

PERANCANGAN TURBIN PELTON SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DI SUNGAI JLAMPRANG DESA GENITO, WINDUSARI

1) Program studi S1 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsan, Magelang, Jawa Tengah, Indonesia.

Corresponding email^{1*)}:
zanuar.mahessa2002@gmail.com

Received: 09-12-2024

Accepted: 06-01-2025

Published: 28-12-2025

©2025 Politala Press.
All Rights Reserved.

Yanuar Nugraha Husni Maulana^{1*)}

Abstrak. Penelitian ini membahas perancangan turbin Pelton untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Jlamprang, Desa Genito, Windusari. Tujuannya adalah untuk menggunakan aliran sungai sebagai sumber energi terbarukan dengan debit aliran air yang besar. Metode meliputi analisis potensi daya, desain turbin menggunakan CAD, dan simulasi fluida dinamis dengan ANSYS untuk mengevaluasi performa. Optimasi desain dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai kecepatan jet, yakni 45 m/s, 50 m/s, dan 55 m/s. Kecepatan jet optimal 55 m/s menghasilkan daya 53 kW, efisiensi 86%, torsi 1124 Nm, dan tekanan 8,2 Pa, meski turbulensi meningkat. Desain melibatkan pengaturan diameter nozzle, jumlah, dan dimensi sudu untuk memaksimalkan kinerja. Hasil menunjukkan distribusi fluida yang optimal, menjadikan PLTMH ini solusi energi berkelanjutan untuk daerah pedesaan. Teknologi ini diharapkan mampu meningkatkan kemandirian energi Desa Genito dan mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional.

Kata Kunci: PLTMH, Turbin Pelton, Velocity jet, Efisiensi.

Abstract. This study discusses the design of a Pelton turbine for a Micro Hydro Power Plant (PLTMH) in the Jlamprang River, Genito Village, Windusari. The goal is to utilize the potential of river flow with a large head and water discharge as a source of renewable energy. The methods include power potential analysis, turbine design using CAD, and dynamic fluid simulation with ANSYS to evaluate performance. Design optimization is carried out by considering various jet velocities, namely 45 m/s, 50 m/s, and 55 m/s. The optimal jet speed of 55 m/s produces 53 kW of power, 86% efficiency, 1124 Nm of torque, and 8.2 Pa of pressure, although turbulence increases. The design involves adjusting the nozzle diameter, number, and dimensions of the blades to maximize performance. The results show optimal fluid distribution, making this PLTMH a sustainable energy solution for rural areas. This technology is expected to increase the energy independence of Genito Village and reduce dependence on conventional electricity.

Keywords: PLTMH, Pelton Turbine, Velocity jet, Efficiency

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v12i2.326>

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi meningkat seiring pertumbuhan populasi, tetapi ketersediaan energi global tidak mencukupi, terutama energi listrik. Sumber energi seperti minyak bumi dan batu bara semakin menipis karena tidak dapat diperbarui, sementara energi nuklir berisiko tinggi akibat radiasi. Salah satu solusi adalah memanfaatkan sumber energi baru dan terbarukan, seperti energi air yang ramah lingkungan. Indonesia memiliki potensi besar dalam memanfaatkan energi air untuk pembangkit listrik, melalui tenaga potensial dari air terjun dan aliran sungai [1]. Dari 55.000 MW yang diperlukan, PLN hanya akan membangun 32.000 MW atau 57% dari daya tersebut. [2].

Desa Genito, Kecamatan Windusari, Kabupaten Magelang, memiliki potensi besar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) karena kondisi geografinya yang mendukung, seperti Sungai Jlamprang dengan aliran stabil dan daerah tangkapan air yang terjaga. Namun, pemanfaatan sungai ini masih terbatas, sering digunakan sebagai tempat pembuangan sampah. Pembangunan PLTMH diharapkan dapat memenuhi kebutuhan energi lokal dan mendukung kelestarian lingkungan [3]

2. Tinjauan Pustaka

Pengembangan turbin mikrohidro terus maju untuk mendukung energi terbarukan. Penelitian terkini fokus pada desain efisien dengan mempertimbangkan aliran air, ketinggian jatuh, dan kebutuhan daya, serta inovasi dalam efisiensi dan material anti korosi. Turbin ini potensial mendukung energi mandiri bagi komunitas terpencil [4]. Turbin air menggunakan energi fluida kerja untuk memutar rodanya, dimana air, uap, dan gas adalah fluida kerja yang digunakan[5]

