

# Pengaruh Perubahan Sudut Sirip Tepi (*Tip Fin*) Terhadap Kinerja Turbin Ulir

Muhammad Ridhoi Robby Alfath<sup>1</sup>, Satworo Adiwidodo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No.9, Kota Malang, Jawa Timur 65141, Indonesia

\*Corresponding author: [satworo.adiwidodo@polinema.ac.id](mailto:satworo.adiwidodo@polinema.ac.id)

## Abstract

*Screw turbine is one of the alternative energy source utilization by using the potential energy and kinetic energy of water to drive the rotor and rotate the turbine generator. The performance of screw turbines is influenced by several parameters including; outer diameter, inner diameter, rotor length, head angle, number of blades, pitch distance, and tip fin angle. This study aims to determine the effect of tip fin angle and debit on the mechanical power and efficiency of screw turbines. This research uses experimental methods and statistical data analysis methods in this study using Anova two way. The independent variables used in this study are tip fin angle and debit. In the variable tip fin angle, the variations used are 60°, 75°, and 90°, and the variations used in the debit are 3 L/s, 3,5 L/s, and 4 L/s. The results show that the highest performance is produced by a screw turbine with a tip fin angle of 75° with a mechanical power of 6,486 Watt and an efficiency of 33,192% at a debit of 4 L/s. Keywords: debit, efficiency, mechanical power, screw turbine, tip fin.*

## Abstrak

Turbin ulir merupakan salah satu sarana pemanfaatan sumber energi alternatif dengan memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air untuk menggerakkan rotor serta memutar generator turbin. Kinerja turbin ulir dipengaruhi oleh beberapa parameter yang diantaranya adalah; diameter luar, diameter dalam, panjang rotor, sudut *head*, jumlah sudu, jarak *pitch*, dan sudut sirip tepi (*tip fin*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut *tip fin* terhadap daya mekanis dan efisiensi dari turbin ulir. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan metode analisis data statistik dalam penelitian ini menggunakan *Anova two way*. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah sudut *tip fin* dan debit. Pada variabel sudut *tip fin*, variasi yang digunakan adalah 60°, 75°, dan 90°, serta variasi yang digunakan pada debit adalah 3 L/s, 3,5 L/s, dan 4 L/s. Hasil penelitian menunjukkan jika kinerja tertinggi dihasilkan oleh turbin ulir dengan sudut *tip fin* 75° dengan daya mekanis 6,486 Watt dan efisiensi 33,192% pada debit 4 L/s.

**Kata kunci:** daya mekanis, debit, efisiensi, *tip fin*, turbin ulir.

## 1. Pendahuluan

Menurut data IEA pada tahun 2021 [1], penggunaan energi fosil di produksi energi listrik dunia berada pada angka 26.936 TWh (*Terra Watt hour*) pada tahun 2019, dan 63,1% dari energi tersebut berasal dari energi fosil. Indonesia sendiri sangat bergantung pada sumber energi fosil yang mana hanya 9,5% dari kebutuhan energi di Indonesia berasal dari sumber energi terbarukan yaitu sumber energi air, angin, matahari, panas bumi, dan biomassa [2]. Penggunaan energi fosil yang masif ini tentunya memiliki dampak negatif bagi lingkungan, terutama dalam hal emisi gas rumah kaca [3,4] serta gas CO<sub>2</sub> yang menjadi penyumbang pemanasan global dan

akan terus meningkat dari kegiatan manusia. Sehingga diperlukan sumber energi terbarukan yang memiliki peranan penting dalam mengurangi pemanasan global yang ditimbulkan dari penggunaan sumber energi berbahan fosil.

