



Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Tipe Turbin *Screw* di Desa Ramba Goring-goring

Samuel Aryatama Hutabarat^{1*}, Tatun Hayatun Nufus¹, Budi Santoso¹, dan Widiyatmoko¹

¹ Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

Turbin Archimedes Screw merupakan salah satu jenis turbin yang banyak digunakan pada sistem PLTMH yang memanfaatkan debit dan head rendah sehingga sangat cocok diterapkan pada sungai maupun saluran irigasi di Indonesia. Sungai Sibuluan terletak di Desa Ramba Goring-goring, Kabupaten Tapanuli Tengah, Sumatera Utara memiliki debit sebesar 0,16125 m³/s dan head 0,7 m sehingga berpotensi untuk merancang bangun PLTMH. Pada penelitian ini akan dirancang sistem PLTMH menggunakan turbin Archimedes Screw dengan jumlah ulir sebanyak 8 buah dan generator DC 500 Watt yang terintegrasi dengan baterai melalui Solar Charge Controller (SCC). Kemudian kemiringan poros turbin dirancang agar dapat naik turun. Penelitian ini bertujuan untuk merancang turbin Archimedes Screw dan mengetahui pengaruh kemiringan poros turbin 18° dan 20° terhadap kinerja PLTMH. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kemiringan sudut turbin optimum adalah 20° dengan tegangan sebesar 8,1 V, arus 0,89 A, dan daya 7,209 Watt. Putaran yang mampu dihasilkan oleh turbin sebesar 148,1 RPM dengan efisiensi tertinggi 2,93 %. Data hasil pengujian mengindikasikan bahwa kemiringan poros turbin dapat meningkatkan kinerja PLTMH.

Kata-kata kunci: Turbin Archimedes Screw, PLTMH, Daya Turbin, Kemiringan Sudut

Abstract

The Archimedes Screw Turbine is one type of turbine that is widely used in the MHP system that utilizes low discharge and head so that it is very suitable to be applied to rivers and irrigation canals in Indonesia. The Sibuluan River is located in Ramba Goring-goring Village, Central Tapanuli Regency, North Sumatra. It has a discharge of 0.16125 m³/s and a head of 0.7 m, so it has the potential to design a MHP system. 8 threads and a 500 Watt DC generator integrated with the battery via the Solar Charge Controller (SCC). Then the slope of the turbine shaft is designed to be up and down. This study aims to design an Archimedes Screw turbine and determine the effect of the turbine shaft tilt 18° and 20° on the performance of the MHP. The test results show that the optimum turbine angle is 20° with a voltage of 8.1 V, current 0.89 A, power 7.209 Watt. The rotation that can be produced by the turbine is 148.1 RPM with the highest efficiency of 2.93%. The test results data indicate that the slope of the turbine shaft can improve the performance of the MHP.

Keywords: Archimedes Screw Turbine, Micro Hydro Powerplant, Turbine Power, Turbine Shaft Slope

