

Kajian Eksperimental pada Turbin *Screw Archimedes* Skala Kecil

Rahmawaty^{1*}, Suherman² Surya Dharma³, Ali Sai'in⁴

^{1,3}Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Medan 20155, Sumatra Utara, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Medan 20238, Sumatera Utara, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Semarang 50275, Jawa Tengah, Indonesia

*E-mail: rahmawaty@polmed.ac.id

Diterima: 12 November 2021; Direvisi: 07 April 2022; Dipublikasi: 30 April 2022

Abstrak

Banyaknya aliran sungai dan saluran irigasi disebagian besar wilayah Indonesia cukup besar untuk di kembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Turbin *screw Archimedes* (AST) telah diimplementasikan untuk mengkonversi energi listrik tenaga air sejak tahun 1990-an. Banyak variabel yang mempengaruhi kinerja dari turbin *screw Archimedes* seperti *pitch ratio*, tingkat rendaman, debit air dan sudut poros turbin. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh sudut poros turbin (25-35°) terhadap putaran, arus dan tegangan yang dihasilkan turbin *screw*. Turbin *screw* berdiameter 260 mm dengan panjang poros 1200 mm dengan jarak *pitch* 200 mm. Debit aliran air digunakan sebesar 0,0065 m³/s untuk memutar generator putaran rendah. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi sudut poros turbin menghasilkan putaran, tegangan dan arus yang semakin tinggi. Sudut optimum diperoleh pada sudut turbin 35° dimana menghasilkan 2,058 Watt pada putaran 243 rpm.

Kata kunci: turbin *screw Archimedes*; sudut inklinasi

Abstract

The number of rivers and canals in most parts of Indonesia is large enough to be developed into a micro-hydro power plant. The Archimedes screw turbine (AST) has been implemented to convert hydroelectric energy since the 1990s. Many variables affect the performance of Archimedes screw turbines such as pitch ratio, immersion rate, water flow and turbine shaft angle. The purpose of this study was to determine the effect of the turbine shaft inclination angle (25-35°) on the rotation, current and voltage produced by the screw turbine. The screw turbine has a diameter of 260 mm with a shaft length of 1200 mm and a pitch distance of 200 mm. The flow rate of water is used at 0,0065 m³/s to rotate a low speed generator. The results showed that the higher the turbine shaft angle resulted in an increase in rotation, voltage and current produced. The optimum angle is obtained at a turbine angle of 35° which produces 2,058 Watts at 243 rpm.

Keywords: screw Archimedes turbine; inclination angle

1. Pendahuluan

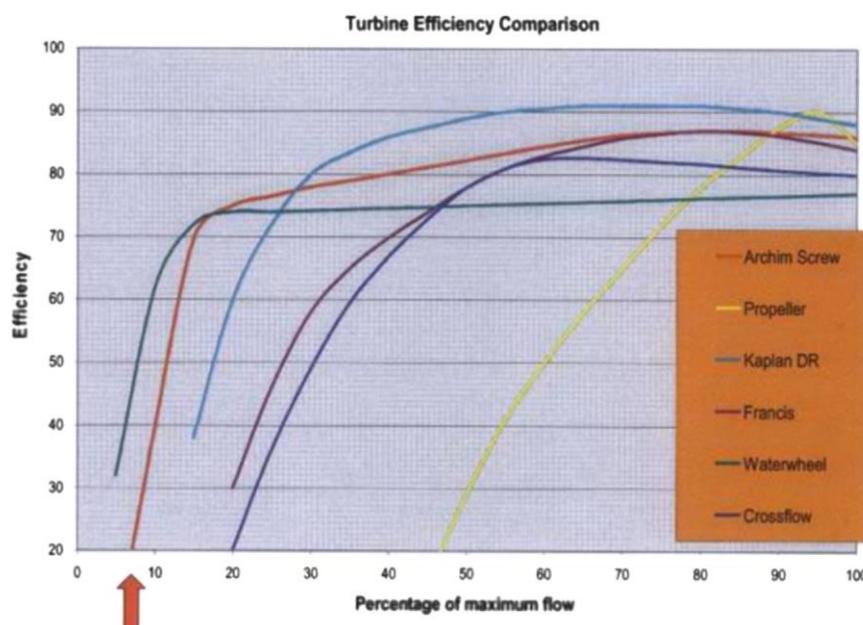
Turbin Sekrup Archimedes (*The Archimedes screw turbine*) adalah pembangkit tenaga air yang biasanya dipasang pada aliran sungai. *Archimedes Screw Turbine* (AST) telah diimplementasikan untuk mengkonversi energi listrik tenaga air sejak tahun 1990-an. Karena bentuknya yang sederhana, desain yang kuat, turbin sekrup Archimedes telah digunakan untuk memompa berbagai media termasuk padatan granular dalam pertanian dan campuran cairan dan padatan dalam pengolahan air limbah [1]. Turbin ulir Archimedes diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik tenaga air kecil (1–10 MW) atau mini (<1 MW) dan biasanya digunakan di lokasi dengan total perbedaan ketinggian 8–10 m dan untuk debit 1–10 m³/detik. Turbin ulir Archimedes sering disebut-sebut lebih “ramah ikan” daripada turbin konvensional [2].