Dewan Energi Nasional (DEN) [5] menyebutkan jika penggunaan sumber energi alternatif di Indonesia pada tahun 2019 masih menyentuh angka 9,15% dari total kebutuhan energi nasional. Hal tersebut disebabkan oleh topografi yang berupa perbukitan dan sebaran penduduk yang tidak merata [6–8]. Berdasarkan data data diatas, penggunaan sumber energi terbarukan berbasis air akan sangat membantu karena potensinya yang banyak dijumpai di

Indonesia, dan salah satu pembangkit listrik berbasis air yaitu pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan turbin ulir.

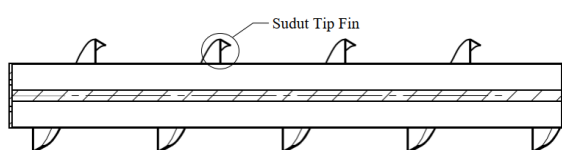
Turbin ulir merupakan turbin yang memanfaatkan energi kinetik dan energi potensial air untuk memutar poros turbin sehingga mampu menggerakkan generator. Turbin ulir memiliki beberapa keunggulan, diantaranya yaitu mampu dioperasikan pada head kurang dari 10 meter, konstruksinya yang sederhana, serta tidak merusak ekosistem sungai [9].

Untuk meningkatkan kinerja dari turbin ulir, diperlukan modifikasi pada beberapa parameter, yaitu panjang rotor, diameter luar, diameter dalam, sudut kemiringan, jumlah sudu, dan *pitch* [9,10]. Modifikasi pada parameter-parameternya terus berkembang hingga ditemukan penggunaan *tip fin* pada turbin ulir. *Tip fin* merupakan penampang tambahan pada ujung sudu turbin ulir yang bertujuan untuk menampung dan menahan aliran air sehingga daya yang diterima oleh turbin semakin tinggi

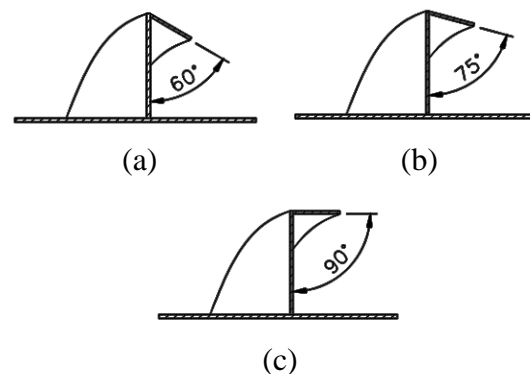
Penelitian oleh Anam pada 2022 [12] menemukan jika penggunaan *tip fin* meningkatkan kinerja dari turbin ulir. Penelitian tersebut dilakukan pada rotor dengan rasio *pitch* 1,2 dan sudut kemiringan *head*  $30^\circ$ , menunjukkan adanya peningkatan kinerja ketika menggunakan 20 mm *tip fin*, namun terjadi penurunan kinerja ketika menggunakan 40 mm *tip fin*. Terdapat asumsi jika penggunaan *tip fin* menyebabkan gaya gesek yang cukup besar, sehingga diperlukan modifikasi pada *tip fin* tersebut.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini memodifikasi turbin ulir seperti pada Gambar 1 dan menggunakan variasi sudut *tip fin* seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Rotor turbin ulir



Gambar 2. Sudut *tip fin* (a)  $60^\circ$ , (b)  $75^\circ$ , dan (c)  $90^\circ$

Tabel 1 adalah parameter-parameter yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Parameter turbin ulir

Parameter	Dimensi
Sudut <i>tip fin</i> ( $\alpha$ )	$60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$
Debit ( $Q$ )	3 L/s, 3,5 L/s, 4 L/s
Diameter dalam ( $d$ )	114,3 mm
Diameter luar ( $D$ )	201 mm
Jarak <i>pitch</i> ( $p$ )	225 mm
Sudut <i>head</i> ( $\beta$ )	$30^\circ$
Panjang rotor ( $L$ )	1000 mm

