



---

## Simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* Pada Turbin *Screw Archimedes* Skala Kecil

Rahmawaty<sup>1</sup>, Surya Dharma<sup>2</sup>, Suherman<sup>3</sup>, Ilmi<sup>4</sup>,

<sup>1,2</sup>Prodi Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan

<sup>3</sup>Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

<sup>4</sup>Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara

E-mail: rahmawaty@polmed.ac.id

### Abstract

The Archimedes screw turbine can be a popular device for generating electricity from hydraulic power in very low or almost headless sites. Currently, many researchers are interested in the development of AST because it is considered a new technology. In this article, US performance numerically uses Computational Fluid Dynamics (CFD) to assess different rotational speeds, volume velocities, and tilt angles. The purpose of this study is to analyze the effect of the turbine shaft angle by simulating Computational Fluid Dynamic (CFD) data using the Ansys Academic Student 2021 R1 software. The numerical model was validated using experimental data, showing that results calculated using 2 million mesh cells yielded a relative error of 0.69% for a volume flow rate of 0.003 m<sup>3</sup>/s, and slope angles (22 and 35°). Simulation is used to assess how the mechanical torque and efficiency with volume flow rate and tilt angle. Based on the results, CFD is a reliable tool for studying AST behavior, predicting its performance, and visualizing pressure and velocity fields. The simulation results show that the optimum efficiency at a turbine angle of 35° at a pitch distance of 200 mm is 50%.

**Keyword:** Archimedes screw turbine, shaft angle

### Abstrak

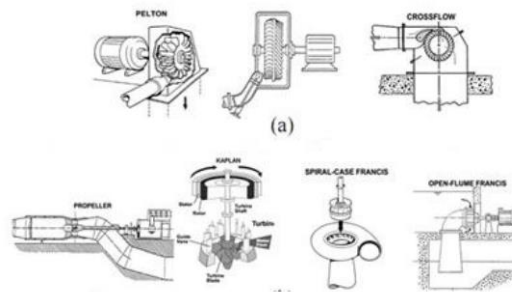
Turbin Sekrup Archimedes (*The Archimedes screw turbine*) dapat menjadi perangkat yang populer untuk menghasilkan listrik dari tenaga hidrolik di tempat dengan *head* yang sangat rendah atau hampir tanpa head. Saat ini, banyak peneliti tertarik pada pengembangan AST karena dianggap sebagai teknologi baru. Pada artikel ini, kinerja AST diselidiki secara numerik menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)* untuk menilai kecepatan rotasi sekrup yang berbeda, laju aliran volume, dan sudut kemiringan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh sudut poros turbin dengan data simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* menggunakan *software Ansys Academic Student 2021 R1*. Model numerik divalidasi menggunakan data eksperimen, menunjukkan bahwa hasil yang dihitung menggunakan 2 juta sel mesh menghasilkan kesalahan relatif 0,69% untuk laju aliran volume 0,003 m<sup>3</sup>/s, dan kemiringan sudut (22 dan 35°). Simulasi digunakan untuk menilai bagaimana torsi mekanik dan efisiensi berubah dengan laju aliran volume dan sudut kemiringan. Berdasarkan hasil, CFD adalah alat yang andal untuk studi perilaku AST, memprediksi kinerjanya, dan memvisualisasikan bidang tekanan dan kecepatan. Hasil simulasi menunjukkan efisiensi optimum pada kemiringan sudut turbin 35° pada jarak pitc 200 mm adalah sebesar 50%.

**Kata Kunci:** Turbin screw Archimedes, sudut poros

## PENDAHULUAN

Meningkatnya emisi CO dan CO<sub>2</sub> akibat bahan bakar fosil telah menyebabkan banyak masalah seperti pemanasan global, penipisan ozon, dan hujan asam. Penerapan energi terbarukan dapat menurunkan masalah ini secara signifikan. Ada berbagai jenis energi terbarukan seperti tenaga surya, tenaga air, angin, panas bumi. Energi tenaga air tersedia dan dapat dengan mudah diakses untuk memasok kebutuhan energi manusia (Shahverdi *dkk.*, 2019).

