

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro Menggunakan Turbin *Double Archimedes Screw*

Andareas Pangkung¹, Yiyin Klistafani², Ariyo Setiawan³, Wilda Lengke' Batara⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*email: yiyin_klistafani@poliupg.ac.id

Abstract: Indonesia has such a large water potential that can be used as a power plant. One of the power plants that utilizes water energy is the Picohydro Power Plant (PLTPH) whose working principle converts water energy into electrical energy. This study was conducted to design PLTPH using Archimedes Double Screw turbines and determine the performance of archimedes screw turbines and double screw archimedes in irrigation canals. The method used is a literature study by collecting various data on archimedes screw turbines in small-scale power plants to make it easier to design double screw archimedes turbines. Some parameters that need to be considered before designing a PLTPH using an Archimedes Double Screw Turbine are: discharge, flow speed, water potential power, turbine diameter, shaft diameter, turbine pitch, turbine length, number of threads, and generator capacity. After planning the turbine design, turbine assembly and testing on the turbine are carried out to determine the performance of the double screw archimedes turbine. The test results of the Archimedes single screw turbine obtained the highest turbine power value of 124,286 Watts with an efficiency level of 61.62% at a mass load of 8 kg while for the Archimedes double screw turbine test, the highest turbine power value was 272,346 Watts with an efficiency level of 67.52% at a mass load of 20 kg. In the Archimedes Turbine experiment, the single screw in the generator produced an open circuit voltage of 24.2 V with the highest power produced when serving the lamp load of 5.72 Watts with a load of 13 lights of 10 Watts while the Archimedes Turbine double screw in the generator produced an open circuit voltage of 23.3 V with the highest power generated when serving the lamp load which was 34.61 Watts with a load of 13 lamps of 10 Watts. Based on the results of the research conducted, it can be seen that the performance of the Archimedes double screw turbine is better than the single screw Archimedes Turbine when compared in terms of efficiency and power produced.

Keyword: Archimedes screw; picohydro; efficiency.

Abstrak: Indonesia memiliki potensi air yang begitu besar yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro (PLTPH) yang prinsip kerjanya mengkonversi energi air menjadi energi listrik. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk merancang PLTPH dengan menggunakan turbin *Archimedes Double Screw* dan mengetahui performa dari turbin archimedes screw dan *archimedes double screw* pada saluran irigasi. Metode yang digunakan yaitu studi literatur dengan mengumpulkan berbagai data mengenai turbin archimedes screw pada pembangkit listrik berskala kecil untuk memudahkan dalam merancang turbin archimedes double screw. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan sebelum merancang PLTPH dengan menggunakan Turbin *Archimedes Double Screw* yaitu: debit, kecepatan aliran, daya potensial air, diameter turbin, diameter poros, pitch turbin, panjang turbin, jumlah ulir, dan kapasitas generator. Setelah merencanakan desain turbin, dilakukan perakitan turbin dan pengujian pada turbin untuk mengetahui performa dari turbin archimedes double screw. Hasil pengujian Turbin *Archimedes single screw* didapatkan nilai daya turbin tertinggi yaitu 124,286 Watt dengan tingkat efisiensi sebesar 61,62% pada pembebanan massa 8 kg sedangkan untuk pengujian Turbin *Archimedes double screw* didapatkan nilai daya turbin tertinggi yaitu 272,346 Watt dengan tingkat efisiensi sebesar 67,52% pada pembebanan massa 20 kg. Pada percobaan Turbin *Archimedes single screw* dikopel generator menghasilkan tegangan open circuit sebesar 24,2 V dengan daya tertinggi yang dihasilkan ketika melayani beban lampu yaitu 5,72 Watt dengan beban 13 lampu 10 Watt sedangkan Turbin *Archimedes double screw* dikopel generator menghasilkan tegangan open circuit sebesar 23,3 V dengan daya tertinggi yang dihasilkan ketika melayani beban lampu yaitu 34,61 Watt dengan beban 13 lampu 10 Watt. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat dilihat bahwa performa Turbin *Archimedes double screw* lebih baik dibandingkan Turbin Archimedes single screw jika dibandingkan dari segi efisiensi dan daya yang dihasilkan.