Banyaknya aliran sungai dan saluran irigasi disebagian besar wilayah Indonesia cukup besar untuk di kembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga mikrohidro [3]. Dengan debit yang kecil dan *head* yang rendah bisa digunakan untuk membangkitkan energi listrik menggunakan turbin *screw Archimedes* di aliran sungai kecil di Kota Jambi [4]. Banyak variabel yang mempengaruhi kinerja dari turbin *screw Archimedes* seperti rasio *pitch*, tingkat rendaman, debit air dan sudut poros turbin. Sudut kemiringan poros yang menghasilkan output terbesar dari hasil penelitian adalah 60° dengan keluaran daya 38,7 W, tegangan 8,78 V, listrik arus 4,41 A, dan putaran sekrup 210 rpm [5]. Saroinsong, dkk [6] mengemukakan sudut optimum pada turbin *screw Archimedes* yaitu sebesar 30° dengan jumlah bilah sebanyak 21 buah. Daya poros *turbin screw achimedes* dipengaruhi bentuk sudu. Kemiringan sudu 45° menghasilkan daya 5,11 W walaupun putarannya 50 rpm menghasilkan efisiensi turbin menjadi 80% [7].

Selain itu, kecepatan aliran dan sudut yang berbeda mempengaruhi efisiensi dari *turbin Archimedes*. Efisiensi tertinggi pada sudut 35° dan laju aliran 1,12 l/s yaitu sebesar 81,4%. Energi maksimum diperoleh 25,13 Watt pada sudut 45° , laju alir 2,065 l/s, dengan efisiensi 72%. Peningkatan jumlah sudu meningkatkan torsi dan efisiensi turbin [8]. Efisiensi tertinggi pada turbin ulir dua sudu *open flume* adalah 15,86 %, dimana daya aktual sebesar 45,84 W dengan tegangan sebesar 156,4 V. Ini diperoleh pada *head* 5 m, debit 0,0059 m³/s dan putaran 2467 rpm [9].

Daya keluaran, efisiensi serta torsi sangat dipengaruhi oleh sudut kemiringan poros turbin. Erinofiardi.dkk [10] menyebutkan sudut kemiringan optimum diperoleh pada sudut kemiringan poros turbin 22° pada *head* 0,25 m dengan laju aliran air 1,2 l/s dimana mampu menghasilkan daya 1,4 watt. Dengan diameter ulir sebesar 142 mm, turbin ini memiliki efisiensi sebesar 49%.