* Corresponding author E-mail address: samuel.aryatamahutabarat.tm19@mhs.w.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi energi baru terbarukan terbesar di dunia. Energi baru terbarukan tersebut dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) mengungkapkan bahwa Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar diantaranya mini/*micro hydro* sebesar 450 MW, biomasa 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m²/hari, energi angin 3-6 m/s, dan energi nuklir 3 GW. Namun dari jumlah potensi EBT tersebut, hanya 0,3% yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sisanya masih menggunakan energi yang berasal dari fosil. KESDM mencatat bahwa pemanfaatan energi air pada PLTA hanya 3.783 MW dan pada PLTMH hanya 220 MW [1]. Jumlah tersebut masih jauh dari target yang diharapkan. Padahal kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan kenaikan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi. Di sisi lain, masih banyak desa ataupun daerah terpencil yang belum teraliri listrik. Sebagian desa di Indonesia belum menyadari potensi EBT yang dimilikinya untuk dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik. Penduduk desa belum bisa mengoptimalkan potensi sumber daya alam di desanya karena keterbatasan ilmu pengetahuan dan teknologi. Salah satu EBT yang banyak dikembangkan di daerah pedesaan atau daerah tertinggal adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro merupakan suatu mekanisme yang memanfaatkan energi potensial dari jatuh air sebagai penggerak turbin untuk menghasilkan energi listrik [2]. Sistem PLTMH terdiri atas tiga komponen utama diantaranya air, turbin, dan generator. Penelitian yang dilakukan oleh Dherry dkk [3] yang berjudul “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Turbin *Archimedes Screw* Bilah Lima dengan Sistem Pengontrolan Inlet Air dan Monitoring berbasis *IoT* menghasilkan daya turbin sebesar 496,6 W dengan jumlah ulir sebanyak 8 buah dan sudut turbin 32°. Pada penelitian tersebut, generator dihubungkan ke poros turbin menggunakan transmisi bertingkat. Kemudian, pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Encu Saefudin dkk [4] yang berjudul “Turbin *Screw* untuk Pembangkit Listrik Skala Mikrohidro Ramah Lingkungan” menghasilkan daya turbin sebesar 531,84 W pada debit 0,277 m³/s. Jumlah ulir yang dirancang sebanyak 7 buah. Lalu, pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Zainuri Anwar dkk [5] yang berjudul “Rancangan Bangun Turbin Mikrohidro Tipe *Archimedes Screw* dengan Kapasitas Daya 560 W menghasilkan daya turbin sebesar 563,3 W dengan jumlah ulir sebanyak 7 buah.

Berdasarkan ketiga penelitian tersebut, masih terdapat beberapa kekurangan yaitu energi listrik yang dihasilkan tidak disimpan melainkan terbuang begitu saja dan tegangan yang dihasilkan cenderung tidak stabil. tegangan yang tidak stabil akan mengakibatkan gangguan pada beban bahkan dapat merusaknya. Penelitian sebelumnya hanya menghasilkan *output* AC sehingga diperlukan rangkaian tambahan agar menghasilkan *output* DC. Dari ketiga penelitian sebelumnya, desain PLTMH dirancang hanya untuk 1 variabel kemiringan poros turbin dimana setiap sungai memiliki karakteristik tersendiri. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah sistem PLTMH menggunakan *Archimedes Screw* dimana kemiringan poros turbin dapat dinaik-turunkan sehingga dapat digunakan pada karakteristik sungai yang berbeda-beda. Selain itu, sistem kelistrikan akan dirancang menggunakan *Solar Charger Controller*, inverter dan baterai sehingga dapat menyuplai tegangan AC dan DC sekaligus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kemiringan poros turbin terhadap tegangan, arus, daya, dan kecepatan rotasi turbin.

2. METODE PENELITIAN

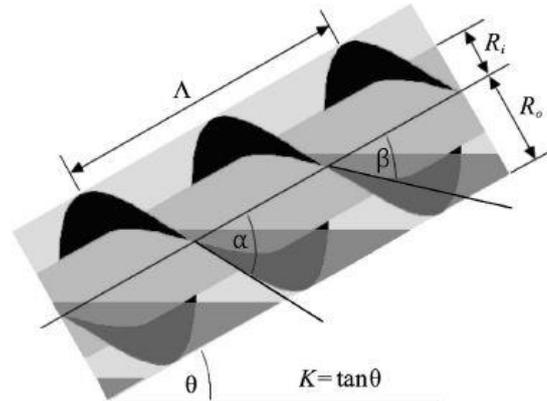
Penelitian dilakukan di sungai Sibuluan yang terletak di desa Ramba Goring-goring Kabupaten Tapanuli Tengah, Sumatera Utara. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kemiringan poros turbin sebesar 18° dan 20°. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan melakukan percobaan terhadap alat, mengamati, dan mengumpulkan data. Data yang didapatkan berasal dari hasil observasi di lapangan. Teknik pengolahan data menggunakan metode kuantitatif yang akan ditampilkan ke dalam grafik. Adapun tahapan metode penelitian perancangan PLTMH sebagai berikut [6][7]:

1. Melakukan survei lokasi sungai guna mendapatkan data parameter seperti, *head*, debit aliran sungai, dan lebar sungai.
2. Menghitung daya hidrolis untuk perhitungan rancang bangun turbin.
3. Menentukan parameter seperti: diameter *screw*, diameter poros, panjang turbin, *pitch* turbin, jumlah sudu, sudut ulir, dan efisiensi turbin.
4. Membuat desain hasil perhitungan rancangan menggunakan *AutoCAD Inventor*.
5. Merealisasikan turbin *Archimedes Screw*.
6. Menguji coba *Archimedes Screw* di lapangan.

