar berada pada tipe impeller yang digunakan kemudian jumlah blade outlet turbo.



Gambar 6. Grafik S/N Ratio

Pada Gambar 6, ditampilkan grafik pengaruh jumlah *blade inlet*, tipe *impeller*, dan jumlah *blade outlet turbo* terhadap gaya dorong yang dihasilkan berdasarkan rata-rata S/N Ratio hasil perhitungan *taguchi*. Dapat dilihat bahwa faktor yang memiliki interval paling signifikan adalah tipe *impeller* yang berarti memang benar bahwa tipe *impeller* menjadi faktor yang paling berpengaruh.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa gaya dorong dipengaruhi oleh sistem propulsi yang digunakan, sehingga sistem propulsi yang optimal sangat dibutuhkan untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi. Pada *waterjet thruster* dengan berdiameter 1¹/₄ inci, gaya dorong tertinggi didapat dengan kombinasi *blade inlet* berjumlah 4 dan *blade outlet turbo* berjumlah 5 blade dengan gaya dorong sebesar 2.231 Newton. Dari tabel respon yang didapatkan dari S/N ratio, pengaruh gaya dorong sangat dipengaruhi oleh tipe *impeller* yang digunakan, kemudian jumlah *blade inlet* dengan peringkat kedua.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat selesai tentunya tidak terlepas dari bantuan pihak lain. Maka dari itu, Terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian ini, khususnya dosen pembimbing dan rekan seperjuangan yang selalu membimbing dan membantu setiap proses penelitian hingga selesai.

Daftar Pustaka

- [1] S. Wilastari dan B. Santoso, "Studi Kasus Perbaikan Daun Baling-Baling Kapal Tug Boat Akibat Patah dan Fouling," hal. 24–28, 2019.
- [2] E. S. Koehardono, I. R. Kusuma, dan H. Nugroho, "Aplikasi Sistem Propulsi Hybrid Shaft Generator (Propeller And Waterjet) Pada Kapal Patroli Trimaran," 2010.
- [3] B. Robert dan E. B. Brown, "Propulsi Kapal," no. 1, hal. 1–14, 2004.
- [4] A. Maulana, *Kajian Teknis Perancangan Sistem Propulsi Waterjet*. 2017.
- [5] 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.
- [6] P. I. Agustinus, "Diktat Kuliah Mekanika Teknik (Statika Struktur)," *Diktat*, vol., hal. 1–88, 2007.
- [7] H. Simbolon, A. Trimulyono, dan G. Rindo, "Analisa Nilai Maximum Thrust Propeller B-Series Dan Kaplan Series Pada Kapal Tugboat Arij 400 Hp Dengan Variasi Diameter, Jumlah Daun, Sudut Rake Menggunakan Cfd," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 4, hal. 394–404, 2015.
- [8] A. Munawir, G. Rubiono, dan H. Mujianto, "Studi Prototipe Pengaruh Sudut Kemiringan Poros Baling-Baling Terhadap Daya Dorong Kapal Laut," *V-MAC (Virtual ...*, vol. 2, no. 1, hal. 18–24, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unibabwi.ac.id/index.php/vmac/article/view/113>
- [9] 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>
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] H. Hasdiansah, P. Pristiansyah, dan I. Feriadi, "Iptek Bagi Masyarakat Pemanfaatan Turbojet Drive Produk 3D Printing Untuk Perahu Nelayan Sungai Desa Sempan-Bangka," *J. Pengabd. Masy. Polmanbabel*, vol. 1, no. 01, hal. 14–20, 2021, doi: 10.33504/dulang.v1i01.157.
- [13] D. H. Tangahu dan T. H. Ningsih, "Optimasi Komposit Serat Kersen Kekuatan Bending Dengan Menggunakan Metode Taguchi," hal. 282, 2008.
- [14] 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, no. April 2015, hal. 139–149, 2015, doi: 10.1016/j.measurement.2015.01.027.
- [15] H. A. Pamasaria, T. H. Saputra, A. S. Hutama, 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.