Secara umum pembangkit listrik tenaga air dapat dibedakan berdasarkan tinggi elevasinya (*head*) dan laju debit air. Jenis aliran inilah yang membedakan antara jenis turbin reaksi dan turbin impuls (Nurdin, 2018). Adapun jenis turbin reaksi seperti disajikan pada gambar 1



Gambar 1. jenis-jenis pembangkit listrik tenaga air (Nurdin, 2018)

Dimasa lampau sekrup Archimedes (*Archimedes Screw*) digunakan untuk memompa air dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi atau memindahkan bahan cair atau padat secara horizontal atau pada bidang miring. Saat ini, sekrup Archimedes membalikkan prinsip penggunaan pompa dan memanfaatkan dengan mengalirkan air yang tersedia untuk menghasilkan energi pada head yang sangat rendah (Rohmer *dkk.*, 2016).

Baru-baru ini, turbin *screw Archimedes* telah dikembangkan untuk beroperasi sebagai pembangkit listrik tenaga air kecil, turbin jenis ini memiliki keandalan yaitu bisa beroperasi dengan *head* rendah (kurang dari 5 m) dan biaya desain dan pengoperasian yang kecil (Suliaman *dkk.*, 2020). Hal ini tentunya sangat berpotensi untuk memanfaatkan tenaga air skala kecil untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik seperti sungai kecil dengan aliran yang kecil (Rohmer *dkk.*, 2016).

Dalam sistem pembangkit listrik tenaga air, bilah turbin menjadi hal yang terpenting karena komponen ini langsung bersinggungan dengan air. Pembagian turbin jenis *screw* diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu *tipe closed compact installation* dan jenis *steel strough*. Jenis *closed compact installation* adalah jenis turbin dimana seluruh instalasi tertutup sedangkan Turbin *screw tipe steel trough* memiliki perbedaan yaitu seluruh bagian sudu dan bilah sudunya terbuka. Gambar 2 menunjukkan kedua jenis turbin tersebut



Gambar 2. Turbin Screw (a) Tipe Steel Strough dan (b) Tipe Closed Compact Installation

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebut tadi atau meshing. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan (Logan, 2017).

Secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama yaitu *Preprocessor*, *Processor* dan *Post processor*. Pada Sub-Program Pre-processor (CAD (Membangun Geometri), Membangun Mesh, Input Data Sifat Fluida Kerja (massa jenis, viskositas, konduktivitas) dan Input Kondisi Batasan Aliran. Sedangkan Sub-Program Processor (Solver) dengan Persamaan Dasar Aliran Fluida Massa (*Kontinuitas*) terdiri dari Momentum dan Energi. Model Fisika yang dihitung adalah Turbulensi, Reaksi (Pembakaran) dan Radiasi. Pada Sub-Program Post-Processor menyajikan hasil berupa pola Aliran (vektor dan kontur kecepatan, *streamline*, *pathline*, dll.) dan Distribusi Tekanan dan Distribusi Temperatur (untuk kasus non-isotermal)

Beberapa variable seperti sudut kemiringan turbin, dan jumlah sudu, tingkat rendaman dan pitch ratio pada turbin screw Archimedes telah diteliti oleh sejumlah peneliti. Beberapa parameter tadi mempengaruhi kinerja turbin *screw archimedes*. Performa yang terbaik diperoleh pada sudut blade  $28^{\circ}$  dengan sudut kemiringan sebesar  $40^{\circ}$  yang menghasilkan daya sebesar 10,8 watt dan torsi sebesar 0,33 Nm. Efisiensi turbin yang dihasilkan dengan sudut *blade*  $28^{\circ}$  hanya sebesar 11,6% (Saputra, 2019).

Penurunan sudut kemiringan poros turbin mempengaruhi kinerja eksperimental dari turbin sekrup mikrohidro ultra-rendah. Turbin ulir dengan diameter luar 142 mm dan laju aliran air 1,2 l/s dengan *head* 0.25 m, dapat menghasilkan daya maksimum 1,4 watt dengan efisiensi 49% pada sudut kemiringan  $22^{\circ}$  (Erinofiardi dkk., 2017). Sudut kemiringan poros

turbin sangat mempengaruhi daya keluaran, torsi dan efisiensi. Dengan sudut kemiringan  $45^\circ$  pada debit aliran air  $0,1-1,1 \text{ m}^3/\text{detik}$  hanya mampu menghasilkan 12 watt dengan tegangan rata-rata 9,3 V AC (Arto dkk, 2020). Pengaruh sudut kemiringan terhadap daya yang dihasilkan dan efisiensi juga telah diteliti oleh (Abdulkadir, 2017). Hasil yang hampir mirip diperoleh Juliana dkk., (2018). Dimana sudut optimum diperoleh  $40^\circ$  yang menghasilkan daya keluaran 10,92 watt dengan torsi maksimum 0.60 Nm yang menghasilkan efisiensi sebesar 14 %.