Demikian pula peneliti lain melaporkan pengaruh sudut kemiringan poros turbin. Arto, dkk [9] menyatakan turbin *screw Archimedes* yang diposisikan pada sudut poros turbin 45° mampu menghasilkan daya keluaran sebesar 12 watt dengan tegangan 9,3 V dengan debit aliran air sebesar 0,1-1,1 m³/s. Lebih lanjut Juliana, dkk [11] menyebutkan sudut poros turbin yang paling optimal diperoleh pada sudut 40° yang mampu mengeluarkan daya sebesar 10,92 W pada torsi 0.60 Nm dengan efisiensi sebesar 14 %. Menurut Waters, dkk [12] turbin Archimedes memiliki efisiensi yang cukup baik bila dibanding dengan jenis turbin air lainnya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



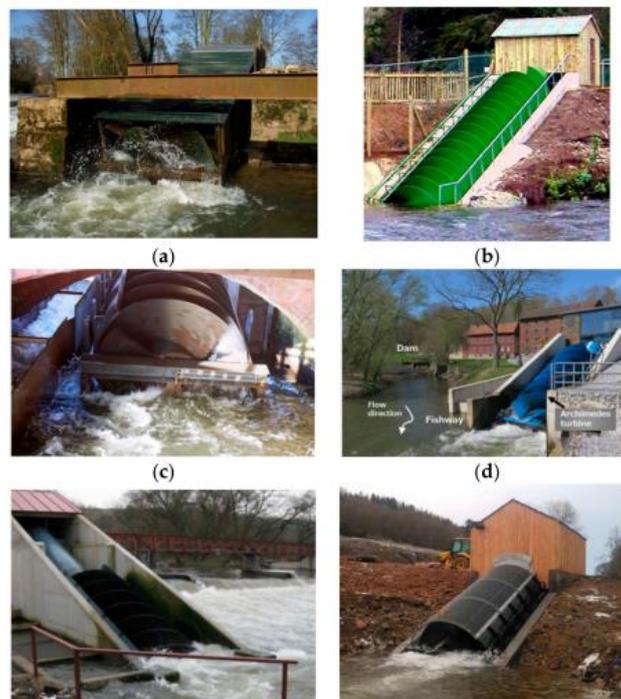
Gambar 1. Perbandingan kurva efisiensi dengan aliran yang bervariasi [12].

Sudut kemiringan 20° dengan debit aliran 105 liter/menit menghasilkan daya luaran optimum sebesar 5,558 W. Shalahuddin, dkk [13] menemukan sudut optimum diperoleh pada sudut kemiringan poros sebesar 50° yang menghasilkan daya mekanik 28,9 W dengan besar luaran torsi yaitu 0,320 Nm pada putaran 862,3 rpm. Hasil yang berbeda dengan hasil penelitian yang dikemukakan oleh Saefudin, dkk [3], dimana sudut optimum diperoleh pada sudut 35° dengan sudut ulir 26° yang menghasilkan daya turbin 531,84 W dengan efisiensi sebesar 78,75% pada debit aliran air $0,277 \text{ m}^3/\text{s}$.

Untuk mendapatkan besar sudut kemiringan turbin bisa digunakan dengan beberapa persamaan dan simulasi *software Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Dengan pendekatan persamaan helix, besar sudut kemiringan poros turbin diperoleh sebesar 32° [14]. Rendaman yang terlalu tinggi pada turbin menurunkan performa turbin, selain itu efisiensi menurun jika sudut kemiringan diperbesar. Dengan menggunakan simulasi CFD disimpulkan bahwa torsi akan naik seiring peningkatan *pitch ratio*. Sedangkan torsi mengalami penurunan dengan bertambahnya jumlah sudu [15]. Dengan simulasi CFD besarnya sudut poros pada kondisi optimum sebesar sudut 35° yang menghasilkan efisiensi tertinggi yaitu 81,4% dengan laju aliran 1,12 l/s. dimana menghasilkan energi sebesar 25,13 watt. Rahmawaty dkk [16] menyebutkan dengan simulasi CFD dengan Ansys diperoleh sudut poros optimum 35° dengan jarak *pitch* 200 mm. Selain itu peningkatan jumlah sudu meningkatkan torsi dan efisiensi turbin. Ada kesepakatan yang baik antara model eksperimental dan numeric [8].