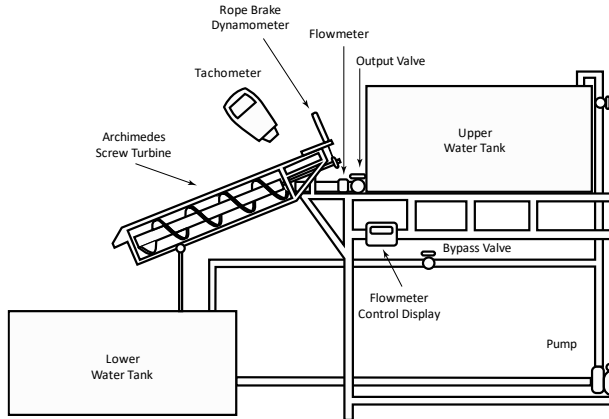
Gambar 3 menunjukkan *experiment setup* yang mana air pada bak penampung bawah akan dipompa menuju bak penampung atas melewati *flow control valve*. Air yang berada pada bak penampung atas akan dialirkan menuju rotor turbin ulir yang alirannya akan disesuaikan dengan debit yang telah ditentukan dengan melihat *flowmeter control display* dan menyesuaikan *bypass valve*. Air yang melewati rotor turbin ulir akan mendorong sudu-sudunya dan membuat poros turbin berputar. Kecepatan putar ( $n$ ) dari poros turbin akan diukur menggunakan tachometer dan torsi ( $T$ ) akan diukur dengan *rope brake dynamometer*.

*Rope brake dynamometer* adalah salah satu metode pengukuran torsi dengan menghitung nilai pembebanan ( $F$ ) [13] yang didapatkan dengan instalasi seperti pada Gambar 44.

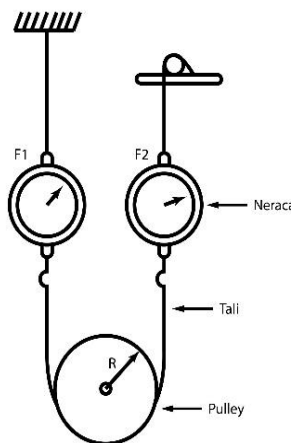
Nilai pembebanan yang didapatkan dari neraca digital dihitung menggunakan Pers. 1 untuk mendapatkan nilai torsi.

$$T = (F_2 - F_1) \times R_e \quad (1)$$

Pada Pers. 1, radius efektif ( $R_e$ ) adalah penjumlahan antara radius pulley dan tali yang digunakan pada rope brake dynamometer.



Gambar 3. *Experiment setup* penelitian



Gambar 4. *Rope brake dynamometer*

Untuk mendapatkan nilai daya hidrolis ( $P_H$ ) dilakukan perhitungan menggunakan Pers. 2.

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2)$$

Dengan densitas air ( $\rho$ ) adalah 977 Kg/m<sup>3</sup>, gravitasi ( $g$ ) sebesar 9.8 m/s<sup>2</sup> dan head ( $H$ ) yang didapatkan dari persamaan trigonometri antara panjang rotor dan sudut kemiringan head.

Perhitungan nilai daya mekanis ( $P_M$ ) didapatkan dari Pers. 3, dan nilai efisiensi ( $\eta$ ) yang mana merupakan persentase perbandingan antara daya mekanis yang

dihasilkan dengan daya hidrolis yang tersedia pada aliran [14] didapatkan dari Pers. 4.

$$P_M = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60} \quad (3)$$

$$\eta = \left( \frac{P_M}{P_H} \right) \times 100\% \quad (4)$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengambilan data dengan tiga kali replikasi didapatkan hasil daya mekanis tertinggi pada Tabel 2 dan efisiensi tertinggi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Daya mekanis tertinggi pada setiap replikasi

$\alpha$	Q (L/s)		
	3	3.5	4
60	4.491	5.204	6.140
	4.593	5.138	6.023
	4.624	5.204	6.390
	4.750	5.585	6.582
75	4.617	5.522	6.602
	4.928	5.601	6.390
	3.325	4.437	5.354
90	3.265	4.530	5.241
	3.363	4.519	5.276