7. Mengukur putaran turbin menggunakan *tachometer*
8. Mengukur tegangan dan arus menggunakan multimeter
9. Melakukan pengambilan data dengan variasi kemiringan poros turbin
10. Melakukan pengolahan data dengan metode kuantitatif
11. Pengambilan kesimpulan

Dimensi Turbin Archimedes Screw

Dimensi turbin Archimedes *Screw* diberikan oleh gambar 1 berdasarkan kajian yang dilakukan Rorres [6]. R_i menunjukkan jari-jari dalam (*inner blade*) turbin, R_o menunjukkan jari-jari dalam (*outer blade*) turbin, Λ menunjukkan *pitch ratio*, dan K merupakan kemiringan poros turbin.



Gambar 1. Dimensi Turbin Archimedes *Screw*[6]

Tabel 1 menunjukkan nilai konstanta ulir. D sebagai diameter *Screw* ($2R_o$) dan d sebagai diameter poros ($2R_i$). Penggunaan nilai konstanta ulir mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- Jika sudut turbin $\leq 30^\circ$ maka $S = 1.2 D$
- Jika sudut turbin $= 30^\circ$ maka $S = 1.0 D$
- Jika sudut turbin $\geq 30^\circ$ maka $S = 0.8 D$

Tabel 1. Nilai Konstanta Ulir [6]

d/D	22°		26°			30°	
	1.0 D	1.2 D	0.8	1.0 D	1.2 D	0.8 D	1.0 D
0.3	0.331	0.335	0.274	0.287	0.286	0.246	0.245
0.4	0.35	0.378	0.285	0.317	0.323	0.262	0.271
0.5	0.345	0.38	0.281	0.317	0.343	0.319	0.287

1. Diameter *Screw* (D)

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{k \times n}} \quad (1)$$

Dimana:

D = Diameter *Screw* (m)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

k = Konstanta ulir

n = Putaran turbin (RPM)

2. Diameter Poros (d)

Diameter poros merupakan perbandingan antara diameter poros dengan diameter *Screw*. Pada perancangan ini menggunakan kemiringan sudut turbin $\leq 30^\circ$. Perbandingannya ditunjukkan oleh persamaan (2).

$$\frac{d}{D} = 0,3 \quad (2)$$

Dimana:

d = Diameter poros (m)

D = Diameter *Screw* (m)

3. Panjang Turbin (L)

$$L = \frac{H}{\sin \phi} \quad (3)$$

Dimana:

L = Panjang turbin(m)

H = Head (m)

ϕ = Sudut turbin ($^{\circ}$)

4. Pitch Turbin (S)

Pitch turbin merupakan satu siklus *Screw* atau ulir ($0 \leq S \leq \pi D/K$). Perancangan *pitch* turbin menggunakan kemiringan sudut turbin $\leq 30^{\circ}$

$$S = 1,2 \times D \quad (4)$$

Dimana:

S = Pitch turbin (m)

D = Diameter *Screw* (m)

5. Jumlah Ulir (Z)

$$Z = \frac{L}{S} \quad (5)$$

Dimana:

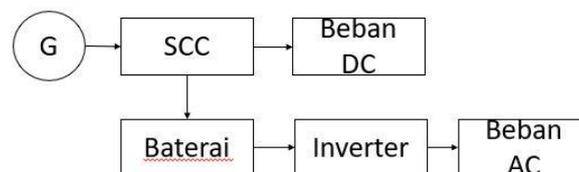
Z = Jumlah ulir (buah)