1.1 Turbin Archimedes

Pada akhir abad ke-20 terjadi kemunculan kembali *Archimedes Screw*, dalam operasinya berubah bentuk dan terbalik fungsinya sebagai turbin. Pertama sekali dipasang di Eropa selama tahun 1994 dan kemudian diperkenalkan ke Inggris pada 2004/2005. Satu kelemahan utama, yang mencegah perkembangan teknik ini adalah kompleksitas dari *gearbox*. Namun karena teknologinya masih baru, saat ini masih kurangnya penelitian tentang topik ini [12].



Gambar 2. Penerapan turbin screw

Secara umum total daya dari turbin air dapat ditentukan dengan Persamaan (1)

$$P_w = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (1)$$

Di mana ρ adalah massa jenis air, g adalah percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$), h adalah *head* air yang tersedia sumber (m) dan Q adalah laju aliran air volumetrik (m^3/s). Daya mekanik P_s yang tersedia pada poros turbin dapat ditentukan dengan mengukur torsi T pada kecepatan sudut yang sesuai ω . Torsi ditemukan dengan mengukur gaya tangensial F pada rem kuda dengan momen radius r dari puli, pada Persamaan (2).

$$T = F \cdot r \quad (2)$$

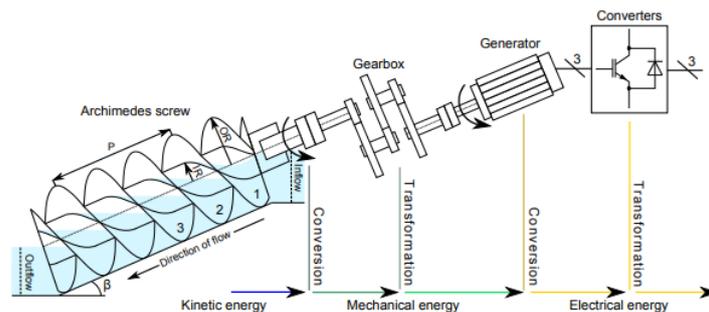
Efisiensi mekanis turbin menunjukkan seberapa efektif energi kinetik yang tersedia dari air diubah menjadi gerakan turbin pada Persamaan (3).

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

Efisiensi pada turbin dapat dihitung dengan Persamaan (4).

$$n_m = \frac{P_s}{P_w} \quad (4)$$

Adapun prinsip prinsip kerja dari turbin sekrup Archimedes seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



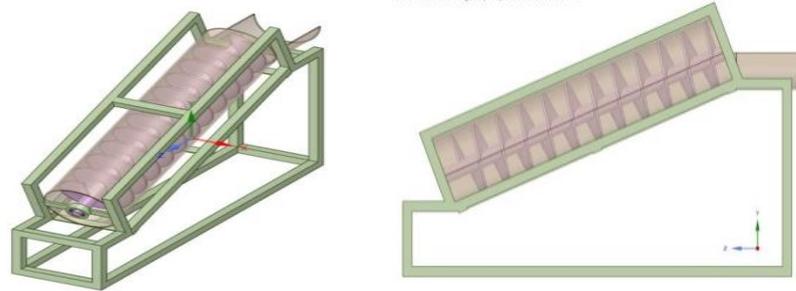
Gambar 3. Prinsip umum pembangkit turbin sekrup Archimedes [17]

Pada penelitian ini sudut kemiringan poros di variasikan untuk memperoleh kinerja turbin sekrup Archimedes (putaran, tenaga dan arus) yang paling optimum dengan debit aliran air sebesar $0.0065 \text{ m}^3/\text{s}$. Pada penelitian ini juga dipelajari pengaruh pembebanan terhadap putaran dan kuat arus dihasilkan turbin.