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik mikro yang menggunakan energi air untuk dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak. Sumber air, turbin, dan generator dalam sistem ini mengubah energi potensial air dari ketinggian menjadi daya listrik. Energi yang dihasilkan sebanding dengan jatuhnya air[6]. Turbin pelton digunakan dalam pembangkit listrik skala besar dan kecil, terutama di daerah terpencil dengan aliran air tinggi atau rendah. Turbin ini juga mendukung jaringan listrik cerdas dan membantu menjaga keseimbangan antara kebutuhan energi, ekologi, dan manusia [7].

Terdapat juga segitiga kecepatan pada sudu turbin pelton menggambarkan hubungan antara kecepatan aliran masuk, kecepatan rotasi sudu, dan kecepatan relatif air terhadap sudu. Diagram ini penting untuk menganalisis transfer energi dan menentukan efisiensi optimal dengan menyesuaikan kecepatan periferal (U) dan kecepatan aliran masuk (C_1). Analisis ini didukung oleh persamaan kecepatan dalam perancangan turbin [8]. Pada penelitian ini menggunakan *software ANSYS* untuk simulasi. Menurut Tim Langlais (1999), ANSYS adalah elemen analisis program yang memiliki kemampuan untuk menganalisis berbagai jenis masalah secara menyeluruh. Persamaan diferensial dapat dipecah oleh ANSYS menjadi bagian yang lebih kecil [9].

3. Metodologi

Metodologi pada penelitian ini difokuskan untuk memastikan semua proses analisis dan perancangan dapat dilaksanakan secara maksimal, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan

Berikut proses penelitian:

1. Studi Literatur dan Survei Lokasi
pengumpulan data dari jurnal-jurnal ilmiah dan penelitian terkait PLTMH yang sudah dilakukan sebelumnya dan melakukan analisis terhadap tempat yang digunakan untuk penelitian.
2. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data seperti rumus-rumus serta metode yang digunakan untuk penelitian.
3. Analisis Parameter Dasar
Mencari data awal yang digunakan untuk perancangan desain turbin dan simulasi.
4. Menentukan Desain Turbin
Merancang dan menentukan desain turbin sesuai kebutuhan seperti aliran air yang terdapat pada sungai tersebut sangat mempengaruhi desain turbin.
5. Simulasi
Melakukan uji coba menggunakan *software ANSYS R1 2024* untuk mengetahui efisiensi turbin tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini berupa data awal berupa perhitungan-perhitungan teoritis dan hasil berupa simulasi terhadap desain turbin yang telah dirancang. Hasil dari data awal bisa diuraikan sebagai berikut:

- 1) *Head* awal hasil pengukuran = 157 m
- 2) Kecepatan aliran air menggunakan metode apung [10].

$$v = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Dimana:

v = kecepatan aliran air (m/s),

d = jarak antara titik awal dan titik akhir (m),

t = waktu yang dibutuhkan benda apung untuk bergerak dari titik awal ke titik akhir (s).

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Air Menggunakan Metode Apung

No	Jarak dari titik awal – akhir (m)	Waktu (s)
1.	20	29,39
2.	20	26,01
3.	20	26,32
4.	20	27,44
5.	20	29,45
Rata – rata waktu		27,72

$$t_{rata-rata} = \frac{29,39 + 26,01 + 26,32 + 27,44 + 29,45}{5} = 27,72 \text{ detik}$$

$$v = \frac{20}{27,72} = 1,38 \text{ m/s}$$

dengan pipa saluran yang digunakan $0,029 \text{ m}^2$ jadi:

$$Q = A \times V \quad (2)$$

Dimana:

Q = laju aliran (m^3/s)

A = luas penampang aliran (m^2)

v = kecepatan aliran air (m/s)

$$Q = 0,029 \times 1,38 = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 3) Daya air yang dihasilkan sebagai berikut:

$$Wh_p = p \times g \times Q \times H \quad (3)$$

Dimana:

p = Densitas Air (Kg/m^3)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

Q = Aliran Air (m^3/s)

H = Tinggi Jatuh Air

$$Wh_p = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,04 \text{ m}^3/\text{s} \times 157 \text{ m}$$