L = Panjang turbin (m)

S = Pitch turbin (m)

Sistem Kelistrikan

Sistem kelistrikan berguna untuk mengubah energi mekanik turbin menjadi energi listrik. *Solar Charge Controller* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengatur tegangan pengisian baterai. Pada SCC terdapat 3 port input yakni lubang input sumber, baterai, dan beban DC. Daya keluaran dari generator dihubungkan ke port input sumber, baterai dihubungkan ke port baterai dan beban DC dihubungkan ke port beban DC. Jika beban berjenis tegangan AC maka menggunakan inverter sebagai pengubah tegangan DC ke AC. Berikut ini sistem kelistrikan ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 2. Rangkaian Listrik Sistem PLTMH

Daya Mekanik

Daya mekanik adalah daya yang dihasilkan oleh putaran turbin [8]. Timbulnya daya mekanik diakibatkan oleh energi kinetik dan potensial yang terjadi saat air mendorong sudu-sudu turbin. Persamaan daya mekanik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_m = T \times \omega \quad (6)$$

Dimana:

P_m = Daya mekanik (W)

T = Torsi (m^3/s)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya yang dihasilkan oleh energi aliran air akibat perbedaan ketinggian/head. Persamaan daya hidrolis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_h = \rho \times g \times H \times Q \quad (7)$$

Dimana:

P_h = Daya hidrolis (W)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

H = Head (m)

Q = Debit (m^3/s)

Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin adalah perbandingan antara daya mekanik turbin dengan daya hidrolis. Efisiensi turbin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_T = \frac{P_m}{P_h} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana:

η_T = Efisiensi turbin (%)

P_m = Daya mekanik (W)

P_h = Daya hidrolis (W)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan PLTMH

Turbin Archimedes Screw terbuat dari bahan *PolyVinyl Chloride* (PVC). Bahan tersebut dipilih karena tahan terhadap korosi serta ringan dan kuat. Besi *Hollow Galvanis* dipilih sebagai bahan rangka PLTMH. Hasil perhitungan dan perancangan PLTMH dapat dilihat pada tabel 2. Desain hasil rancangan menggunakan *software AutoCAD Inventor 2020* diberikan oleh gambar 3.



Gambar 3. Desain 3D PLTMH diberikan pada gambar (a). Gambar (b) menunjukkan realisasi alat.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Rancangan PLTMH

No	Parameter	Nilai
1	Debit (Q)	0,16125
2	Diameter Screw (D)	0,26 m
3	Diameter Poros Turbin(d)	0,078 m
4	Pitch Turbin (S)	0,312 m
5	Panjang Turbin (L)	1,94 m

6	Jumlah Ulir (Z)	8 buah
7	Daya Hidrolis	910,224 W
8	Diameter <i>Pulley</i> Generator	4 inci
9	Diameter <i>Pulley</i> Turbin	6 inci
10	Kemiringan Poros Turbin	18°, 20°
11	V-Belt	A-42
12	Generator	DC 500 W
13	Baterai	12 V 12 Ah
14	Inverter	500 W
15	<i>Solar Charge Controller</i>	24 V 30 A

Data Hasil Pengujian

Pengambilan data dilakukan selama 3 hari dengan memvariasikan kemiringan poros turbin. Data yang didapat kemudian dianalisis secara kuantitatif dan ditampilkan dalam tabel masing-masing. Analisis data mencakup pengaruh kemiringan poros turbin terhadap daya, kecepatan rotasi turbin, torsi, dan efisiensi. Berdasarkan data hasil pengujian, nilai tertinggi tegangan dan arus rata-rata didapatkan pada kemiringan poros turbin 20° sebesar 7,29 V dan 0,765 A dengan debit rata-rata 0,089 m³/s. Data hasil pengujian ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Rata-rata

Kemiringan Poros Turbin (°)	Tegangan (V)	Arus (A)	Debit (m ³ /s)
18	3,20	0,302	0,032
	4,83	0,467	0,067
	5,49	0,533	0,084
20	5,19	0,496	0,048
	5,79	0,526	0,068
	7,29	0,765	0,089