2. Metode Penelitian

2.1. Tahapan pembuatan Turbin

Langkah pertama yang dilakukan adalah mendesain turbin *screw* dilakukan dengan menggunakan *software SOLIDWORKS*. Adapun hasil desain turbin seperti disajikan pada Gambar 4. Rangka turbin terbuat dari *mild steel hollow* dengan ukuran $20 \times 20 \text{ mm}$ disambung menggunakan proses pengelasan SMAW dengan menggunakan kawat las E6013 (Gambar 5). Dimensi rangka turbin sebagaimana dijelaskan pada Tabel 1.



Gambar 4. Konstruksi turbin *screw Archimedes*

Rangka turbin dibuat untuk mendukung beban yang diterima dari debit air yang mengalir diantara bilah turbin yang mengalir jatuh kebawah. Rumah (*casing*) turbin berbentuk melengkung setengah lingkaran terbuat dari plat baja yang di-*roll* dingin dirangkai menutupi bagian bawah turbin untuk menampung air yang dialirkan melalui menara air sehingga air terkonsentrasi memutar bilah turbin.

Selanjutnya bilah turbin sebanyak 12 buah (Gambar 5) dipasangkan pada poros dengan menggunakan pengelasan metode GMAW. Bilah turbin ini terbuat dari plat baja dengan ketebalan 2 mm yang dipotong berbentuk lingkaran dan selanjutnya dipotong bagi salah satu sisi dan dirangkai antara satu dengan lainnya. Bilah turbin dan poros yang telah dirangkai selanjutnya ditempatkan pada rumah turbin berbahan *mild steel* dengan ketebalan 1 mm agar air yang melewati bilah turbin tidak terlempar keluar dan mengarahkan air mengalir bagian kebawah. Poros turbin didukung langsung oleh bantalan *pillow block* di bagian atas dan bawah rumah turbin. Poros turbin berbahan dari *mild steels* berbentuk silinder berdiameter 2,54 mm yang dipasangkan pada kedua ujungnya tumpuannya menggunakan bantalan *pillow*.



Gambar 5. *Screw* turbin

Puli menghubungkan antara generator dengan poros turbin. Sabuk V tipe M dengan panjang keliling 28 mm dipasangkan dibagian ujung bagian atas poros turbin untuk meneruskan daya dan putaran yang dihasilkan bilah turbin dan merubah putarannya menyesuaikan putaran generator. Generator ditempatkan pada bagian ujung dari poros turbin yang dalam kondisi kerjanya tidak terkena percikan air. Generator yang dipasangkan memiliki putaran rendah yang menghasilkan arus sehingga mampu menyalakan lampu.

Air dialirkan ke bagian atas turbin *screw* sehingga memutar turbin kemudian air jatuh mengalir ke bawah *screw* turbin. Tekanan hidrostatik dari air pada permukaan sekrup menyebabkannya berputar (Gambar 5). Putaran poros turbin *screw* diukur jumlah putarannya per meter dengan menggunakan tachometer. Pengukuran dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan data yang akurat. Pembebanan diberikan dengan menggunakan lampu sebagai beban, dimana poros turbin dihubungkan dengan generator yang menghasilkan listrik. Daya generator adalah

pengujian untuk menentukan daya keluaran listrik pada generator. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan dari generator.

Daya mekanik turbin merupakan hasil dari kemampuan turbin untuk menghasilkan energi. Energi pada aliran air akan memutar turbin, sehingga mampu menghasilkan torsi dan memiliki kecepatan putar. Maka dari itu pada pengujian daya mekanik ini dilakukan dengan mencari nilai dari kecepatan putar dari turbin serta torsi dari turbin. Pada penelitian ini turbin *screw* terdiri dari poros silinder di mana satu bilah heliks ($N = 1$) dibungkus *ortogonal* ke poros dengan 12 putaran. Bagian-bagiannya disatukan menggunakan lem dan ditutup dengan *casing* silinder.

