

## **RANCANG BANGUN TURBIN AIR TIPE *CROSSFLOW* DAN PENGARUH KETINGGIAN AIR TERHADAP EFISIENSI TURBIN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO**

### ***DESIGN OF A CROSSFLOW TYPE WATER TURBINE AND THE EFFECT OF WATER LEVEL ON TURBINE EFFICIENCY FOR PICOHYDRO POWER PLANT***

**Yogi Permana<sup>1\*</sup>, Ahmad Jaya<sup>2</sup>, Muhammad Hidayatullah<sup>3</sup>, Nova Aryanto<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Teknik Elektro Fakultas Rekayasa Sistem Universitas Teknologi Sumbawa  
[yogipermana179@gmail.com](mailto:yogipermana179@gmail.com)<sup>1\*</sup>, [ahmad.jaya@uts.ac.id](mailto:ahmad.jaya@uts.ac.id)<sup>2</sup>, [muhhammad.hidayatullah@uts.ac.id](mailto:muhhammad.hidayatullah@uts.ac.id)<sup>3</sup>,  
[nova.arianto@uts.ac.id](mailto:nova.arianto@uts.ac.id)<sup>4</sup>

#### **INFO ARTIKEL**

**Submitted:** 25 Juli 2022  
**Revised:** 27 September 2022  
**Accepted:** 15 Januari 2023

#### **ABSTRAK**

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah salah satu inovasi untuk pemanfaatan energi alternatif sehingga dapat meningkatkan peran dan potensi sumber energi air yang ada pada suatu daerah dapat dimaksimalkan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan melakukan rancang bangun turbin air tipe cross flow sebagai alat penggerak Mula Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro skala Laboratorium. Ada 2 parameter keberhasilan dari penelitian ini yaitu dapat membuat turbin Air tipe cross flow dengan kecepatan putar turbin sebesar 100 Rpm dan memvariasikan ketinggian air untuk mengetahui kinerja dari turbin air tipe cross flow. Adapun hasil dari rancang bangun turbin air crossflow dengan diameter 15 cm, jumlah sudu turbin tipe cross flow sebanyak 13 sudu, kecepatan putar turbin tanpa beban sebesar 299,5 Rpm sedangkan putaran turbin dengan beban generator AC sebesar 195,5 Rpm, daya yang dibangkitkan sebesar 0,509Watt dengan efisiensi turbin sebesar 1,5%.

**Kata Kunci:** Energi Terbarukan, Pembangkit Piko Hidro, Turbin Crossflow

#### **ABSTRACT**

*Pico Hydro Power Plant (PLTPH) is one of the innovations for the use of alternative energy so that it can increase the role and potential of existing water energy sources in an area. The research method used is the experimental method by doing type water turbine design cross flow as a prime mover for a Laboratory-scale Pico-Hydro Power Plant. There are 2 parameters for the success of this study, namely being able to make a cross flow type water turbine with a turbine rotational speed of 100 Rpm and varying the water level to determine the performance of a cross flow type water turbine. The results of the water turbine design crossflow with a diameter of 15 cm, the number of turbine blades type cross flow 13 blades, the rotational speed of the turbine without load is 299.5 Rpm while the turbine rotation with an AC generator load is 195.5 Rpm, the power generated is 0.509 Watt with a turbine efficiency*

## 1. PENDAHULUAN

Listrik adalah sumber daya yang paling banyak digunakan karena berguna untuk menunjang kehidupan manusia, listrik digunakan sebagai catu alat-alat elektronik dan alat lain yang membutuhkan listrik. Listrik menopang kelangsungan di berbagai bidang, dalam bidang industri, bidang pendidikan, bidang kedokteran dan lain sebagainya sehingga kebutuhan energi listrik dari waktu ke waktu semakin meningkat. Listrik yang digunakan oleh masyarakat sebagian besar diproduksi dari PLTU berbahan bakar batubara dan minyak bumi sehingga menghasilkan emisi gas yang cukup tinggi. Berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) memprioritaskan penggunaan energi terbarukan dengan target paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit 31% pada tahun 2050 [1].