Keyword: Archimedes screw; picohidro; efisiensi.

I. PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak potensi energi terbarukan (renewable energy), salah satunya yaitu energi air. Kondisi topografi yang bergunung dan berbukit

serta danau/waduk membuat Indonesia mempunyai potensi energi air sebagai energi utama yang begitu besar [1]. Potensi energi air yang dimiliki Indonesia hingga 75.091 MW yang tersebar di seluruh Indonesia, namun pemanfaatan potensi energi yang begitu besar ini baru sekitar 7,2% dari potensi yang ada [2]. Sebagian besar pemanfaatannya digunakan sebagai sumber pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga air menyumbang persentase 66% dari total 7 GW pembangkit listrik energi baru terbarukan yang ada di Indonesia [3].

Potensi energi aliran sungai/irigasi yang memiliki head rendah (kurang dari 3 meter) masih banyak belum dimanfaatkan dikarenakan terkendala oleh ketersediaan teknologi yang dapat memanfaatkannya [4]. Dibutuhkan turbin khusus untuk memanfaatkan aliran sungai dengan head yang rendah. Turbin Archimedes screw merupakan turbin yang dapat diaplikasikan untuk aliran sungai/aliran irigasi yang memiliki head rendah [5].

Pemanfaatan potensi energi pada aliran sungai/irigasi dengan menggunakan turbin Archimedes screw memerlukan perancangan yang baik agar energi mekanik dari air dapat dikonversi menjadi energi listrik secara maksimal [6]. Perlu diperhatikan untuk menghasilkan turbin yang memiliki efisiensi tinggi, bentuk geometri dari turbin Archimedes screw ditentukan dari parameter eksternal yakni radius luar, panjang turbin, dan kemiringan peletakan (slope) serta parameter internal yaitu radius dalam, jumlah sudu, dan pitch [7].

Yulianto, dkk. melakukan penelitian mengenai turbin rotor sekrup (Archimedes screw) yang menunjukkan bahwa pengaruh sudut sudu dan pembebanan mengakibatkan turunnya kecepatan putaran yang tidak disertai meningkatnya torsi [8]. Untuk menjaga efisiensi yang maksimal pada pengkonversian energi pada turbin, sebaiknya turunnya kecepatan putaran berbeban tidak melebihi 50% kecepatan putaran tanpa beban [9].

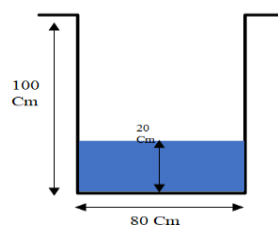
Dari beberapa hasil pengujian yang telah dilakukan mengenai turbin Archimedes screw, permasalahan yang ditemui berupa konstruksi turbin belum maksimal sehingga efisiensi kurang optimal didapatkan dari saluran air yang memiliki head rendah dan perubahan putaran yang signifikan akibat pembebanan pada generator [10]. Dalam rangka menstabilkan putaran pada saat pembebanan dilakukan, maka pada konstruksi ditambahkan 1 lagi turbin Archimedes yang dikopel dengan generator yang sama dengan turbin pertama. Diharapkan dengan penambahan turbin dapat meningkatkan efisiensi dari suatu aliran sungai/irigasi [11].

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan, maka penulis akan melakukan penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPH) Dengan Menggunakan Turbin Archimedes Double Screw".

II. METODE PENELITIAN

A. Survey Lokasi

Survey lokasi merupakan tahap awal dalam merencanakan penelitian untuk mengetahui potensi sumber energi air yang akan diteliti. Pada saat melakukan survey terdapat parameter-parameter yang harus diperhatikan seperti kecepatan aliran air, dimensi saluran irigasi, debit air, dan tinggi jatuh air (Head). Survey lokasi ini dilakukan di saluran irigasi Bulutana, Gowa.



