



Perancangan Poros Turbin Archimedes Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Skala Lab

Nurjaya¹, Wachid Basuni², Reson Wibowo³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : ¹ dosen01288@unpam.ac.id, ² wachidbasuni7@gmail.com, ³ dosen01649@unpam.ac.id

Masuk: 10 Maret 2025

Direvisi: 29 Maret 2025

Disetujui: 14 April 2025

Abstract: Energy is a vital need that cannot be separated from human life. Indonesia has great potential in utilizing new and renewable energy (NRE), one of which is through micro-hydro power plants (MHPP). A key component in MHPP systems is the turbine, where the Archimedes screw turbine serves as an efficient alternative for converting water energy into mechanical energy, particularly at low water discharge. This study aims to design the shaft of an Archimedes turbine and to analyze its performance and structural strength using Finite Element Analysis (FEA). The research method employed is a quantitative approach through numerical simulations with variations in shaft length. The results show that variations in shaft length significantly affect the flow velocity and turbine rotation. At a shaft length of 1100 mm, a velocity of 19.7 m/s with 188 RPM was achieved; a length of 1200 mm yielded 33.3 m/s with 317 RPM; and a length of 1300 mm resulted in the highest velocity of 43.8 m/s with 418 RPM. FEA simulations indicate that the shaft design is capable of withstanding operational loads safely. This study contributes to the development of an optimal Archimedes turbine design to support the utilization of NRE in Indonesia.

Keywords: Micro-hydro, Archimedes Screw, Finite Element Analysis.

Abstrak: Energi merupakan kebutuhan vital yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT), salah satunya melalui pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Komponen utama dalam sistem PLTMH adalah turbin, di mana turbin *Archimedes screw* menjadi salah satu alternatif yang efisien dalam mengubah energi air menjadi energi mekanik, terutama pada debit air yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang poros turbin *Archimedes* serta melakukan analisis performa dan ketahanan strukturnya menggunakan aplikasi *Finite Element Analysis (FEA)*. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui simulasi numerik dengan variasi panjang poros. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi panjang poros berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran dan putaran turbin. Pada panjang poros 1100 mm, dihasilkan kecepatan 19,7 m/s dengan 188 RPM; panjang 1200 mm menghasilkan 33,3 m/s dengan 317 RPM; dan panjang 1300 mm menghasilkan kecepatan tertinggi 43,8 m/s dengan 418 RPM. Simulasi *FEA* menunjukkan bahwa desain poros mampu menahan beban operasional dengan aman. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan desain turbin *Archimedes* yang optimal untuk mendukung pemanfaatan EBT di Indonesia.

Kata kunci: Mikrohidro, Sekrup Archimedes, Analisis Elemen Hingga.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) di berbagai sektor. Beberapa sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan antara lain bioetanol sebagai pengganti bensin, biodiesel sebagai pengganti solar, energi panas bumi (*geothermal*), mikrohidro, tenaga surya, tenaga angin, serta energi yang berasal dari limbah atau sampah. Berbagai sumber energi ini telah diuji coba penerapannya dalam skala kecil di dalam negeri [1].

Listrik merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari masyarakat. Pemanfaatannya sangat luas, mencakup sektor industri, perangkat elektronik rumah tangga, hingga transportasi. Saat ini, kebutuhan

energi listrik di Indonesia sebagian besar masih bergantung pada sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Namun, dengan meningkatnya konsumsi energi dan terbatasnya cadangan energi fosil, Indonesia diprediksi akan menjadi negara pengimpor minyak jika tidak segera mengambil langkah-langkah strategis, seperti pemanfaatan energi terbarukan dan peningkatan efisiensi energi [2].

Salah satu solusi potensial untuk mengatasi krisis energi adalah melalui pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), khususnya di daerah yang memiliki aliran air dengan debit rendah namun stabil. Dalam sistem PLTMH, turbin merupakan komponen yang sangat krusial. Salah satu jenis turbin yang efisien untuk *head* rendah adalah turbin *Archimedes screw*, atau yang dikenal sebagai turbin ulir [3]. Turbin ini pertama kali digunakan pada zaman kuno sebagai alat pemompa air, dan kini mulai diadaptasi kembali sebagai turbin pembangkit listrik. Prinsip kerjanya melibatkan sudu berbentuk heliks yang dipasang pada poros, berfungsi sebagai *bucket* untuk menangkap air dan menghasilkan gaya putar [2].