4) $W_{hp} = 61.606,8 \text{ Watt}$
Kecepatan *Velocity Jet*

$$V_1 = \sqrt{2gxh} \quad (4)$$

Dimana:

V = *Velocity jet*

g = Percepatan Gravitasi

H = *Head*

$$V_1 = \sqrt{2 \times 9,81 \times 157}$$

$$V_1 = 55,50 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,81 \times 136}$$

$$V_2 = 50 \text{ m/s}$$

$$V_3 = \sqrt{2 \times 9,81 \times 114}$$

$$V_3 = 45 \text{ m/s}$$

5) Dimensi turbin pelton

Tabel 2. Spesifikasi DImensi Desain Sudu

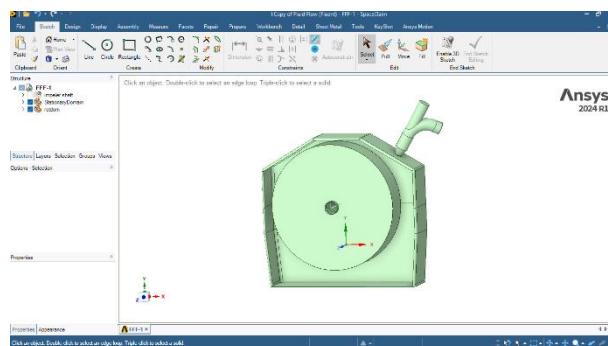
No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Diameter nossel	30,7 mm
2.	Jumlah sudu	18 buah
3.	Lebar sudu	156,8 mm
4.	Tunggi sudu	94,08 mm
5.	Dalam sudu	35,28 mm
6.	Celah sudu	43,12 mm
7.	Dalam celah sudu	13,72 mm
8.	Diameter <i>Runner</i>	1100 mm

6) Hasil simulasi

Dari hasil pengujian analisis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang telah dilakukan pada kinerja turbin pelton dengan variasi *velocity jet* pada variasi 55 m/s, 50 m/s, 45 m/s pada *software ansys fluent 2024 R1* diperoleh hasil data seperti berikut:

a. Geometri turbin

Hasil gambar geometri berfungsi sebagai landasan seluruh simulasi, mulai dari pembentukan *mesh* hingga penerapan kondisi batas dan interpretasi hasil.

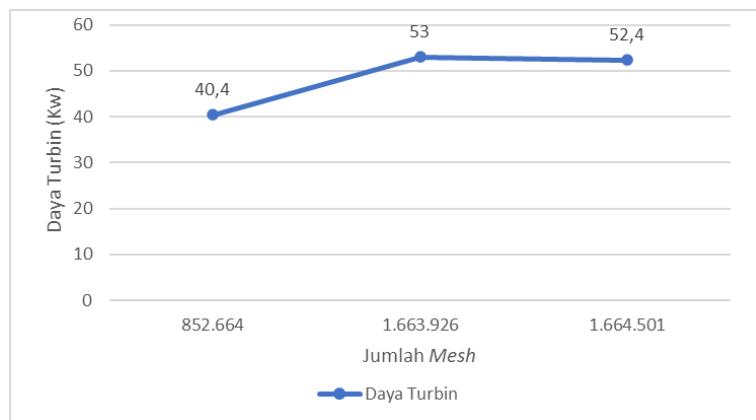


Gambar 2. Geometri Turbin

Hasil dari geometri yang telah dibuat pada Gambar 2. ini mampu merepresentasikan objek atau sistem yang akan dianalisis secara numerik melalui metode elemen hingga (*Finite Element Analysis*, FEA) atau metode volume hingga (*Finite Volume Method*, FVM), sesuai dengan jenis studi yang dilaksanakan. Dengan bentuk geometri yang simpel mempengaruhi bentuk model fisik untuk analisis.

b. *Mesh independence test*

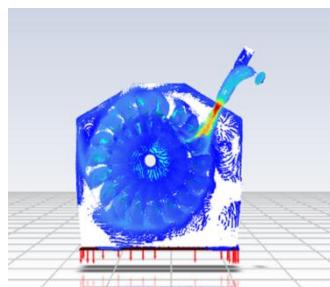
Grafik ini menggunakan parameter daya turbin (kW). Untuk penelitian ini penulis menggunakan jumlah *Mesh* yang 1.663.926 karena tingkat ketelitian lebih stabil yang berdampak pada hasil yang lebih akurat dan lebih stabil. Dapat dilihat pada Gambar 3.