Kabupaten Sumbawa memiliki potensi energi baru terbarukan yang sangat banyak yang masih belum dimanfaatkan, diantaranya adalah panas bumi potensi panas bumi sebesar 6 Mega Watt electron (MWe) di Maronge, potensi energi air di sungai bendungan Beringin Sila, Brang Rhee sebesar 16 Megawatt dan sungai Brang Beh sebesar 40 Megawatt (MW), Sedangkan untuk tenaga surya PLTS sistem timur mencapai 3 Mega Watt peak (MWp) dan PLTS Labangkammencapai 1 Mega Watt peak (MWp). Setiap daerah di kabupaten Sumbawa memiliki potensi tenaga air besar dikarenakan ketersediaan air sangat melimpah sehingga perlu dilakukan inovasi dan teknologi agar sebagai langkah diversifikasi penggunaan energi fosil daerah ke pemanfaatan energi terbarukan khususnya dari energi air [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro (PLTPH) adalah salah satu alat konversi energi alternatif yang dapat dikembangkan dalam upaya meningkatkan peran dan potensi sumber energi air yang ada pada suatu daerah. Untuk memanfaatkan energi dari air menjadi energi listrik maka pembangkit listrik tenaga piko hidro membutuhkan turbin air. Turbin sendiri dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak dimana fluida kerjanya adalah air. Berdasarkan prinsip kerja turbin (momentum fluida kerjanya) dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis [3][4].

Turbin air adalah salah satu pembangkit tenaga air yang sangat efektif yang artinya sebagian besar sumber energi fluida dapat digunakan sebagai energi mekanik untuk menghasilkan energi listrik. Jenis turbin yang digunakan pada pembangkit listrik tergantung pada besarnya debit dari sumber air tersebut. Apabila debit air yang dihasilkan besar maka menggunakan jenis turbin reaksi namun jika debit yang dihasilkan kecil maka jenis turbin yang digunakan adalah jenis turbin impuls. Turbin impuls sendiri memiliki tiga tipe yaitu turbin impuls tipe *crossflow*, turbin impuls tipe *pleton*, turbin impuls tipe *turgo* [5][6].

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian Satria Candra Laksana tahun 2018 yang berjudul Pengaruh Sudut Pengarah Aliran pada Turbin Air *Crossflow* tingkat Dua Terhadap Putaran dan Daya. Pada penelitian ini sudut pengarah aliran air di variasikan menjadi 30°, 35° dan 40°. Adapun hasil dari penelitian ini di dapatkan hasil bahwa pada turbin tingkat 1 dengan variasi sudut pengarah 40° dengan aliran debit air 31,5 L/s memperoleh putaran turbin tertinggi yaitu 478 rpm, dan menghasilkan daya sebesar 0,0172 watt, sedangkan pada variasi sudut 30° dengan menggunakan debit air yang sama 31,5 L/s menunjukkan bahwa putaran yang diperoleh sangat rendah yaitu 296 rpm dan daya yang diperoleh pada variasi sudut tersebut sangatlah kecil yaitu 0,0069 watt. Pada turbin tingkat 2 menunjukkan bahwa variasi sudut pengarah 40° dengan aliran debit air 31,5 L/s memperoleh putaran tertinggi yaitu 447 rpm dan memperoleh daya sebesar 0,0172 watt, Sedangkan pada variasi sudut pengarah 30° dengan debit air yang sama 31,5 L/s menunjukkan bahwa putaran yang dihasilkan sangat rendah yaitu 287 rpm dan daya yang diperoleh sangatlah kecil yaitu 0,0069 watt [7].

Pada penelitian yang dilakukan Ahmad Ali Ahmadi tahun 2021, yang berjudul Rancang Bangun Kincir Air Tipe *Undershot* Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro (PLTPH) yang bertujuan untuk mengetahui besar potensi daya yang dapat dihasilkan dengan diameter kincir 0,41 m. Berdasarkan hasil dari penelitian tentang rancang bangun kincir air tipe *undershot* sebagai pembangkit listrik tenaga piko hidro, hasil percobaan tersebut mendapatkan tegangan sebesar 2,27 Volt dan daya yang terbangkitkan sebesar 0,3178 Watt [8].

Pada penelitian yang dilakukan Dewa Putu Ari Laksana (2020) yang berjudul Redesain Turbin 175 KW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH) Desa Mekar Sari Buleleng Bali. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil perancangan turbin *crossflow* memiliki spesifikasi teknis sebagai berikut: putaran turbin 298 rpm, torsi turbin yang dihasilkan sebesar 5962,46 Nm, diameter luar *runner* 54 cm, memiliki 19 sudu, serta panjang *runner* 50 cm dan berdasarkan hasil simulasi dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) didapatkan keluaran daya rata-rata turbin adalah 175,353 kW [9].