Tabel 3. Efisiensi tertinggi pada setiap replikasi

$\alpha$	Q (L/s)		
	3	3.5	4
60	30.640	30.437	31.422
	31.340	30.049	30.820
	31.553	30.437	30.820
	32.410	32.666	33.683
75	31.505	32.296	33.785
	33.627	32.756	32.698
	22.684	25.947	27.396
90	22.277	26.493	26.820
	22.947	26.431	26.997

#### 3.1 Analisis Data Statistik

Tabel 4 merupakan hasil anova yang menunjukkan jika sudut *tip fin*, debit, dan interaksi antara sudut *tip fin* dan debit mempengaruhi hasil dari daya mekanis secara signifikan. Tabel 5 menunjukkan jika nilai daya mekanis dipengaruhi oleh variabel sudut *tip fin* dan debit sebesar 99,20%, sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Tabel 6. merupakan hasil anova dari efisiensi yang menunjukkan jika sudut *tip fin*, debit, dan interaksi antara sudut *tip fin*

dan debit mempengaruhi hasil dari efisiensi secara signifikan.

Tabel 4. Hasil Anova daya mekanis

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
$\alpha$	2	7,66	3,83	384,29	0,00
Q	2	14,29	7,14	717,02	0,00
$\alpha^*Q$	4	0,25	0,06	6,36	0,02
Error	18	0,17	0,00		
Total	26	22,39			

Tabel 5. Model summary daya mekanis

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0,0998485	99,20%	98,84%	98,20%

Tabel 7. merupakan model summary dari variabel efisiensi yang menunjukkan jika efisiensi dipengaruhi oleh sudut *tip fin* dan debit sebesar 98,56% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Tabel 6. Hasil Anova efisiensi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
$\alpha$	2	271,1	135,5	543,87	0,00
Q	2	13,32	6,66	26,72	0,00
$\alpha^*Q$	4	23,03	5,75	23,10	0,00
Error	18	4,48	0,24		
Total	26	311,96			

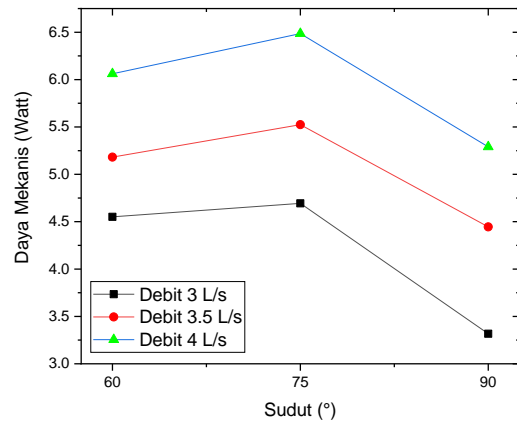
Tabel 7. Model summary efisiensi

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0,499258	98,56%	97,92%	96,76%

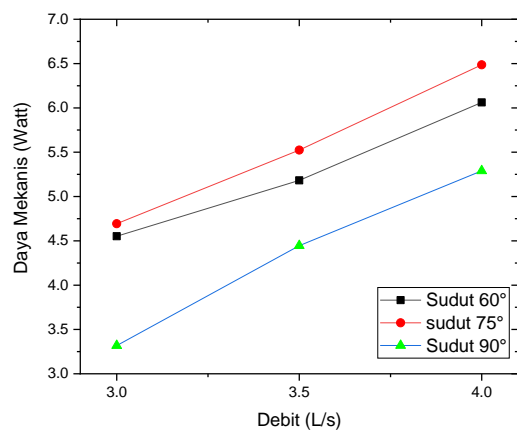
### 3.2 Interaksi Variabel

Mengacu Gambar 5 dan Gambar 6, dapat dilihat jika semakin tinggi debit yang digunakan maka semakin tinggi daya mekanis yang dihasilkan. Modifikasi pada sudut *tip fin* juga meningkatkan daya mekanis jika dibandingkan dengan turbin ulir standar (tanpa *tip fin*).