Tabel 1. Parameter pada turbin *screw*

Parameter	Variabel	Value
Slope	B	25°, 28°, 30°, 35°
Diameter luar	D_o	260 mm
Diameter dalam	D_i	38 mm
Pitch	P	200 mm
Jumlah screw	N	1
Jarak lebar	Gw	5 mm
Panjang screw	L	1200 mm
Laju aliran	Q	0.0065 m ³ /s
Diameter casing	Dt	290 mm

2.2. Parameter Pengukuran dan Pengamatan

Adapun beberapa parameter yang diukur dalam penelitian ini seperti laju aliran air diamati menggunakan flow meter. Putaran pada poros turbin *screw Archimedes* diukur dengan menggunakan tachometer dan Arus yang dikeluarkan dari turbin *screw Archimedes* diukur dengan menggunakan Avometer. Adapun parameter hasil pengukuran seperti disajikan pada Tabel 2.

3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil Perancangan dan pembuatan turbin screw Archimedes sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Ada beberapa data yang diperoleh dari hasil pengujian dan perhitungan dari turbin *screw Archimedes* yang telah dibuat. Pada penelitian ini menggunakan 3 buah sudut poros turbin yaitu 22, 28, 30 dan 35.



Gambar 6. Prototype turbin *screw*

Parameter yang diukur adalah laju aliran, debit, torsi, daya mekanis, daya hidrolik dan efisiensi dari turbin. Adapun data hasil sebagaimana disajikan pada tabel (2). Untuk memudahkan dalam membandingkan parameter-parameter yang dihasilkan dari turbin maka disajikan dalam bentuk Tabel 2. Dari hasil pengujian menunjukkan putaran poros turbin, arus dan tegangan meningkat dengan meningkatnya sudut poros. Besar sudut kemiringan poros berpengaruh terhadap banyaknya volume air pada ruang di antara dua sudu (*bucket*). Semakin besar sudut poros turbin akan meningkatkan tegangan, arus dan *power* yang dihasilkan. Sudut poros optimum diperoleh sebesar 35°, hal ini sesuai hasil penelitian Yulistiano dkk [18]. Hasil yang sama diperoleh Sulieman dkk [8], sudut optimum dalam menghasilkan efisiensi dan daya tertinggi pada sudut 35°. Harja dkk, [14] juga menyebutkan sudut turbin optimum diperoleh hampir mendekati hasil yang diperoleh yaitu sebesar 32°. Banyaknya air pada *bucket* akan semakin berkurang karena sebagian volume air akan mengalir pada bagian atas sudu ulir dan tidak menghasilkan gaya pada poros.

Tabel 2. Hasil pengujian eksperimental turbin *screw* Archimedes

No	Inklinasi (°)	Q (m ³ /s)	tanpa beban			dengan beban			Power (W)
			put (rpm)	Arus (V)	Teg (A)	n (rpm)	Arus (V)	Teg (A)	
1	35	0,0065	243	10,4	0	243	9,89	0,21	2,058
2	30	0,0065	236	10	0	222	9,05	0,127	1,143
3	28	0,0065	228	9,4	0	213	8,99	0,08	0,82
4	25	0,0065	221	9,01	0	208	8,41	0,051	0,451

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu turbin *screw Archimedes* skala kecil dengan panjang poros *screw* 1200 mm dan diameter bilah 260 mm dengan debit sebesar 0,0065 m³/s diperoleh arus sebesar 10,4 V pada putaran poros turbin 243 rpm. Dari hasil pengujian diperoleh sudut kemiringan optimum 35° dengan jarak *pitch screw* 200 mm diperoleh daya sebesar 2,05 W. Sudut turbin poros yang diperoleh sebagian besar hampir mirip dengan hasil penelitian peneliti lain. Semakin besar sudut poros turbin akan meningkatkan putaran, arus dan tegangan yang dihasilkan pada turbin *screw* Archimedes.

Ucapan Terimakasih

Para penulis dengan penuh rasa syukur menyampaikan penghargaan dan mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial yang diberikan melalui dana DIPA Politeknik Negeri Medan tahun 2021 dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Kegiatan Nomor: B/153/PL5/PT.01.03/2021, dan Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian Nomor: B/216A/PL5/PT.01.04/2021.