Pengaruh Kemiringan Poros Turbin terhadap Daya Listrik

Tabel 4. Hasil Pengolahan Data Daya Rata-rata

Kemiringan Poros Turbin (°)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Listrik(W)
18	3,20	0,302	0,96
	4,83	0,467	2,25
	5,49	0,533	2,92
20	5,19	0,496	2,57
	5,79	0,526	3,04
	7,29	0,76	5,54

Tabel 4 menunjukkan hasil pengolahan data daya. Data tabel menunjukkan nilai daya tertinggi terjadi saat pengujian kemiringan poros turbin 20° sedangkan nilai daya terendah terjadi saat pengujian kemiringan poros turbin 18°. Kemiringan poros turbin yang kecil akan memutar sudu-sudu dengan gaya yang lebih ringan. Hal ini menandakan bahwa menaiknya kemiringan poros turbin akan meningkatkan daya yang dihasilkan. Kenaikan daya disebabkan saat air bergerak menuju turbin pada bagian tepi saluran, air yang keluar dari sudu sedikit sehingga volume air pada *bucket* akan terjaga. Namun, apabila kemiringan poros turbin lebih dari 45° akan mengakibatkan air keluar dari saluran sehingga akan menurunkan daya [9]. Selain itu, bobot poros turbin yang berat akan memperlambat putaran generator sehingga menurunkan daya juga mempengaruhi daya yang dihasilkan.

Pengaruh Kemiringan Poros Turbin terhadap Kecepatan Rotasi Turbin dan Torsi

Tabel 5. Hasil Pengolahan Data Kecepatan Rotasi Turbin dan Torsi Rata-rata

Kemiringan Poros Turbin (°)	Kecepatan Rotasi Turbin (RPM)	Torsi (Nm)	Debit (W)
	65,49	0,32	0,032

18	87,66	0,46	0,067
	116,8	0,73	0,084
20	82,76	0,45	0,048
	143,05	0,91	0,068
	95,33	0,56	0,089

Tabel 5 menunjukkan hasil pengolahan data kecepatan rotasi turbin dan torsi. Data didapatkan dari pengukuran langsung menggunakan tachometer dan *prony brake*. Data tabel menunjukkan nilai kecepatan rotasi turbin dan torsi tertinggi terjadi saat pengujian kemiringan poros turbin 20° sebesar 143,05 RPM dan 0,91 Nm. Terjadi peningkatan kecepatan torsi turbin dan torsi pada sudut 18° dan 20°. Namun, terdapat beberapa data yang tidak akurat. Hal ini terjadi akibat kesalahan pembacaan alat ukur dan perhitungan yang kurang akurat. Selain itu, terdapat perbedaan jarak antar sudu (*pitch*) yang tidak sesuai rancangan saat proses pembuatan turbin. Kemiringan poros turbin mempengaruhi kecepatan rotasi dan torsi. Saat kemiringan poros turbin dinaikkan maka terjadi peningkatan *head* pada inlet turbin. *Head* yang tinggi akan memberikan daya hidrolis yang besar pada sudu-sudu turbin sehingga putaran turbin semakin cepat.

Pengaruh Kemiringan Poros Turbin terhadap Efisiensi Turbin

Tabel 6. Hasil Pengolahan Data Efisiensi Rata-rata

Kemiringan Poros Turbin (°)	Daya Mekanik (W)	Daya Hidrolis (W)	Efisiensi Turbin (%)
18	4,24	399,29	1,06
	2,25	193,36	1,16
	9,01	498,47	1,80
20	5,65	401,54	1,40
	4,28	283,29	1,51
	13,77	523,80	2,62