Peningkatan daya mekanis disebabkan karena berkurangnya kontak gesek antara penampang *tip fin* dan *bucket*. Namun penggunaan sudut *tip fin* 60° menunjukkan daya mekanis yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sudut *tip fin* 75°. Hal tersebut diasumsikan karena daya tampung dari sudu turbin ulir dengan sudut *tip fin* 60° lebih kecil.

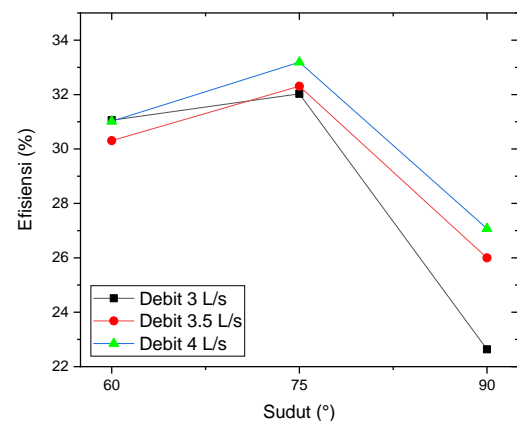


Gambar 5. Grafik sudut *tip fin* terhadap daya mekanis

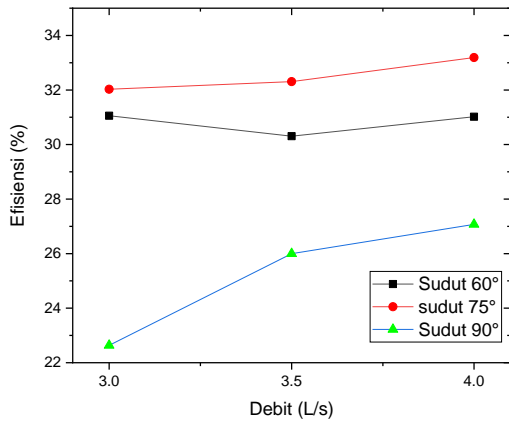


Gambar 6. Grafik debit terhadap daya mekanis

Berdasarkan pada Gambar 7 dan Gambar 8, dapat dilihat jika nilai efisiensi cenderung naik ketika menggunakan debit yang semakin tinggi. Grafik tersebut juga menunjukkan jika efisiensi pada turbin ulir dengan modifikasi sudut *tip fin* menunjukkan nilai yang lebih tinggi secara keseluruhan jika dibandingkan dengan turbin ulir standar.