Gambar 1. Dimensi Saluran Irigasi

B. Tahap Perancangan

Tahap perancangan merupakan proses mendesain atau membuat pola rancangan alat yang akan dibuat. Tahap perancangan ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum dari alat yang nantinya akan dibuat dengan mempertimbangkan parameter-parameter hasil dari survei lokasi. Agar nantinya alat yang dibuat sesuai dengan lokasi pengujian dan dapat berfungsi secara optimal. Adapun

perhitungan awal mengenai konstruksi turbin *double screw* yaitu debit, potensi daya, diameter turbin, diameter poros, *pitch* turbin, panjang turbin, dan jumlah ulir.

1. Debit (Q)

Debit air merupakan besaran yang menyatakan banyaknya air yang mengalir persatuan waktu yang melewati suatu penampang tertentu. Debit dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$Q = v \times A, \text{ dimana } A = h_0 \times 1$$

dimana :

Q = Debit air (m³/s)

v = Kecepatan aliran air (m/s)

A = Luas Penampang (m²)

h₀ = kedalaman air (m)

2. Daya Hidrolis (P_{air})

Daya yang dihasilkan sebuah turbin tergantung dari seberapa banyak energi yang dihasilkan turbin, sehingga dalam perancangannya perlu diketahui berapa daya hidrolis atau daya yang dihasilkan oleh air yang mengalir pada suatu ketinggian. daya hidrolis dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$P_{\text{air}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

dimana :

P_{air} = Daya hidrolis air (watt)

P = Massa jenis air (kg/m³)

Q = Debit air (m³/s)

H = Ketinggian atau tinggi jatuh air (m)

3. Diameter Turbin Screw (D)

Diameter turbin screw dapat dicari menggunakan persamaan:

$$Q = k \times n \times D^3$$

Sehingga didapatkan diameter turbin screw yaitu :

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{k \cdot n}}$$

dimana:

D = Diameter turbin (m)

Q = Debit air (m³/s)

k = Konstanta ulir

n = Putaran sudu (rpm)

Nilai konstanta ulir didapat dari tabel konstanta ulir seperti pada Tabel 1 berikut [12]:

Tabel 1. Nilai Konstanta Ulir

d/D	22°		26°		30°		
	1.0 D	1.2 D	0.8 D	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
0.6	0.315	0.351	-	0.3	0.327	-	0.273

Sumber : C. Rorres, 2000

4. Diameter Poros Turbin (d)

Untuk perbandingan diameter poros turbin terhadap diameter sudu turbin telah ditentukan.

$$\frac{d}{D}$$

dimana:

d = Diameter Poros Turbin (m)

D = Diameter turbin (M)

5. Pitch Turbin (S)

Untuk menentukan pitch turbin terlebih dahulu menentukan nilai sudut turbin (Saefuddin dkk., 2017)

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 $S = 0,8 D$

6. Jumlah Ulir (Z)

Jumlah ulir dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$Z = \frac{L}{S}$$

dimana:

Z = Jumlah Ulir

L = Panjang turbin (m)

S = Jarak *pitch* (cm)

7. Panjang Turbin (L)

Panjang turbin dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\sin \theta = \frac{H}{L}$$

Sehingga didapatkan panjang turbin yaitu :

$$L = \frac{H}{\sin \theta}$$

dimana:

θ = Sudut turbin ($^\circ$)

H = Head (m)

L = Panjang turbin (m)

8. Torsi

Torsi dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} T &= F \times r \\ &= m \times g \times r \end{aligned}$$

9. Daya generator (P_g)

Daya generator dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$P_g = V \times I$$

dimana:

P_g = Daya generator (Watt)

V = Tegangan listrik (Volt)

I = (Arus listrik (Ampere)

10. Efisiensi Generator (η_g)

Efisiensi generator dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_g = \frac{P_g}{P_t} \times 100\%$$

dimana :

η_g = Efisiensi generator

P_g = Daya generator

P_t = Daya turbin

11. Daya Turbin (P_t)

Daya turbin dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$P_t = \frac{2\pi NT}{60}$$

dimana :

P_t = Daya turbin

N = Putaran

T = Torsi

12. Efisiensi Turbin (η_t)

Efisiensi turbin dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h} \times 100\%$$

dimana :