Data tabel menunjukkan nilai efisiensi tertinggi terjadi saat pengujian kemiringan poros turbin 20° sebesar 2,62%. Data menunjukkan bahwa terjadi peningkatan efisiensi turbin seiring bertambahnya kemiringan sudut. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan rotasi turbin dan torsi. Daya mekanik yang diterima oleh turbin berbanding lurus dengan kecepatan rotasi (N) dan torsi (T) yang dirumuskan dalam Persamaan (6). Sehingga, semakin besar kecepatan rotasi dan torsi maka daya mekanik yang dihasilkan pun semakin besar.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membuat turbin Archimedes *Screw* dengan dimensi: diameter screw 0,26 m, diameter poros 0,078 m, *pitch* turbin 0,312 m, panjang turbin 1,94 m, dan jumlah ulir 8 buah. Berikut ini adalah kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan pada turbin Archimedes *Screw* dengan variasi kemiringan poros turbin:

1. Kemiringan poros turbin mempengaruhi kinerja turbin Archimedes *Screw*. Semakin tinggi kemiringan poros turbin, maka kinerja turbin akan semakin optimal.
2. Nilai daya listrik, daya mekanik, daya hidrolis, kecepatan rotasi turbin, torsi dan efisiensi turbin tertinggi dihasilkan oleh kemiringan poros turbin 20°.
3. Kemiringan poros turbin dari 18° menjadi 20° mampu meningkatkan daya listrik rata-rata dari 2,05 W menjadi 3,89 W, kecepatan rotasi turbin rata-rata dari 89,98 RPM menjadi 107,04 RPM, torsi rata-rata dari 0,50 Nm menjadi 0,64 Nm, dan efisiensi turbin rata-rata dari 0,44 % menjadi 1,84 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada masyarakat di desa Ramba Goring-goring yang telah membantu proses penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada Yusup Fitra Anugrah atas masukan dan diskusi dalam kegiatan penelitian ini serta penulis mengucapkan terima kasih kepada Las Ketok Rizky atas ilmu dan bimbingannya.

REFERENSI

1. A. Anam, R. Soenoko, and D. Widhiyanuriyawan, "Jurnal Rekayasa Mesin Vol . 4 , No . 3 Tahun 2013 : 199-203 ISSN 0216-468X Pengaruh Variasi Sudut Input Sudu Mangkok Terhadap Kinerja Turbin Kinetik ISSN 0216-468X," vol. 4, no. 3, pp. 199–203, 2013.
2. A. Muliawan and A. Yani, "Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner," *Sainstek J. Sains dan Teknol.*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.31958/js.v8i1.434.
3. R. H. C. M. Dherry, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Turbin Archimedes Screw Bilah Lima dengan Sistem Pengontrolan Inlet Air dan Monitoring Berbasis IoT," Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, 2021.
4. E. Saefudin, T. Kristyadi, M. Rifki, and S. Arifin, "Turbin Screw Untuk Pembangkit Listrik Skala Mikrohidro Ramah Lingkungan," *J. Rekayasa Hijau*, vol. 1, no. 3, pp. 233–244, 2018, doi: 10.26760/jrh.v1i3.1775.
5. Z. Anwar, B. S. Parsaroan, and E. Sunarso, "Rancangan Bangun Turbin Mikrohidro Tipe Archimedes Screw Dengan Kapasitas Daya 560 Watt," *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 4, no. 1, p. 29, 2021, doi: 10.33087/jepca.v4i1.43.
6. C. Rorres, "The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 126, no. 1, p. 72, 2000, doi: DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:1(72).
7. A. Nurdin, H. Bisri, F. Paundra, and S. Hadi, "Perancangan Turbin Air Archimedes sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air Melalui Pendekatan Teoritis : Studi di Wisma Inri Karangpandan Kabupaten Karanganyar," *J. Mech. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 86–92, 2021.
8. M. R. Abimanyu, G. Gun, and R. Gunadi, "Jurnal Mekanik Terapan Metode Rancang Optimasi PLTPH Turbin Vortex di Danau Universitas Indonesia Untuk Pemanfaatan Turbin di Pedesaan," vol. 03, no. 01, pp. 8–17, 2022, doi: 10.32722/jmt.v3i1.4544.
9. A. Nurdin and D. A. Himawanto, "Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin Archimedes Screw Pada Head Rendah," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 783–796, 2018, doi: 10.24176/simet.v9i2.2340.