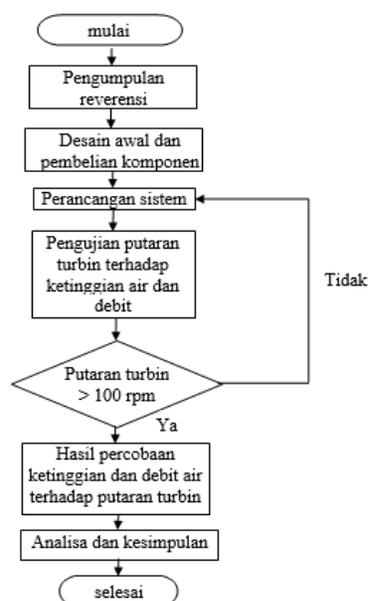
Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro adalah pembangkit yang diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik berskala kecil dengan menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW. Pembangkitan tenaga air memiliki prinsip yaitu suatu bentuk dari perubahan tenaga, dalam hal ini tenaga air dengan debit dan ketinggian tertentu menjadi tenaga listrik, dengan memanfaatkan turbin dan generator untuk menghasilkan listrik [10][11].

Komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) terdiri dari air mengalir dengan kapasitas melalui ketinggian tertentu melalui rumah instalasi atau rumah turbin. Di rumah turbin tersebut air mengalir ke turbin sehingga akan terjadi sebuah proses konversi energi yaitu dari energi air menjadi energi mekanik yang berupa putaran poros turbin[12]

Oleh karena itu penulis semakin semangat dalam mempelajari pemanfaatan air sebagai energi baru terbarukan khususnya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). Adapun studi pustaka yang penulis lakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan rancang bangun turbin air tipe *crossflow* sebagai alat penggerak mula pembangkit listrik tenaga pikohidro. Metode yang digunakan adalah masih dalam tahap eksperimen untuk mengetahui pengaruh ketinggian pipa air terhadap putaran turbin sehingga perlu dilakukan pengoperasian secara aktual dari PLTPH skala kecil di Laboratorium Energi Universitas Teknologi Sumbawa. Ada dua parameter keberhasilan dari penelitian ini yaitu dapat membuat turbin Air tipe *crossflow* dengan kecepatan putar turbin sebesar 100 Rpm dan memvariasikan ketinggian air untuk mengetahui kinerja dari turbin air tipe *crossflow*. Penelitian yang akan penulis lakukan skala kecil di Laboratorium Energi Universitas Teknologi Sumbawa menggunakan metode *overshoot* yaitu memanfaatkan ketinggian air dalam pengujianya.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

#### B. Perancangan runner turbin

Dalam melakukan perancangan turbin maka dapat menggunakan beberapa persamaan-persamaan di bawah ini:

- a. Untuk menghitung diameter dalam runner dapat menggunakan persamaan berikut [9]:

$$D2 = \frac{2}{3} \times D1 \dots\dots\dots \text{Persamaan (1)}$$

Dimana:

D2 = diameter dalam turbin (cm)

2/3 = ketetapan

D1 = diameter luar (cm)

- b. Untuk menghitung jarak antar sudu dapat menggunakan persamaan berikut:

$$K = 0,24 \times D1 \dots\dots\dots \text{persamaan (2)}$$

Dimana:

K = jarak antar sudu (cm)

0,24 = ketebalan sudu (cm)

D1 = diameter luar runner (cm)

- c. Untuk menghitung jumlah sudu dapat menggunakan persamaan berikut[8]:

$$N = \frac{\pi \cdot D}{K} \dots\dots\dots \text{persamaan (3)}$$

Dimana:

N = jumlah sudu

D = diameter luar (cm)

K = jarak antar sudu (cm)

- d. Untuk menghitung nilai efiseinsi dari turbin dapat menggunakan persamaan berikut[13]:

$$\eta_t = \frac{N_t}{H_h} \times 100\% \dots\dots\dots \text{persamaan (4)}$$

Dimana:

$\eta$  = efisiensi turbin (%)

$N_t$  = daya turbin (watt)

$N_h$  = daya air (watt)

- e. Untuk menghitung besarnya debit air yang mengalir dapat menggunakan persamaan berikut[14]:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots \text{Persamaan (5)}$$

Dimana:

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

V = Kecepatan aliran (m/s)

- f. Untuk menghitung besarnya daya air yang dihasilkan dari sumber air menggunakan persamaan[15]:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \dots\dots\dots \text{Persamaan (6)}$$

Dimana:

Pa = daya air

$\rho$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

Q = debit aliran air (m<sup>3</sup>/s)

g = gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

H = head (m)

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil perhitungan dari perancangan turbin dengan diameter turbin 15 cm sebagai berikut:

- a. Menghitung diameter dalam dari turbin menggunakan Persamaan (1)

$$D_2 = \frac{2}{3} \times D_1$$

$$D_2 = \frac{2}{3} \times 15 \text{ cm}$$

$$D_2 = 10 \text{ cm}$$

- b. Menghitung jarak antar sudu menggunakan persamaan (2)

$$K = 0,24 \times D_1$$

$$K = 0,24 \times 15 \text{ cm}$$

$$K = 3,6 \text{ cm}$$

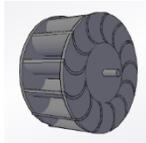
- c. Menghitung jumlah sudu pada turbin menggunakan persamaan (3)

$$N = \frac{\pi \cdot D_1}{K}$$

$$N = \frac{3,14 \times 15 \text{ cm}}{K}$$

$$N = 13,08 \text{ atau } 13 \text{ buah}$$

##### B. Hasil dari perancangan turbin dan perancangan sistem



Gambar 2. Desain Dari Keseluruhan Turbin



Keterangan gambar	
A	Rumah Turbin
B	Dudukan Turbin
C	Penampung Air
D	Pompa Air
E	Valve

Gambar 3. Hasil Perancangan Sistem

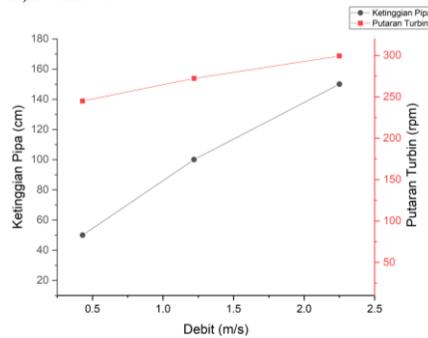
### C. Hasil pengujian putaran turbin tanpa beban

Adapun hasil dari pengujian putaran turbin tanpa beban dengan variasi ketinggian air dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

**Tabel 1.** Data Putaran Turbin Tanpa Beban

Ketinggian pipa (cm)	Debit air (m <sup>3</sup> /s)	Putaran Turbin rpm
50 cm	0,43	245,0
100 cm	1,22	272,3
150 cm	2,25	299,5

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa putaran turbin tertinggi yaitu sebesar 299.5 rpm yang dihasilkan pada ketinggian pipa 150 cm dan dengan debit air sebanyak 2,25 m<sup>3</sup>/s.



**Gambar 4.** Grafik Putaran Turbin Tanpa Beban

Dari Gambar 4 diatas dapat dilihat hasil dari putaran turbin tanpa beban pada ketinggian pipa air 50 cm dengan debit air 0,43 m<sup>3</sup>/s menghasilkan putaran turbin sebesar 245,0 rpm. Pada percobaan ke dua dengan ketinggian pipa 100 cm menghasilkan putaran turbin sebesar 272,3 rpm dengan debit air 1,22 m<sup>3</sup>/s. pada percobaan ketiga dengan ketinggian pipa 150 cm dan debit air 2,25 m<sup>3</sup>/s menghasilkan putaran turbin sebesar 299,5 rpm.

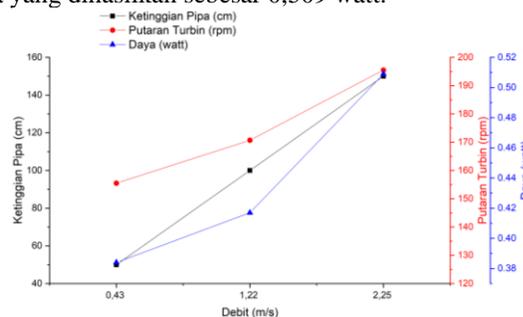
### D. Hasil pengujian turbin dengan beban generator

Adapun hasil dari pengujian putaran turbin dengan beban generator dengan variasi ketinggian air dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini:

**Tabel 2.** Data Hasil Pengujian Putaran Turbin Dengan Beban Generator

Ketinggian pipa (cm)	Debit (m/s)	Putaran Turbin (rpm)	Daya (watt)
50	0,43	155,5	0,384
100	1,22	170,7	0,417
150	2,25	195,5	0,509

Pada tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa putaran turbin tertinggi dengan beban generator yaitu sebesar 195,5 rpm dengan debit air 2,25 m<sup>3</sup>/s dan keluaran daya yang dihasilkan sebesar 0,509 watt.