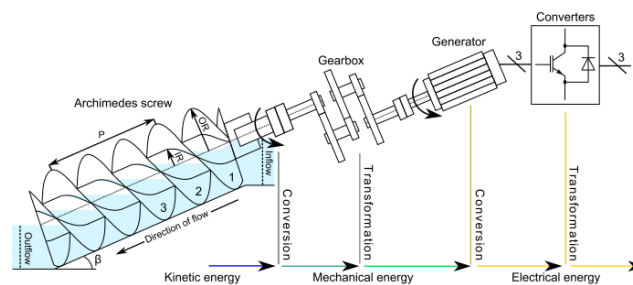


Fig. 1. General principle of an Archimedes screw plant.

Gambar 3. Prinsip umum dari turbin sekrup Archimedes (Rohmer et al., 2016).

Untuk mendapatkan besar sudut kemiringan turbin bisa digunakan dengan beberapa persamaan dan simulasi software CFD. Dengan pendekatan persamaan helix, besar sudut kemiringan poros turbin diperoleh sebesar  $32^\circ$  (Harja dkk., 2014). 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 (Nurdin, 2018). Dengan simulasi CFD besarnya sudut poros pada kondisi optimum sebesar sudut  $35^\circ$  yang menghasilkan efisiensi tertinggi yaitu 81,4% dengan laju aliran 1,12 l/ s. dimana menghasilkan energi sebesar 25,13 watt. selain itu peningkatan jumlah sudu meningkatkan torsi dan efisiensi turbin. Ada kesepakatan yang baik antara model eksperimental dan numeric (Suliaman dkk., 2020).

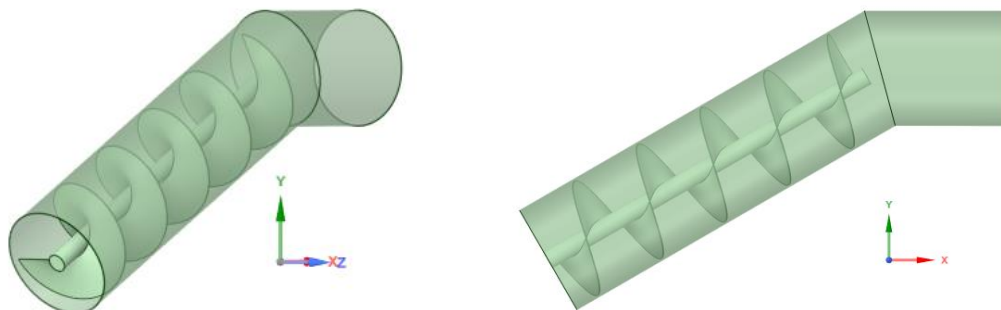
Beberapa variable seperti sudut kemiringan turbin, dan jumlah sudu, tingkat rendaman dan pitch ratio pada turbin screw Archimedes mempengaruhi daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin ini. Oleh karena itu untuk mendapatkan daya yang optimum perlu dilakukan penelitian lebih mendalam agar didapatkan disain turbin yang kompak. Pada penelitian ini sudut kemiringan poros dipelajari dengan menggunakan dengan simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan *Software Ansys Academic Student 2021 R1* untuk mengetahui kinerja turbin sekrup Archimedes untuk mendapatkan efisiensi, Torsi dan power yang dihasilkan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan *software Ansys Academic Student 2021 R1*. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan membuat *Negative/Fluid Geometry* menggunakan program *Ansys SpaceClaim*. *Geometry* yang telah dibuat di transfer ke program *Fluent (with Fluent Meshing)*, dan dilakukan mesh menggunakan *cell mesh* tipe *polyhedra*. Setelah dilakukan *meshing*, transfer hasil *geometry mesh* ke program *Ansys Fluent*, lakukan *setting physics* dan *input* parameter-parameter seperti jenis aliran yang digunakan, kondisi batas simulasi, dan rumus-rumus persamaan yang akan digunakan untuk mendapatkan daya dan efisiensi. Setelah kalkulasi selesai, ekspor hasil simulasi dalam bentuk file *Ansys simulation report*. Tabel 2.1 memperlihatkan data dan variasi yang digunakan untuk mendapatkan kondisi optimum dengan simulasi CFD.