Penelitian sebelumnya menggunakan turbin *screw* dengan panjang poros 100 cm. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain turbin *Archimedes* dengan variasi panjang poros yang lebih besar, yaitu 110 cm, 120 cm, dan 130 cm. Penambahan panjang poros ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan putar (RPM) dan efisiensi konversi energi [4]. Dalam pengujian, digunakan tekanan air konstan sebesar 101.325 Pa untuk menjaga stabilitas aliran dalam saluran turbin, sehingga turbin dapat berputar lebih lama dan lebih efisien. Perancangan poros ini dilakukan menggunakan aplikasi *Finite Element Analysis (FEA)* untuk mengevaluasi kekuatan dan kestabilan desain poros terhadap beban kerja.

METODOLOGI

Merakit Desain Pemodelan PLTMH

Dalam perakitan model Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), terdapat beberapa komponen utama yang digunakan untuk mendukung sistem pembangkitan listrik. Komponen-komponen tersebut meliputi turbin *Archimedes screw*, rumah turbin, kerangka PLTMH, bantalan (*pillow block*), puli (*pulley*), kotak kontrol, generator, serta pompa yang berfungsi sebagai pengendali aliran air dalam kondisi tertentu.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga variasi turbin *Archimedes screw* yang berbeda, dengan tujuan membandingkan kinerja masing-masing turbin serta menentukan desain paling optimal dalam menghasilkan daya listrik. Uji coba dilakukan di lingkungan aliran sungai, dengan memanfaatkan energi kinetik air untuk memutar turbin. Energi mekanik dari putaran turbin kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator.

Daya listrik yang dihasilkan dari sistem ini digunakan untuk menyalakan lampu LED bertegangan 12 Volt, yang berfungsi sebagai beban uji. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi, yaitu dengan beban dan tanpa beban, untuk melihat pengaruh beban terhadap performa turbin. Pada kondisi dengan beban (lampu LED 12V terhubung), putaran turbin mengalami sedikit penurunan. Hal ini disebabkan oleh adanya resistansi tambahan dari beban listrik yang memengaruhi torsi dan kecepatan putar turbin. Namun demikian, kondisi ini menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan daya yang dapat dimanfaatkan secara nyata.

Sementara itu, pada kondisi tanpa beban, turbin berputar lebih stabil dan cepat karena tidak ada hambatan dari perangkat listrik yang terhubung. Akibatnya, tegangan keluaran relatif konstan dan tidak mengalami penurunan, meskipun daya tidak dimanfaatkan secara langsung. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem PLTMH dengan turbin *Archimedes screw* mampu menghasilkan arus dan tegangan yang dapat digunakan untuk kebutuhan penerangan skala kecil. Variasi desain turbin memberikan dampak yang berbeda terhadap efisiensi dan kestabilan putaran, sehingga pemilihan dimensi dan konfigurasi turbin menjadi faktor penting dalam perancangan sistem pembangkit.



Gambar 1. Pemodelan PLTMH [5]

Melakukan Pengujian Pemodelan PLTMH

Pengujian model Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) diawali dengan proses pengaliran air, yang dimulai dari pengambilan air menggunakan pompa yang terpasang di dalam kotak penampung. Air dipompa menuju pipa saluran, kemudian dialirkan ke bagian atas sudu (*blade*) turbin *Archimedes screw*. Air yang keluar dari ujung atas pipa diarahkan ke ruang di antara kisaran sudu turbin. Sebagian air kemudian mengalir keluar melalui ujung bawah turbin.