η_t = Efisiensi turbin

P_t = Daya Turbin

P_h = Daya Hidrolis

13. Efisiensi Sistem (η_s)

Efisiensi turbin dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_s = \frac{P_g}{P_h} \times 100\%$$

dimana :

η_t = Efisiensi turbin

P_g = Daya Generator

P_h = Daya Hidrolis

C. Tahap Pembuatan

Penelitian ini dikerjakan di Laboratorium Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar. Komponen turbin dirakit sesuai dengan hasil rancangan. Material turbin terbuat dari pipa PVC, sedangkan untuk rangka turbin terbuat dari besi hollow. Pembuatan turbin screw ini dibagi dalam beberapa tahap yaitu:

1. Pembuatan rangka turbin dan sistem transmisi
2. Membuat ulir turbin screw
3. Menyatukan komponen turbin

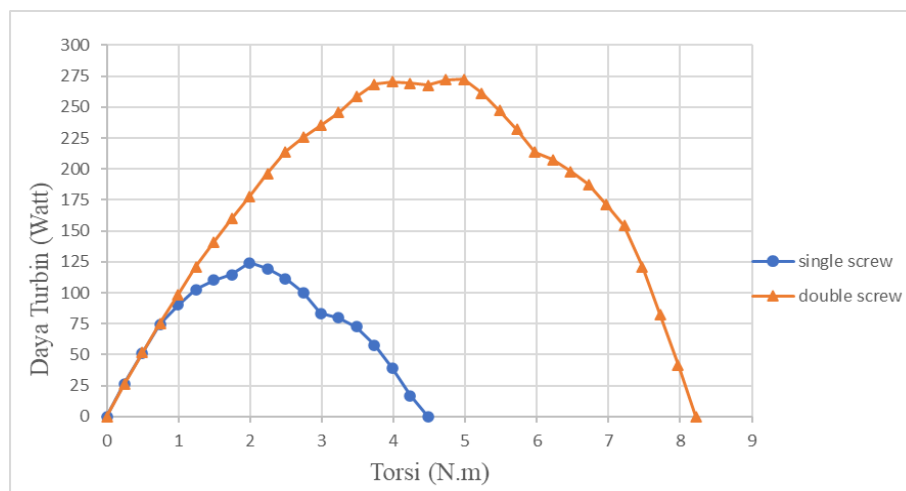
D. Tahap Pengujian

Pengujian turbin archimedes double screw ini dilakukan di Aliran irigasi pada kawasan wisata air terjun parang bugisi, Bulutana, Tinggimoncong, Gowa. Berdasarkan data hasil survey, dengan menggunakan metode apung diketahui kecepatan aliran irigasi sebesar 0,105 m/s.

Pengujian daya poros turbin dilakukan dengan mengetahui torsi poros turbin. Torsi diperoleh dengan memberikan gaya pembebanan pada poros menggunakan neraca pegas. Pembebanan poros pada penelitian ini divariasikan dari 1-33kg. Untuk mengetahui performa dari turbin archimedes double screw dilakukan Pengujian Turbin Archimedes Single Screw Yang Terkoppel Dengan Generator dan tanpa generator

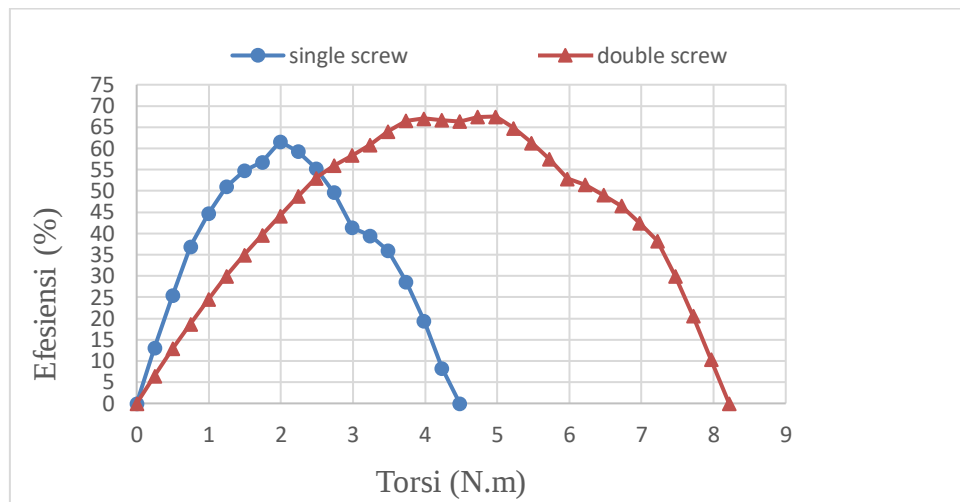
Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Februari sampai dengan bulan September 2022.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN



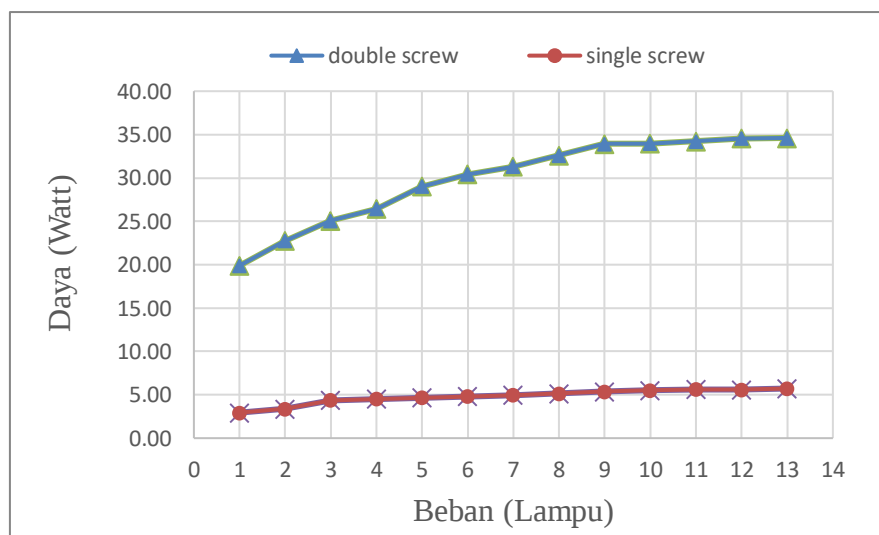
Gambar 2. Grafik Hubungan Torsi Turbin Terhadap Daya Turbin dengan Variasi Screw

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa ketika diberi pembebanan, daya turbin akan mengalami kenaikan sampai ke titik puncak pada kurva, setelah melewati titik puncak maka daya turbin akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penambahan beban yang melewati batas maksimum dari kemampuan turbin sehingga menyebabkan penurunan putaran pada turbin. Untuk turbin single screw nilai maksimum didapat pada pembebanan 8 Kg diperoleh daya turbin sebesar 124,286 Watt sedangkan untuk turbin *double screw* nilai maksimum didapat pada pembebanan 20 Kg diperoleh daya turbin sebesar 272,346 Watt.



Gambar 3. Grafik Hubungan Torsi Turbin Terhadap Efisiensi Turbin Dengan Variasi Screw

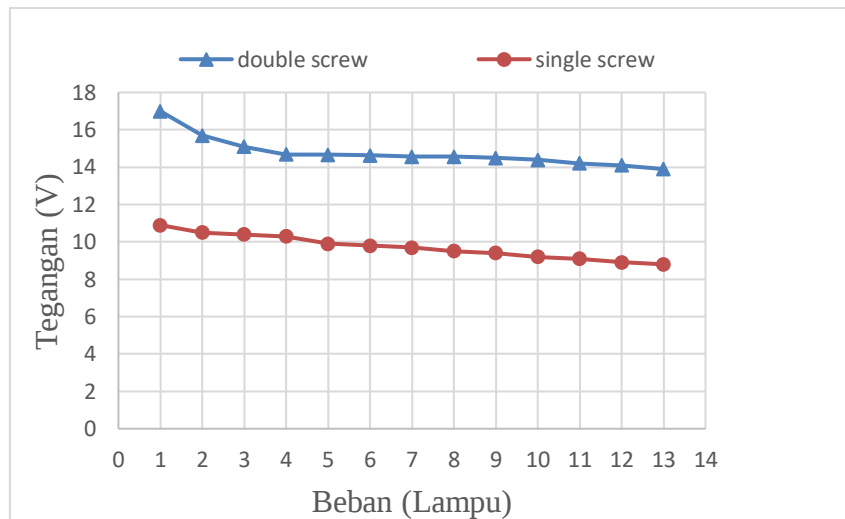
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa ketika diberi pembebanan, maka efisiensi turbin akan mengalami peningkatan kenaikan sampai ke titik puncak pada kurva, setelah melewati titik puncak maka efisiensi dari turbin akan mengalami penurunan. Efisiensi tertinggi diperoleh pada pembebanan 8 Kg dengan nilai efisiensi yaitu 61,62% sedangkan untuk turbin *double screw* efisiensi tertinggi diperoleh pada pembebanan 20 Kg dengan nilai efisiensi 66,75%.