Tabel 1. *Archimedes Screw Turbine* Parameter

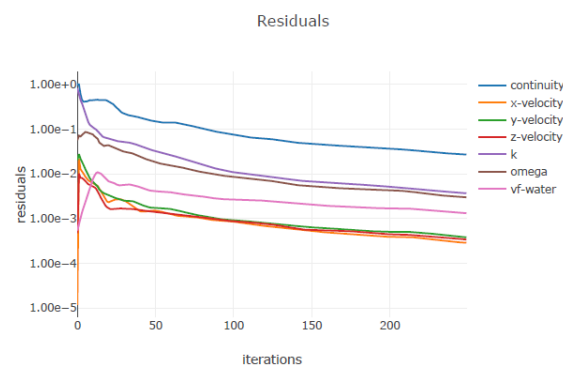
Parameter	Variable	Value
Slope	B	22°, 35°
Turbine Diameter	Do	300 mm
Shaft diameter	Di	50.8 mm
Pitch	P	100 mm, 200 mm, 300 mm
Screw Length	L	1000 mm
Flow Rate	Q	3.33 l/s
Casing Diameter	Dc	314 mm
Gap Width	Gw	5 mm



Gambar 4. *Geometry Archimedes Screw Turbine*

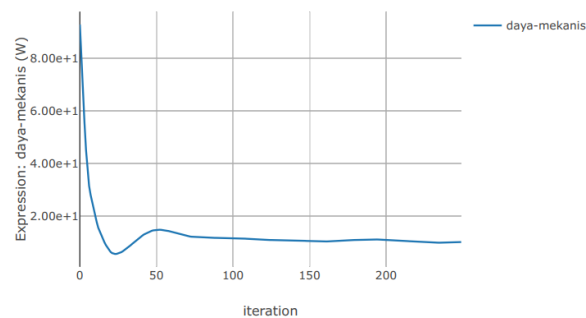
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang dilakukan berdasarkan variasi parameter ditujukan untuk melihat perbandingan geometri mana yang memiliki efektivitas terbaik, dimana kondisi simulasi adalah *Steady State* menggunakan model *Multiphase VoF (Volume of Fluid)* Air dan Udara, dimana *Surface Tension Coefficient* 0.072 N/m. Model *Viscous SST K-Omega*. Nilai *Solution Control* dipertahankan tetap standart. *Setting Residual* dipertahankan tetap standar 0.001. Menggunakan *Standart Initialization* dengan komputasi dimulai dari sisi *Inlet* dan dilakukan dengan total 250 iterasi dimana pada iterasi tersebut didapatkan hasil yang stabil.

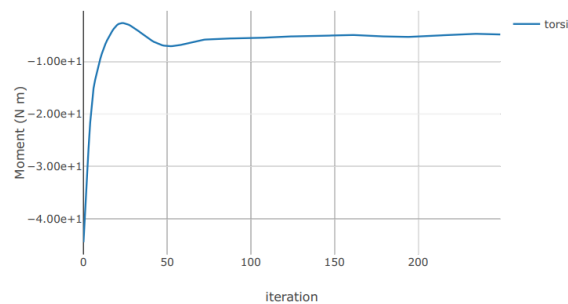


Gambar 5. Plot Residual Turbine Sudut 35° Pitch 200 mm

Plot Daya Mekanis (W) dan Plot Torsi (Nm) ditunjukkan pada grafik dibawah, dimana pada iterasi ke 250 grafik yang didapat cukup stabil.