Perbedaan ketinggian (*head*) air menciptakan gaya berat dan tekanan hidrostatik yang bekerja pada ruang di antara sudu turbin. Kombinasi antara gaya berat dan tekanan tersebut mendorong sudu turbin berputar sepanjang porosnya, menghasilkan gerakan rotasi. Putaran poros turbin selanjutnya diteruskan ke *pulley* yang terpasang di ujung atas poros. *Pulley* ini dihubungkan dengan *pulley* pada generator listrik melalui sabuk transmisi (*belt*), sehingga energi mekanik dari turbin diubah menjadi energi listrik oleh generator.

Untuk mendukung pengukuran selama proses pengujian, beberapa instrumen digunakan, antara lain voltmeter dan amperemeter yang dipasang pada output generator, berfungsi untuk mengukur besarnya tegangan (volt) dan arus listrik (ampere) yang dihasilkan. Selain itu, manometer digunakan untuk mengukur tekanan air pada saluran masuk guna memastikan tekanan aliran air sesuai dengan kebutuhan turbin. Instrumen lainnya adalah tachometer, yang digunakan untuk mengukur jumlah putaran per menit (*RPM*) baik pada poros turbin maupun poros generator, guna mengetahui efisiensi transmisi daya. Prosedur ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem konversi energi dari energi potensial air menjadi energi listrik, serta mengamati pengaruh aliran dan tekanan air terhadap kinerja turbin dan generator secara keseluruhan.

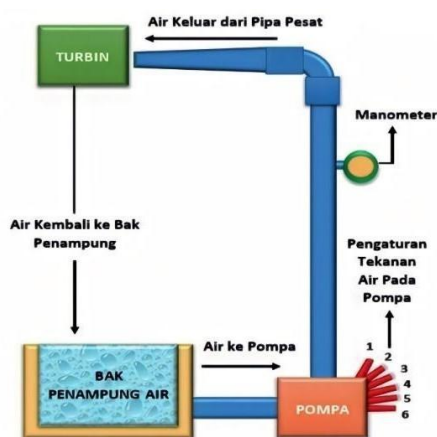
Mencatat dan Menganalisis Data

Setelah perangkat PLTMH dengan turbin *Archimedes screw* selesai dirakit, dilakukan serangkaian uji coba untuk memperoleh data kinerja sistem. Data yang dikumpulkan mencakup variabel kuantitatif seperti debit air, tekanan air, arus listrik, daya listrik, tegangan, kecepatan putaran (*RPM*), serta jumlah putaran turbin. Selanjutnya, data hasil uji coba dianalisis untuk menjelaskan hubungan antara tekanan air dan parameter kinerja sistem, seperti torsi, kecepatan putaran generator, dan kecepatan putaran turbin *Archimedes screw*. Analisis juga difokuskan pada pengaruh tekanan air terhadap parameter kelistrikan yang dihasilkan oleh sistem, termasuk arus, daya, dan tegangan listrik. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana tekanan air memengaruhi efisiensi sistem PLTMH secara keseluruhan, khususnya dalam konfigurasi yang menggunakan turbin *Archimedes screw*. Efisiensi dinilai berdasarkan perbandingan antara energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin dan energi listrik yang dihasilkan oleh generator.

Seluruh data dalam penelitian ini bersifat kuantitatif dan diperoleh secara langsung dari hasil uji coba di lapangan. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing variasi panjang poros turbin, yaitu 110 cm, 120 cm, dan 130 cm. Variasi ini dimaksudkan untuk mengevaluasi pengaruh panjang poros terhadap keakuratan dan kestabilan kecepatan putaran (*RPM*), sehingga dapat ditentukan konfigurasi yang paling optimal dalam penerapan PLTMH berbasis turbin *Archimedes screw*.

Skema Penelitian PLTMH

Air dari bak penampung dihisap oleh pompa, kemudian tekanan air diatur dan diarahkan menuju manometer untuk mengetahui besarnya tekanan yang dihasilkan. Selanjutnya, air dialirkan melalui pipa pesat ke turbin. Setelah melewati turbin, air kembali masuk ke bak penampung dan proses ini diulang secara terus-menerus. Skema proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.