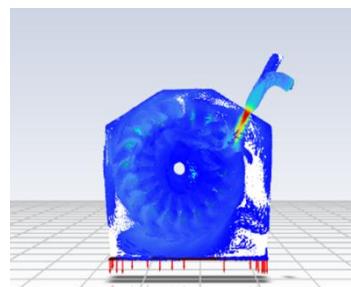
Gambar 3. Hasil Jumlah *Mesh*

Dari hasil uji *mesh independence* pada Gambar 4, terlihat bahwa semakin banyak jumlah *mesh*, semakin tinggi tingkat ketelitian perhitungan yang diperoleh. Namun, jika jumlah *mesh* terlalu banyak, terdapat risiko terjadinya kesalahan dalam proses *meshing* [11]

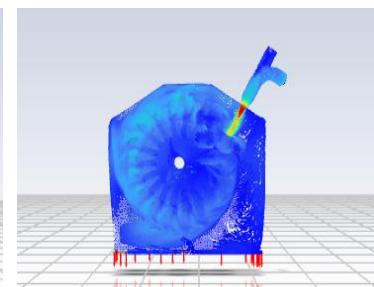
- c. Fluida yang diarahkan melalui *nozzle* menuju sudu-sudu turbin dengan kecepatan tinggi dirancang untuk beroperasi pada tekanan atmosfer, sehingga seluruh energi potensial air diubah menjadi energi kinetik sebelum mencapai sudu [12]. Dapat dilihat pada Gambar 4 a), b), c) berikut:



Gambar 4.a. Distribusi Aliran Fluida 45 m/s



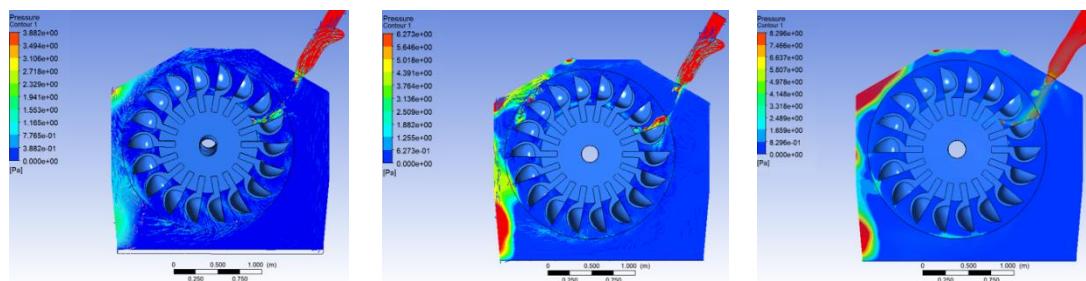
Gambar 4.b. Distribusi Aliran Fluida 50 m/s



Gambar 4.c. Distribusi Aliran Fluida 55 m/s

d. *Pressure* pada turbin

Perubahan *pressure* yang muncul akibat dari perubahan kecepatan fluida saat bergerak melalui ruang atau permukaan. Berdasarkan prinsip Bernoulli, ketika fluida mengalami percepatan atau perlambatan, terjadi perubahan tekanan di sekitar permukaan benda seperti pada Gambar 5 a), b), c).



Gambar 5.a. Pressure Yang Dihasilkan Dari Velocity Jet 45 m/s

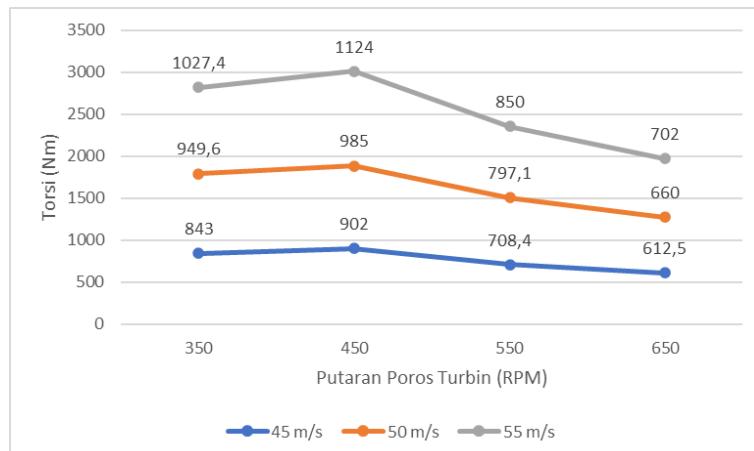
Gambar 5.b. Pressure Yang Dihasilkan Dari Velocity Jet 45 m/s