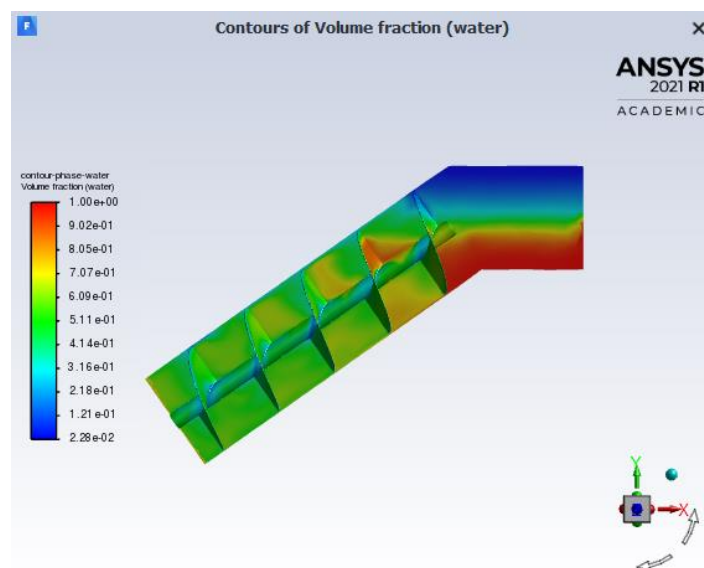


Gambar 6. Plot Daya Mekanis Sudut 35° Pitch 200 mm



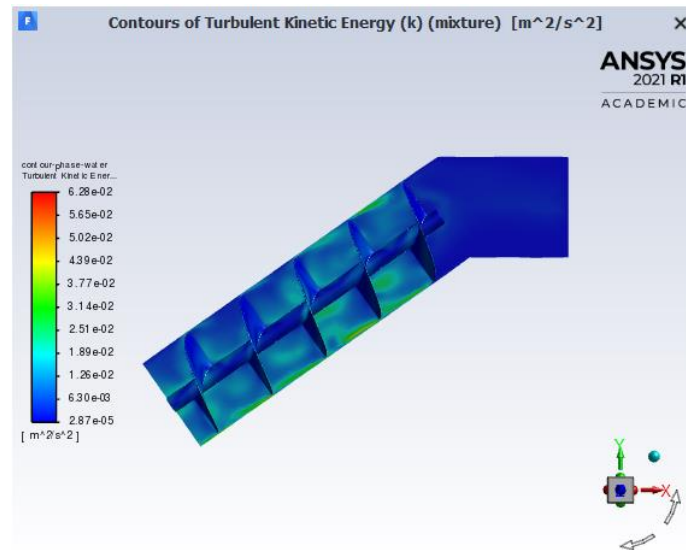
Gambar 7. Plot Torsi Sudut 35° Pitch 200 mm

Pada gambar 8. ditunjukkan kontur *Water Volume Fraction*, dimana dapat dilihat ketika kondisi operasi atau saat turbin berputar, konsentrasi fraksi volume air terbesar berada di area *inlet* lalu konsentrasi fraksi volume air berkurang di area pertengahan turbin, dan semakin berkurang ketika menuju sisi *Outlet*.



Gambar 8. *Water Volume Fraction Contour* Sudut 35° Pitch 200 mm

Pada gambar 9. ditunjukkan kontur *turbulence kinetic energy* dimana *turbulence* terbesar tercapture pada skala warna hijau ( $2.51e-02$  -  $4.39e-02$ ) dan terletak di area gap antara ujung sudu turbin dengan bagian dalam *casing*



Gambar 9. Turbulence Kinetic Energy Contour Sudut 35° Pitch 200 mm

Data hasil simulasi *Archimedes Screw Turbine* sebagaimana disajikan pada table 3.1. Sudut Slope poros turbin dan jarak pitch divariasikan untuk mendapatkan parameter optimum. Dari variasi sudut dan jarak pitch diperoleh sudut kemiringan dan jarak pitch optimum pada sudut kemiringan 35° dan jarak pitch 200 mm, sedangkan Kazem Shahverdi et al., 2021 menyebutkan sudut optimum adalah sebesar 24,9°. Efisiensi optimum diperoleh pada sudut kemiringan 35° adalah 50,18%, bila dibanding dengan apa yang dikemukakan oleh (Waters & Aggidis, 2015) yaitu sebesar 83% dan Edirisinghe et al., 2021 menyebutkan efisiensi maksimum 82%. Nilai yang diperoleh masih lebih rendah.