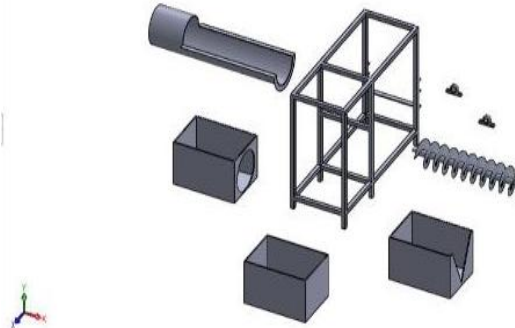


Gambar 2. Skema Penelitian PLTMH [2]

HASIL DAN PEMBAHASAN

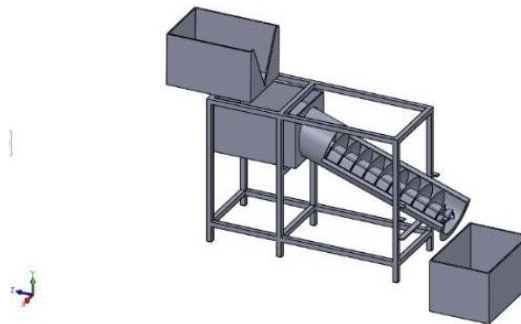
Gambar Turbin Archimedes Screw

Berikut merupakan bagian-bagian dari turbin Archimedes screw yang belum melalui proses *assembly* atau perakitan menjadi satu kesatuan sistem. Komponen-komponen tersebut terdiri dari rangka turbin, rumah turbin screw, poros turbin, screw, bak penampung air turbin, dan bagian lainnya. Rangkaian bagian-bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagian-Bagian Turbin Archimedes

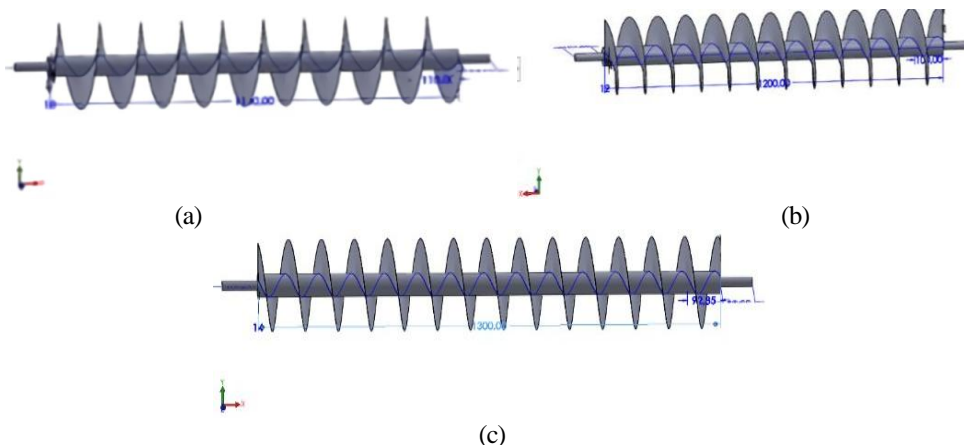
Berikut ini merupakan bagian-bagian dari turbin Archimedes screw yang telah melalui proses *assembly*, atau yang dikenal juga dengan istilah proses perakitan dan penggabungan menjadi satu kesatuan sistem. Komponen-komponen tersebut terdiri dari rangka turbin, rumah turbin screw, poros turbin, screw, bak penampung air turbin, dan bagian lainnya. Rangkaian bagian yang telah dirakit secara lengkap tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Assembly Turbin Archimedes