Gambar 5.c. Pressure Yang Dihasilkan Dari Velocity Jet 45 m/s

Penelitian ini pernah dilakukan oleh [13] dengan mengatur bukaan diameter *nozzle* yang mempengaruhi kecepatan aliran fluida menyebabkan *pressure* yang didapatkan turbin juga berbeda-beda

e. Torsi yang dihasilkan

Torsi menunjukkan kemampuan turbin untuk menghasilkan gaya putar ketika aliran fluida menggerakkan sudu turbin. Dari hasil simulasi pada Gambar 5 menunjukkan variasi putaran poros turbin dengan torsi yang dihasilkan. Bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Torsi Dengan Poros Turbin

Secara umum, torsi cenderung menurun saat RPM meningkat dalam suatu rentang tertentu. Pada RPM rendah hingga menengah, torsi sering kali tinggi karena lebih banyak waktu bagi fluida untuk mentransfer energi ke sudu. Namun, pada RPM yang sangat tinggi, aliran fluida mungkin mulai berkurang efektivitasnya dalam mentransfer energi, sehingga torsi bisa menurun [14]. Keluaran daya teoritis tertinggi yang dihasilkan dari ketiga variasi ini adalah sebagai berikut:

$$W = T \times v_p \quad (5)$$

Dimana:

W = Daya Teoritis (W)

T = Torsi (Nm)

v_p = Putaran poros turbin (rad/s)

Perhitungan daya dari setiap variasi 45 m/s:

$$W_1 = T \times v_p$$

$$W_1 = 902,3 \times 47,1$$

$$W_1 = 42,5 \text{ Kw}$$

Perhitungan daya dari setiap variasi 50 m/s:

$$W_2 = T \times v_p$$

$$W_2 = 985 \times 47,1$$

$$W_2 = 46,4 \text{ Kw}$$

Perhitungan daya dari setiap variasi 55 m/s:

$$W_3 = T \times v_p$$

$$W_3 = 1124 \times 47,1$$

$$W_3 = 53 \text{ Kw}$$

- f. Efisiensi turbin pelton di setiap variasinya [15].

$$\text{Efisiensi turbin} = \frac{\text{daya turbin}}{\text{daya air}} \times 100\% \quad (6)$$

Perhitungan efisiensi turbin pada variasi 45 m/s

$$\eta_t = \frac{P_{tp}}{W_{hp}} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{42,5 \text{ KW}}{61.606,8 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$\eta_t = 68,97\%$$

Perhitungan efisiensi turbin pada variasi 50 m/s

$$\eta_t = \frac{P_{tp}}{W_{hp}} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{46,4 \text{ KW}}{61.606,8 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$\eta_t = 75,47\%$$

Perhitungan efisiensi turbin pada variasi 50 m/s

$$\eta_t = \frac{P_{tp}}{W_{hp}} \times 100\%$$

$$\eta_t = \frac{53 \text{ KW}}{61.606,8 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$\eta_t = 86,07\%$$

Dari ketiga variasi *velocity jet* (45 m/s, 50 m/s, 55 m/s) efisiensi tertinggi dihasilkan oleh kecepatan *velocity jet* 55 m/s. Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa kecepatan *velocity jet* yang paling efektif untuk desain turbin pelton yang dibuat adalah dengan kecepatan *velocity jet* 55 m/s. Hal ini dapat dilihat dari daya teoritis yang dihasilkan yaitu 53 kW dengan efisiensi sebesar 86,07% yang mana adalah hasil yang paling terbaik dari ketiga variasi kecepatan *velocity jet* yang dikarenakan dengan kecepatan putaran poros (RPM) yang pas sehingga mampu menghasilkan torsi yang tinggi [14].