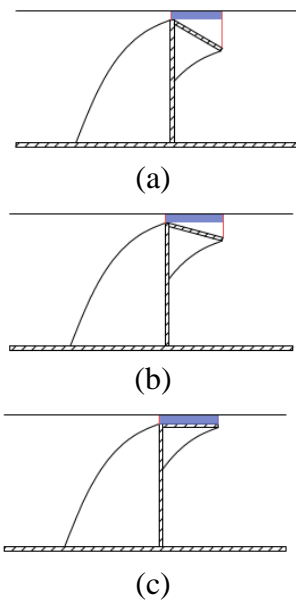


Gambar 7. Grafik sudut *tip fin* terhadap efisiensi



Gambar 8. Grafik debit terhadap efisiensi

$$\mu = \mu_{\infty}(1 - e^{-\alpha A}) \quad (5)$$

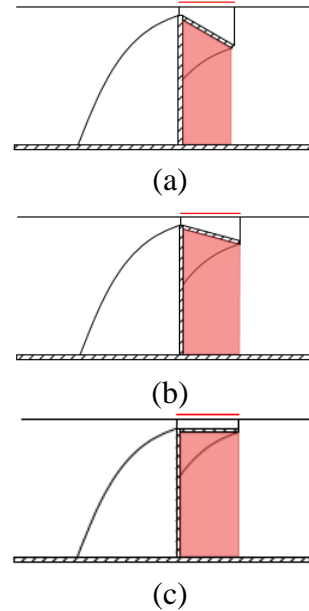


Gambar 9. Ilustrasi kontak gesek sudut tip fin (a) 60°, (b) 75°, dan (c) 90°

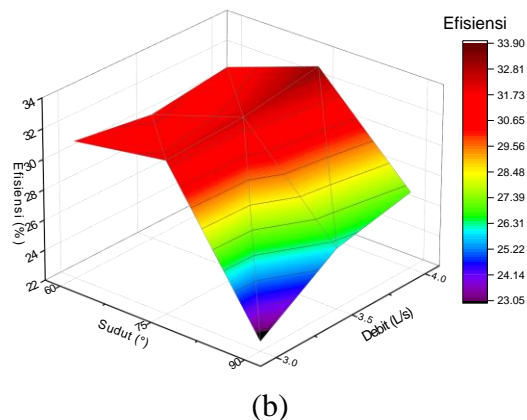
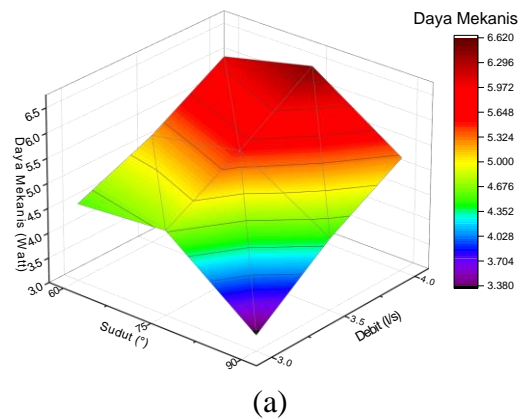
Namun jika dilihat pada Gambar 8, terdapat penurunan efisiensi pada penggunaan sudut tip fin 60°, yaitu debit 0,0035 m<sup>3</sup>/s yang menunjukkan nilai dibawah debit 0,003 m<sup>3</sup>/s, ini disebabkan karena daya mekanis yang dihasilkan tidak sebanding dengan daya hidrolis yang dimiliki oleh aliran. Daya mekanis yang tidak sebanding tersebut dapat disebabkan oleh faktor yang dapat mengurangi daya mekanis seperti gaya gesek dan daya tumpang sudu.

Gambar 9 merupakan ilustrasi kontak gesek dari turbin ulir dengan modifikasi sudut tip fin. Dapat dilihat jika modifikasi sudut tip fin menjadi 60° dan 75°

dapat mengurangi besarnya kontak gesek yang terjadi, sehingga terdapat asumsi jika koefisien geseknya berkurang. Asumsi tersebut didukung dengan Pers. 5 oleh Jati [15].



Gambar 10. Ilustrasi daya tumpang sudut tip fin (a) 60°, (b) 75°, dan (c) 90°



Gambar 11. Surface plot antara sudut tip fin dan debit terhadap (a) daya mekanis dan (b) efisiensi

Pada Gambar 10 dapat dilihat jika modifikasi sudut pada *tip fin* dapat mengurangi daya tampung dari sudu turbin ulir. Hal tersebut diasumsikan jika modifikasi pada sudut *tip fin* dapat mengurangi kemampuan turbin ulir untuk mengkonversi daya hidrolis secara maksimal, sehingga semakin rendah daya tampungnya maka semakin rendah juga daya yang dapat dikonversi.

Dari grafik yang telah didapatkan dapat diringkaskan dalam bentuk *surface* seperti pada Gambar 11.

#### 4. Kesimpulan

Dapat disimpulkan jika modifikasi pada sudut *tip fin* berpengaruh terhadap hasil daya mekanis dan efisiensi turbin ulir karena berkurangnya kontak gesek serta daya tampung dari sudu turbin ulir.