**Gambar 5** Grafik Pengukuran Putaran Turbin Dengan Beban Generator

Pada Gambar 5 diatas dapat dilihat hasil putaran turbin dengan beban generator dengan ketinggian pipa air 50 cm dan debit 0,43 menghasilkan putaran turbin sebesar 155,5 rpm dan daya terbangkitkan sebesar 0,384 watt. Pada percobaan kedua dengan ketinggian pipa 100 cm dan debit air 1,22 menghasilkan putaran turbin sebesar 170,7 rpm dengan daya terbangkitkan sebesar 0,417 watt. Kemudian pada percobaan ketiga dengan ketinggian pipa 150 cm dan debit air 2,25 m<sup>3</sup>/s menghasilkan putaran turbin sebesar 195,5 rpm dan daya yang dihasilkan sebesar 0,509 watt.

### E. Hasil perhitungan efisiensi dari turbin

Perhitungan nilai efisiensi dari turbin menggunakan persamaan (4)

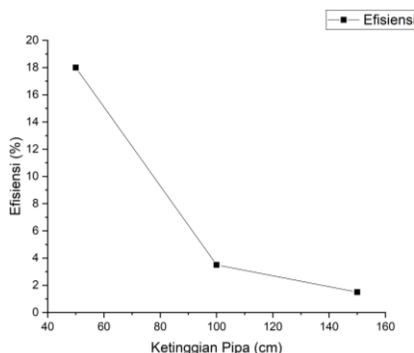
$$\eta_t = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya air}} \times 100\%$$
$$\eta_t = \frac{0,509}{33} \times 100\%$$
$$\eta_t = 1,5 \%$$

Dari hasil perhitungan keseluruhan efisiensi turbin dengan variasi ketinggian air dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin

Ketinggian pipa (cm)	Debit (m/s)	Putaran turbin (rpm)	Efisiensi (%)
50	0,43	155,5	18
100	1,22	170,7	3,5
150	2,25	195,5	1,5

Pada Tabel 3 diatas hasil perhitungan efisiensi terhadap ketinggian pipa air 50 cm mendapatkan nilai efisiensi sebesar 18%. Pada ketinggian pipa 100 cm mendapatkan nilai efisiensi sebesar 3.5%. Pada ketinggian pipa 150 cm mendapatkan hasil sebesar 1,5%.



**Gambar 6.** Grafik dari perhitungan efisiensi turbin

Dari hasil perhitungan efisiensi turbin diketahui bahwa pada ketinggian pipa air 50 cm mendapatkan nilai efisiensinya sebesar 18 % dengan putaran turbin 155,5 rpm dan debit air 0,43 m<sup>3</sup>/s. pada ketinggian pipa 100 cm mendapatkan nilai efisiensi sebesar 3,5 % dengan putaran turbin 170,7 rpm dan debit air 1,22 m<sup>3</sup>/s. pada ketinggian pipa 150 cm mendapatkan nilai efisiensi sebesar 1,5 % dengan putarn turbin sebesar 195,5 rpm dengan debit air 2,25 m<sup>3</sup>/s.

## 5. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Dalam merancang sebuah turbin air diperlukan perhitungan-perhitungan yang sangat detail. Dari hasil perancangan yang telah dilakukan maka didapatkan spesifikasi dari turbin dengan diameter dalam turbin sebesar 15 cm, diameter dalam turbin sebesar 10 cm, jarak antar sudu 3,6 cm, dan jumlah sudu sebanyak 13 buah.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan yaitu pengaruh ketinggian terhadap efisiensi dari turbin, didapatkan hasil dengan ketinggian pipa 50 cm nilai efisiensi sebesar 18%, sedangkan pada ketinggian pipa 150 cm nilai efisiensi sebesar 1,5%. Dan dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa ketinggian dan debit air dan generator yang digunakan sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari turbin crossflow.