Daftar Pustaka

- [1] S. Simmons, G. Dellinger, M. Lyons, A. Terfous, A. Ghenaïm, and W. D. Lubitz, "Effect of varying inclination angle on archimedes screw generator power production with constant head," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 147, no. 3, p. 04021001, 2019, doi: 10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001854.
- [2] I. S. Pauwels *et al.*, "Multi-species assessment of injury, mortality, and physical conditions during downstream passage through a large archimedes hydrodynamic screw (Albert canal, Belgium)," *Sustain.*, vol. 12, no. 20, pp. 1–25, 2020, doi: 10.3390/su12208722.
- [3] E. Saefudin, T. Kristiyadi, 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.

- [4] F. E. Yandra and S. U. Djufri, "Studi Awal Pemanfaatan Turbin Screw pada Aliran Sungai Kecil di Kota Jambi," *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 2, no. 2, p. 29, 2020, doi: 10.33087/jepca.v2i2.28.
- [5] K. Muzaka, D. Ridlo, P. Mohammad, A. Wahid, S. Hadi, and J. D. Prasetyo, "Effect of Archimedes Screw Turbine Shaft Inclination on Output Power," *Int. J. Softw. Hardw. Res. Eng.*, vol. 9, no. 3, 2021, doi: 10.26821/ijshre.9.3.2021.9314.
- [6] A. N. M. Tineke Saroinsong, Adelbert Thomas, "Pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap," in *Prosiding sentrinov 2017*, 2017, vol. 3, pp. 209–220.
- [7] A. D. Nugroho, "Kajian Teoritik Pengaruh Geometri Dan Sudut Kemiringan Terhadap Kinerja Turbin Archimedes Screw," *Conf. Senat. STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 3, 2017, doi: 10.28989/senatik.v3i0.130.
- [8] O. Suliaman, W. H. Khalil, and A. H. Kamel, "Numerical and Experimental Modeling of Small Hydropower Turbine," *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 15, no. 20, pp. 2244–2250, 2020.
- [9] M. M. J.T.B.Arto, F. Hunaini, "Rancang bangun pembangkit listrik tenaga biogas," in *Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH 2020)*, 2020, no. Ciastech, pp. 395–402.
- [10] Erinofiardi *et al.*, "Experimental Study of Screw Turbine Performance based on Different Angle of Inclination," *Energy Procedia*, vol. 110, no. December 2016, pp. 8–13, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.094.
- [11] I. P. Juliana, A. I. Weking, and L. Jasa, "Pengaruh Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir Terhadap Daya Putar Turbin Ulir Dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, p. 393, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i03.p14.
- [12] S. Waters and G. A. Aggidis, "Over 2000 years in review: Revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 497–505, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.06.028.
- [13] N. A. Shalahuddin, D. A. Himawanto, and P. J. Widodo, "Pengaruh kemiringan poros sudu terhadap unjuk kerja turbin ulir archimedes pikohidro," vol. 15, no. 2, pp. 1–4, 2020.
- [14] H. B. Harja, H. Abdurrahim, S. Yoewono, and H. Riyanto, "Turbin Pada Turbin Ulir Archimedes," *Issn*, vol. 36, no. 1, p. 2, 2014.
- [15] A. D. A. H. Nurdin, "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.
- [16] I. Ilmi, Rahmawaty, S.Dharma, Suherman, "9 th Applied Business and Engineering Conference 9 th Applied Business and Engineering Conference," 2021, pp. 1–11.
- [17] J. Rohmer, D. Knittel, G. Sturtzer, D. Flieller, and J. Renaud, "Modeling and experimental results of an Archimedes screw turbine," *Renew. Energy*, vol. 94, pp. 136–146, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2016.03.044.
- [18] B. Yulistiyanto, H. Yul, and Lisdiyanti, "Pengaruh Debit Aliran dan Kemiringan Poros Turbin Ulir Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-hidro," *Din. Tek. SIPIL*, vol. 12, no. 1, pp. 1–5, 2012.