Tabel 2. Hasil Simulasi *Archimedes Screw Turbine*

No	Variasi Sudut 22°	Laju Aliran (kg/s)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Torsi (Nm)	Daya Mekanis (W)	Daya Hidrolik (W)	Efisiensi
1	Pitch 100 mm	3,162674	0,003168377	2,005154	4,190772	11,62259	0,3605713
2	Pitch 200 mm	3,162855	0,003168558	2,47987	5,182928	11,62325	0,4459103
3	Pitch 300 mm	3,225664	0,00323148	2,672328	5,585166	11,85407	0,4711603
No	Variasi Sudut 35°	Laju Aliran (kg/s)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Torsi (Nm)	Daya Mekanis (W)	Daya Hidrolik (W)	Efisiensi





1	Pitch 100 mm	3,16488 3	0,00317059	3,034111	6,341292	20,1566 6	0,3146004
2	Pitch 200 mm	3,16220 1	0,00316790 4	4,830313	10,09535	20,1395 8	0,5012693
3	Pitch 300 mm	3,22593 6	0,00323175 3	4,748037	9,923397	20,5455	0,4829962

### KESIMPULAN

Simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* pada Turbin Screw Archimedes skala kecil dengan panjang poros screw 1000 mm dan diameter 300 mm diperoleh Efisiensi optimum sebesar 50,12 % pada kemiringan sudut 35° dan jarak pitch 200 mm dengan daya mekanis sebesar 10,09 Watt

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, M. (2017). PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP KINERJA TURBIN ULIR. *KURVATEK*, 2(1), 65–72.
- Arto. et.al. (2020). RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MICROHYDRO PORTABLE MENGGUNAKAN ARCHIMEDES SCREW. *Conference on Innovation and Application of Science and Technology*, 6(2), 77.
- Daryl L. Logan. (2017). *A First Course in the Finite Element Method* (Sixth Edit). Cengage Learning.
- Edirisinghe, D. S., Yang, H. S., Kim, M. S., Kim, B. H., Gunawardane, S. P., & Lee, Y. H. (2021). Computational flow analysis on a real scale run-of-river archimedes screw turbine with a high incline angle. *Energies*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/en14113307>
- Erinofiardi, Nuramal, A., Bismantolo, P., Date, A., Akbarzadeh, A., Mainil, A. K., & Suryono, A. F. (2017). Experimental Study of Screw Turbine Performance based on Different Angle of Inclination. *Energy Procedia*, 110(December 2016), 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.094>
- Harja, H. B., Abdurrahim, H., Yoewono, S., & Riyanto, H. (2014). Turbin Pada Turbin Ulir Archimedes. *Issn*, 36(1), 2.
- Juliana, I. P., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Pengaruh Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir Terhadap Daya Putar Turbin Ulir Dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(3), 393. <https://doi.org/10.24843/mite.2018.v17i03.p14>



- Nurdin, dan A. D. A. H. (2018). Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin Archimedes Screw Pada Head Rendah. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 9(2), 783–796. <https://doi.org/10.24176/simet.v9i2.2340>
- Rohmer, J., Knittel, D., Sturtzer, G., Flieller, D., & Renaud, J. (2016). Modeling and experimental results of an Archimedes screw turbine. *Renewable Energy*, 94, 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.044>
- Saputra. (2019). Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Ulir Pada Turbin Ulir (Archimedean Screw) Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Head Rendah. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 18(1), 83–90.
- Shahverdi, K., Loni, R., Ghobadian, B., Monem, M. J., Gohari, S., Marofi, S., & Najafi, G. (2019). Energy harvesting using solar ORC system and Archimedes Screw Turbine (AST) combination with different refrigerant working fluids. *Energy Conversion and Management*, 187(January), 205–220. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.057>
- Shahverdi, Kazem, Loni, R., Maestre, J. M., & Najafi, G. (2021). CFD numerical simulation of Archimedes screw turbine with power output analysis. *Ocean Engineering*, 231(May), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108718>
- Suliaman, O., Khalil, W. H., & Kamel, A. H. (2020). Numerical and Experimental Modeling of Small Hydropower Turbine. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(20), 2244–2250.
- Waters, S., & Aggidis, G. A. (2015). Over 2000 years in review: Revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 497–505. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.028>