Gambar Panjang Screw Turbin Archimedes

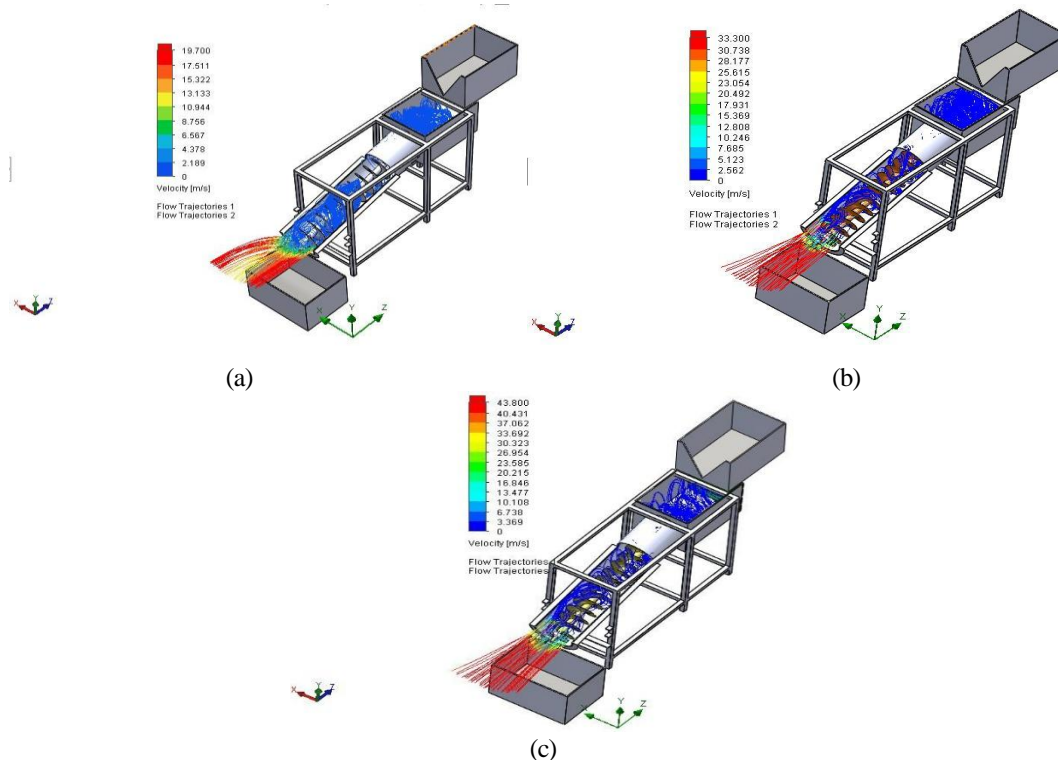
Berikut ini adalah gambar screw turbin Archimedes dengan tiga variasi panjang poros. Pada poros dengan panjang 1100 mm, turbin memiliki jarak antar *blade* sebesar 110 mm, ketebalan *screw* 1,2 mm, dan jumlah *screw* sebanyak 10. Pada poros dengan panjang 1200 mm, jarak antar *blade* adalah 100 mm, ketebalan *screw* 1,2 mm, dan jumlah *screw* sebanyak 12. Sementara itu, pada poros dengan panjang 1300 mm, jarak antar *blade* adalah 92,85 mm dengan ketebalan *screw* 1,2 mm dan jumlah *screw* sebanyak 14.



Gambar 5. Screw Turbin Panjang (a) 1100 mm (b) 1200 mm (c) 1300 mm

Hasil Simulasi *Flow* dan Rotasi Turbin *Archimedes*

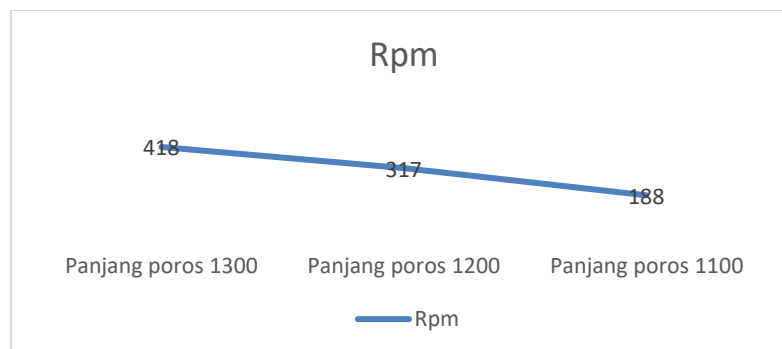
Berikut merupakan hasil simulasi aliran (*flow*) dengan tekanan air konstan sebesar 101.325 Pa. Simulasi dilakukan dengan variasi panjang poros yang berbeda, yaitu 1100 mm, 1200 mm, dan 1300 mm. Hasil simulasi rotasi turbin berdasarkan kecepatan putaran (*RPM*) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil RPM pada Panjang *Screw*: (a) 1100 mm (b) 1200 mm (c) 1300 mm