Gambar 4. Grafik hubungan Pembebanan Terhadap Daya Output Turbin

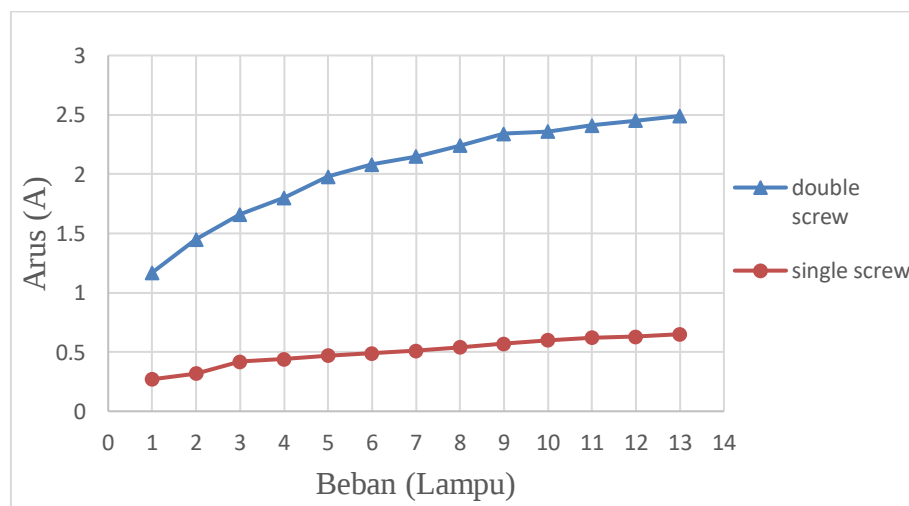
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa pengaruh pembebanan terhadap daya output listrik adalah berbanding lurus, semakin banyak beban yang diberikan maka daya yang dihasilkan juga semakin tinggi. Untuk turbin *single screw* daya tertinggi diperoleh pada pembebanan 13 buah lampu dengan daya yang dihasilkan yaitu 5.72 Watt sedangkan daya terendah diperoleh pada pembebanan 1 buah

lampu dengan daya yang dihasilkan yaitu 2.4 Watt. Untuk turbin *double screw* daya tertinggi diperoleh pada pembebanan 13 buah lampu dengan daya yang dihasilkan yaitu 34,61 Watt sedangkan daya terendah diperoleh pada pembebanan 1 buah lampu dengan daya yang dihasilkan yaitu 19,89 Watt. Ini membuktikan bahwa turbin Archimedes *double screw* lebih optimal dibandingkan dengan turbin Archimedes *single screw*.



Gambar 5. Grafik Hubungan Pembebanan Terhadap Tegangan

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa beban dan tegangan berbanding terbalik. Hal ini disebabkan karena adanya pembebanan pada generator yang menyebabkan tegangan mengalami penurunan. Semakin besar beban yang diberikan maka nilai tegangan yang dihasilkan semakin kecil. Untuk turbin *single screw* diperoleh tegangan sebesar 10.9 V pada pembebanan 1 buah lampu dengan daya 10 watt sedangkan untuk turbin *double screw* diperoleh tegangan sebesar 17 V pada pembebanan 1 buah lampu dengan daya 10 Watt.