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan dapat diambil. Pertama, Sungai Jlamprang memiliki potensi besar untuk dijadikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan daya air yang dihasilkan mencapai 61.600,8 Watt. Kedua, perhitungan dan desain turbin pelton menghasilkan spesifikasi berikut: diameter nozzle 30,7 mm; 18 sudu; lebar sudu 156,8 mm; tinggi sudu 94,08 mm; kedalaman sudu 35,28 mm; lebar celah sudu 43,12 mm; dan kedalaman celah sudu 13,72 mm. Ketiga, variasi kecepatan *velocity jet* sebesar 45 m/s, 50 m/s, dan 55 m/s menunjukkan bahwa kecepatan 55 m/s memberikan hasil terbaik. Pada kecepatan ini, torsi yang dihasilkan mencapai 1124 Nm dengan daya 53 kW dan efisiensi 86,07%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan *velocity jet*, semakin besar torsi dan daya yang dihasilkan oleh turbin.

Daftar Pustaka

- [1] R. Arestya Pamungkas, I. Wayan Arta Wijaya, I. Gusti Ngurah Janardana, And J. Raya Kampus Unud, "Pengaruh Debit Air Terhadap Putaran Turbin Dan Daya Output Yang Dihasilkan Prototype Pltmh Dengan Turbin Kaplan," *Jurnal Spektrum*, Vol. 8, No. 2, Pp. 169–177, 2021.
- [2] Tasrif Arifin, "Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia," Kebayoran Baru Jakarta, Aug. 2021.
- [3] Y. La Elo, R. Rusliadi, And Z. Fahrah Syahdinar, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Pada Sungai Air Besar Kampung Air Besar Kabupaten Fakfak," *Jurnal Jeetech*, Vol. 4, No. 1, Pp. 9–14, Feb. 2023, Doi: 10.32492/Jeetech.V4i1.4102.
- [4] W. Ohoirenan *Et Al.*, "Pengaruh Luasan Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air," *Jurnal Teknik Amata*, Vol. 04, No. 1, Pp. 94–102, 2023.
- [5] Kusnadi, A. Mulyono, G. Pakki, And Gunarko, "Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis Kaplan Skala Mikrohidro," *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, Vol. 7, No. 2, Pp. 207–213, 2018.
- [6] G. Pudja Dianda Mayapada, L. Jasa, I. Made Suartika, J. Raya Kampus Unud Jimbaran, K. Kuta Sel, And K. Badung, "Rancang Bangun Prototype Turbin Vortex Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh)," *Jurnal Spektrum*, Vol. 9, No. 3, P. 44, 2022.
- [7] A. H. Ahrori, M. Kabib, And R. Wibowo, "Perancangan Dan Simulasi Turbin Pelton Daya Output Generator 20.000 Watt," Online, 2019.
- [8] E. Prihastuty And H. D. Fahmadi, "Perancangan Nossel Dan Sistem Perpipaan Pada Turbin Pelton," 2015.
- [9] T. Ramadhan And H. Wijaksana, "Analisis Aerodinamika Midspan Airfoil Boeing 737 Dengan Metode Computational Fluid Dynamics Menggunakan Ansys Fluent", Doi: 10.8734/Kohesi.V1i2.365.

- [10] I. Hauteas, J. Messakh, And P. G. Tamelan, "Kajian Debit Aliran Kali Liliba Kota Kupang, Di Daerah Semi-Arid Menggunakan Alat Apung Dan Alat Flow Meter," *Jurnal Batakang*, Vol. 2, No. 2, 2021.
- [11] S. S. Kulkarni, C. Chapman, And H. Shah, "Computational Fluid Dynamics (Cfd) Mesh Independency Study Of A Straight Blade Horizontal Axis Tidal Turbine," Aug. 02, 2016. Doi: 10.20944/Preprints201608.0008.V1.
- [12] F. Widiantama *Et Al.*, "Simulasi Cfd Pengaruh Penggunaan Deflektor Pelat Lengkung Terhadap Performa Turbin Air Savonius Sumbu Vertikal Dua Sudu," 2021. [Online]. Available: <Https://Jurnal.Polines.Ac.Id/Index.Php/Rekayasa>
- [13] J. Setiawan And S. Darmawan Dan Harto Tanujaya, "Komparasi Simulasi Cfd Pada Turbin Cross-Flow Dengan Model Turbulen K-E Std Dan Rng K-E," Vol. 4, Pp. 153–162, 2022.
- [14] A. Muliawan And A. Yani, "Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner," 2016.
- [15] A. Yani, B. Susanto, And J. Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang, "Analisis Jumlah Sudu Mangkuk Terhadap Kinerja Turbin Pelton Pada Alat Praktikum Turbin Air," Vol. 7, No. 2, 2018.