Analisis Hasil Simulasi Grafik

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Flow Simulation* dengan variasi panjang *screw* 1100 mm, 1200 mm, dan 1300 mm, diperoleh data hasil simulasi yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Data tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Hasil Grafik Simulasi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan diskusi dari pengujian simulasi turbin *Archimedes screw* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pengujian pada poros dengan panjang 1100 mm menghasilkan kecepatan aliran (*velocity*) sebesar 19,7 m/s, yang setelah dikonversi menghasilkan kecepatan putaran turbin sebesar 188 RPM.
2. Pengujian pada poros dengan panjang 1200 mm menunjukkan peningkatan performa, dengan kecepatan aliran mencapai 33,3 m/s yang menghasilkan kecepatan putaran turbin sebesar 317 RPM.

3. Pengujian pada poros dengan panjang 1300 mm menghasilkan performa tertinggi, di mana kecepatan aliran sebesar 43,8 m/s menghasilkan kecepatan putaran turbin sebesar 418 RPM. Nilai ini merupakan kecepatan tertinggi dari seluruh variasi poros yang diuji.

Hasil ini menunjukkan bahwa panjang poros turbin berpengaruh signifikan terhadap kecepatan putaran turbin. Semakin panjang poros yang digunakan, semakin besar kecepatan aliran yang terbentuk, yang kemudian berdampak langsung pada peningkatan RPM turbin. Hubungan ini menjadi aspek penting dalam merancang turbin *Archimedes screw* yang optimal untuk sistem PLTMH, guna meningkatkan efisiensi konversi energi dari air menjadi listrik.

SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dalam penelitian ini, terdapat beberapa hal yang dapat menjadi masukan untuk pengembangan lebih lanjut. Penelitian mengenai pengaruh variasi panjang poros pada turbin *Archimedes screw* sebaiknya terus dikembangkan guna memperoleh desain yang lebih efisien dan optimal. Penelitian lanjutan dapat mencakup aspek-aspek lain seperti bentuk bilah, sudut kemiringan turbin, serta variasi debit dan tekanan air untuk memperluas pemahaman terhadap kinerja sistem secara menyeluruh. Selain itu, disarankan untuk melakukan uji coba dengan menambahkan variasi panjang poros yang lebih beragam agar tren performa dapat dianalisis secara lebih mendalam. Pengujian dengan durasi yang lebih panjang juga penting dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan performa turbin dalam jangka waktu tertentu serta mengidentifikasi potensi keausan atau penurunan performa akibat penggunaan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Lubis, "Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan," *J. Teknol. Lingkung. BPPT*, vol. 8, no. 2, 2007, doi: 10.29122/jtl.v8i2.420.
- [2] I. G. W. Putra, A. I. Weking, and L. Jasa, "Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, pp. 385–392, Dec. 2018, doi: <https://doi.org/10.24843/MITE.2018.v17i03.P13>.
- [3] B. Atifoqkymin, "Tinjauan Literatur: Kinerja Turbin Screw Archimedes Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTPH) Pada Aliran Sungai," *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 123–130, 2023, doi: 10.31602/al-jazari.v9i2.15853.
- [4] Rahmawaty, Suherman, S. Dharma, and A. Sai'in, "Kajian Eksperimental pada Turbin Screw Archimedes Skala Kecil," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 1, pp. 95–102, 2022, doi: 10.32497/jrm.v17i1.3065.
- [5] M. Tebai, F. Hunaini, and M. Mukhsim, "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Portable Menggunakan Metode Archimedes Screw Pada Daerah Pedalaman Papua," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 01, pp. 29–39, 2022.