Gambar 6. Grafik Hubungan Pembebanan Terhadap Arus

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa beban dan arus berbanding lurus. semakin besar beban maka arus yang dihasilkan semakin besar. Untuk turbin *single screw* diperoleh arus tertinggi sebesar 0,65 A pada pembebanan 13 buah lampu sedangkan arus terendah diperoleh pada pembebanan 1 buah lampu dengan arus sebesar 0,27 A. Untuk turbin *double screw* diperoleh arus tertinggi sebesar 2.49 A

pada pembebanan 13 buah lampu sedangkan arus terendah diperoleh pada pembebanan 1 buah lampu dengan arus sebesar 1.17 A.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil perancangan dan pengujian alat maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dibuat Turbin Archimedes *Screw* sebagai turbin air.
2. Berdasarkan data hasil penelitian terhadap turbin Archimedes *screw* yang dibuat, didapatkan nilai efisiensi turbin Archimedes *single screw* mencapai 61.62 % dengan daya turbin yang dihasilkan yaitu 124.286 Watt, nilai torsi sebesar 1.991 Nm dan putaran turbin 596.3 Rpm pada pembebanan 8 kg. Sedangkan nilai efisiensi turbin Archimedes *double screw* mencapai 67.52 % dengan daya turbin yang dihasilkan yaitu 272.346 Watt, nilai torsi sebesar 4.978 Nm dan putaran turbin 522.4 Rpm pada pembebanan 20 kg.
3. Daya yang dihasilkan turbin Archimedes *double screw* lebih besar dibandingkan daya yang dihasilkan oleh Archimedes *single screw*, dimana daya rata-rata yang dihasilkan Archimedes *double screw* sebesar 28,52 Watt sedang daya rata-rata yang dihasilkan oleh Archimedes *single screw* sebesar 14,81 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Irena, Renewable Energy Potentials in Indonesia, International Renewable Energy Agency, 2022.
- [2] Kementerian ESDM Indonesia, Potensi dan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia, Jakarta: ESDM Press, 2023.
- [3] PLN Indonesia Power, Laporan Tahunan Energi Baru Terbarukan, Jakarta: PLN IP, 2023.
- [4] B. Susanto and A. Widodo, "Potensi Energi Aliran Sungai Ber-Head Rendah," Jurnal Energi Terbarukan, vol. 15, no. 3, pp. 45-53, 2021.
- [5] A. Williams and J. Smith, "Archimedes Screw Turbine for Low Head Hydropower Applications," Renewable Energy Journal, vol. 89, pp. 456-466, 2020.
- [6] H. A. Putra and M. Nurdin, "Desain Turbin Archimedes untuk Aliran Sungai Head Rendah," Jurnal Teknik Mesin, vol. 12, no. 2, pp. 78-85, 2021.
- [7] D. Santoso and L. Rahmawati, "Pengaruh Geometri pada Efisiensi Turbin Archimedes Screw," Indonesian Journal of Renewable Energy, vol. 8, no. 1, pp. 32-40, 2022.
- [8] T. Yulianto, et al., "Pengaruh Sudut Sudu dan Pembebanan pada Turbin Archimedes Screw," Jurnal Energi Air, vol. 7, no. 2, pp. 112-120, 2019.
- [9] T. Nakamura and K. Suzuki, "Optimization of Screw Turbine Speed under Variable Load Conditions," Hydropower Technology Journal, vol. 34, no. 4, pp. 213-225, 2020.
- [10] S. Wibowo and R. Setiawan, "Analisis Efisiensi Turbin Archimedes pada Saluran Air Head Rendah," Jurnal Energi dan Lingkungan, vol. 14, no. 3, pp. 65-72, 2022.
- [11] M. Hidayat and Y. Pratama, "Efisiensi Ganda pada Turbin Archimedes Screw dengan Konfigurasi Double Screw," Journal of Renewable Energy Systems, vol. 11, no. 4, pp. 98-106, 2023.
- [12] C. Rorres, "The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw," Journal of Hydraulic Engineering, vol. 126, no. 1, pp. 72-80, Jan. 2000.