### B. Saran

Pada saat proses pemotongan piringan turbin dan dudukan sudu diharapkan menggunakan peralatan yang presisi agar putaran turbin lebih sempurna.

Sebelum melakukan pengujian alangkah baiknya memperhatikan kondisi dari sistem yang akan diuji dan kondisi alat ukur yang digunakan agar tidak terjadi kendala pada saat pengambilan data.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Taufiqurrahman and J. Windarta, "Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia," J. Energi Baru Terbarukan, vol. 1, no. 3, pp. 124–132, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.10036.
- [2] N. Aryanto, A. Jaya, and C. Hudaya, "Science and Technology Pemodelan Energi Baru Terbarukan (EBT) Melalui

- Pendekatan Dinamis Untuk Ketahanan Energi Kabupaten,” J. TAMBORA, vol. 4, no. 2, pp. 123–132, 2020.
- [3] Z. Saleh, Y. Apriani, F. Ardianto, and R. Purwanto, “Analisis Karakteristik Turbin Crossflow Kapasitas 5 kW,” J. Surya Energy, progr. Stud. Tek. Elektro, Fak. Tek. Universitas Muhammadiyah Palembang, vol. 3, no. Maret, pp. 255–261, 2019.
- [4] Z. Pelawi, “Pemanfaatan Aliran Air Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro (PLTPH) Di Desa Bandar Rahmat Kecamatan Tanjung Tiram Kabupaten Batu Bara,” vol. 7, no. 1, pp. 25–28, 2022.
- [5] D. A. Arrianto, “Analisis Performansi turbin air crossflow terhadap perubahan sudut sudu dan debit aliran,” Program Studi Tek. Mesin, Fakultas Tek. Univ. Sriwij., 2018.
- [6] D. A. Girsang, S. Gultom, and A. P., “Uji Performansi Pengaruh Variasi Head Vortex Terhadap Prestasi Turbin Vortex,” Dep. Tek. Mesin, Fak. Tek. Univ. Sumatra Utara, vol. 6, no. 4, pp. 60–73, 2018.
- [7] S. C. Laksana, A. Fahrudin, and A. Akbar, “Pengaruh Sudut Pengarah Aliran pada Turbin Air Crossflow tingkat Dua Terhadap Putaran dan Daya,” J. R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur), Teknik Mesin, Univ. Muhammadiyah Sidoarjo, vol. 3, no. 1, pp. 35–39, 2018.
- [8] A. A. L. I. Ahmadi, “Rancang Bangun Kincir Air Tipe Undershot Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro,” Progr. Stud. Tek. ELEKTRO Fak. Tek. Univ. Teknol. SUMBAWA, 2021.
- [9] D. A. L. Putu, I. D. G. Ayu, and I. N. S. Kumara, “Redesain Turbin 175 KW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Mekar Sari Buleleng Bali,” Maj. Ilm. Teknol. Elektro, vol. 19, no. 2, 2020.
- [10] M. Ibrahim, I. Dirja, and V. Naubnome, “Rancang Bangun Prototipe PLTPH Sebagai Listrik Penerangan Kapasitas 9 Watt,” J. Energi Dan Manufaktur, vol. 13, no. 2, p. 63, 2020, doi: 10.24843/jem.2020.v13.i02.p04.
- [11] D. Singh, “Micro Hydro Power, Resource Assessment Handbook,” Asian Pacific Cent. Transf. Technol., no. September, pp. 1–69, 2009.
- [12] B. Handoko, Z. Tharo, and P. Wibowo, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Dengan Memanfaatkan Aliran Irigasi Di Desa Padang Cermin Kabupaten Langkat,” Progr. Stud. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Pambang. Panca Budi Medan, 2020.
- [13] R. Hatib and A. A. Larasakti, “Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Kinerja,” J. Mek., vol. 4, no. 2, pp. 416–421, 2013.
- [14] T. Wahyudi, M. I. Arsyad, and M. Ivanto, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Aliran Arus Sungai,” J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin, vol. 3, no. 1, pp. 87–91, 2022.
- [15] W. Trisasiwi, Masrukhi, A. Mustofa, and Furqon, “Rancang Bangun Turbin Cross -F Low Untuk Pembangkit,” Din. Rekayasa, Progr. Stud. Tek. Pertanian, Jur. Teknol. Pertan. Fak. Pertan. Univ. Jenderal Soedirman Purwokerto, vol. 13, no. 1, pp. 29–36, 2017.