Kesimpulan lain pada penelitian ini adalah interaksi antara sudut *tip fin* dan debit berpengaruh terhadap daya mekanis dan efisiensinya, yang mana daya mekanis dan efisiensi tertinggi didapatkan pada penggunaan sudut *tip fin*  $75^\circ$  dengan debit  $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan perluasan variabel penelitian dengan sudut *tip fin*  $75^\circ$  sebagai variabel terkontrolnya.

#### Referensi

- [1] IEA 2021, “Key World Energy Statistics 2021 – Statistics Report.”
- [2] D. Putra, D. Yoesgiantoro, dan S. Thamrin 2020, “Kebijakan Ketahanan Energi Berbasis Energi Listrik pada Bidang Transportasi Guna Mendukung Pertahanan Negara di Indonesia: Sebuah Kerangka Konseptual,” *NusantaraJurnal Ilmu Pengetah. Sos.*, vol. 7, no. 3, hal. 658–672.
- [3] L. M. Alsarhan, A. S. Alayyar, N. B. Alqahtani, dan N. H. Khdayr 2021, “Circular carbon economy (Cce): A way to invest co2 and protect the environment, a review,” *Sustain.*, vol. 13, no. 21,
- [4] P. Friedlingstein, M. W. Jones, M. O’Sullivan, R. M. Andrew, dan D. C. E. Bakker 2022, “Global Carbon Budget 2021, raport Earth System Science Data,” *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 14, hal. 1917–2005.
- [5] DEN 2020, “Perkembangan Bauran Energi Primer Nasional Tahun 2015-2019,” *Dewan Energi Nasional Republik Indonesia*, 2020. <https://www.den.go.id/index.php/dinamispage/index/869-perkembangan-bauran-energi-primer-nasional-tahun-20152019.html> (diakses 9 April 2023).
- [6] LIPI 2017, *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Sebuah Pilihan: Belajar dari Koperasi Mekar sari, Subang*. Jakarta: LIPI Press, 2017.
- [7] S. Sadya 2022, “Mayoritas Desa di Papua Belum Teraliri Listrik pada 2021,” *DataIndonesia.id*, 2022. <https://dataindonesia.id/sector-riil/detail/mayoritas-desa-di-papua-belum-teraliri-listrik-pada-2021> (diakses 9 April 2023).
- [8] R. N. Indah dan A. D. Rarasati 2020, “Enabling electricity access to rural areas in Indonesia: Challenges and opportunities,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 830, no. 2,
- [9] D. K. Okot 2013, “Review of small hydropower technology,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, hal. 515–520,
- [10] C. Rorres 2000, “The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw,” *J. Hydraul. Eng.*, vol. 126, no. 1, hal. 72–80,

- [11] M. W. K. Lyons 2014, “Lab Testing and Modeling of Archimedes Screw Turbines,” University of Guelph, 2014.
- [12] M. C. Anam 2022, “Analisis Pengaruh Tinggi Tip Fin dan Debit Air Terhadap Kinerja Turbin Ulir,” Politeknik Negeri Malang, 2022.
- [13] H. P. Dewanto, D. A. Himawanto, dan S. I. Cahyono 2017, “Pembuatan dan pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air piko hidro (PLTA-PH) dengan variasi debit aliran,” *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 12, no. 2, hal. 54–62,
- [14] A. M. Kusnadi, G. Pakki, dan K. Gunarko 2018, “Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis,” *J. Tek. Mesin Univ.*, vol. 7, no. 2.
- [15] H. R. M. B M E Jati 2018, “Formulasi Koefisien Gesekan Kinetis pada Gaya Gesekan antara Benda dengan Lantai,” *Formulasi Koefisien Gesekan Kinet. pada Gaya Gesekan antara Benda dengan Lantai*, vol. 41, no. 1, hal. 40–44.