

STUDI EKSPERIMEN PERFORMA *HELICAL DARRIEUS* TURBIN *FARMING*

Lohdy Diana¹, Prima Dewi Permatasari², Joke Pratilastiarso³, Arrad Ghani Safitra⁴

¹²³⁴Program Studi Sarjana Terapan Sistem Pembangkit Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Email: lohdydiana@pens.ac.id

ABSTRACT

Agricultural turbines can be applied to irrigated agricultural channels, maximizing the potential of underwater water flow. It has the potential and realization, considering the amount of agricultural land in Indonesia is considerably large. The purpose of this study was to determine the performance of these turbines. This study used the Helical Darrieus Turbine Farm's design of the airflow channel and the production of the turbines. Three sea-current turbines with helical Darrieus type were placed in the water flume. The approached condition and geometry of the water flume followed the actual conditions of the agricultural irrigation canal: the air velocity of 0.4 m/s. The research was conducted experimentally in the laboratory. The results showed that at the largest rotational speed of 22 rpm, the torque was 0.035 Nm. The relationship between the tip speed ratio and torque coefficient showed an increasing trend. The highest value of the coefficient of the test results was 0.065. At the maximum TSR, the value of C_p was also maximum. The maximum performance coefficient on the turbine was 0.051. Based on these results, the turbine design requires modification by extending the distance between the turbines to produce higher performance.

Keywords: turbine, helical darrieus, tip speed ratio, water flume

ABSTRAK

Mengadopsi potensi aliran air bawah laut, *turbine farm* dapat diterapkan pada saluran irigasi pertanian. Hal tersebut memiliki potensi dan realisasi yang lebih memungkinkan mengingat jumlah area pertanian di Indonesia masih sangat luas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa turbin. Penelitian ini menggunakan rancang bangun *Helical Darrieus Turbine Farm* yaitu berupa saluran aliran air dan pembuatan beberapa turbin. Turbin arus laut dengan tipe *helical darrieus* sebanyak tiga buah diletakkan di dalam *water flume*. Kondisi dan geometri *water flume* dilakukan pendekatan sesuai dengan kondisi aktual saluran irigasi pertanian yaitu kecepatan air 0.4 m/s. Penelitian dilakukan secara eksperimen di dalam laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan pada kecepatan putar terbesar yaitu sebesar 22 rpm, didapatkan nilai torsi 0.035 Nm. Hubungan antara *tip speed ratio* dengan koefisien torsi menunjukkan tren yang meningkat. Nilai tertinggi koefisien torsi hasil pengujian adalah 0.065. Pada TSR maksimal nilai C_p juga maksimal. Koefisien performa maksimal pada turbin sebesar 0.051. Berdasarkan hasil tersebut desain turbin memerlukan modifikasi dengan memperpanjang jarak antar turbin sehingga menghasilkan performa yang lebih tinggi.

Kata kunci: turbin, helical darrieus, tip speed ratio, water flume

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana dua pertiga bagian merupakan lautan. Luasnya lautan Indonesia menyimpan banyak potensi selain kekayaan akan hasil laut, lautan juga memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik bersumber dari arus bawah laut yang merupakan salah satu sumber

energi baru dan terbarukan. Pemanfaatan dan pengembangan energi baru dan terbarukan. Saat ini sedang gencar dilakukan. Hal tersebut dikarenakan jumlah energi fosil yang terbatas dan peralatan energi fosil yang umurnya sudah lebih dari 20 tahun yang menyebabkan penurunan performa dari pembangkit tenaga fosil. Tingginya jumlah *output* yang harus dihasilkan oleh turbin menyebabkan jumlah

turbin yang bekerja tidak cukup hanya satu. Harus ada beberapa turbin yang beroperasi agar menghasilkan jumlah megawatt yang besar. Namun, semakin banyak turbin yang beroperasi mengakibatkan putaran yang tidak maksimal. Hal tersebut dapat dikarenakan olakan aliran fluida satu mempengaruhi aliran fluida disekitarnya menjadi turbulen atau acak. Apabila aliran acak tersebut mengenai turbin yang berada pada posisi lain maka turbin tidak dapat berputar secara maksimal. Maka diperlukan pengaturan jarak antar turbin. Mengadopsi potensi aliran air bawah laut, turbine farm juga dapat diterapkan pada saluran irigasi pertanian. Hal tersebut memiliki potensi dan relisasi yang lebih memungkinkan mengingat jumlah area pertanian di Indonesia masih sangat luas.

Pada penelitian ini akan melakukan rancang bangun *turbine farm* yaitu pembuatan *water flume* dan beberapa turbin. *Water flume* berupa saluran aliran air atau dikenal dengan istilah *water flume*. *Water flume* dilengkapi dengan pompa dan tangki penyimpanan air. Air yang mengalir ke dalam *water flume* akan diatur kecepatannya menggunakan flow meter dan penyebarannya dibuat merata dengan memberikan lubang-lubang pada pipa. Kondisi dan geometri *water flume* dilakukan pendekatan sesuai dengan kondisi aktual saluran irigrasi pertanian. Turbin arus laut dengan tipe helical darrieus diletakkan di dalam *water flume*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa turbin farming. Turbin yang diletakkan sebanyak tiga turbin dengan pengaturan jarak antar turbin sejauh 30 cm. Penelitian ini akan dilakukan secara eksperimen di dalam laboratorium fluida.

Turbin digunakan untuk mengkonversi daya *hidrodynamic* menjadi energi listrik. Penelitian mengenai turbin arus laut *tide inclined-blade* atau *Helical-Darrieus* dilakukan untuk mengetahui kemampuan putaran awal turbin terhadap kecepatan aliran fluida. *Blade* turbin menggunakan tipe NACA b3(4)021, diameter turbin 0,50 m, dengan *chord length* 0,07m. Hasil penelitian menunjukkan turbin

dapat berputar 0,3 m/s dengan kecepatan rotasi 2,25 rpm untuk kondisi kecepatan pada *towing tank* 0 sampai 0,4 m/s (Satrio, 2021).

Pengujian eksperimen *hydro farm* dilakukan dengan menggunakan turbin tipe *Darrieus* sebanyak empat turbin dengan susunan ditunjukkan seperti pada Gambar 2.2. Penelitian dilakukan untuk mengetahui performa turbin berupa C_p dan TSR. Variasi jarak turbin yang digunakan adalah $Y/D = 4,86$, $Y/D = 4,04$, $Y/D = 3,21$, $Y/D = 2,39$, $Y/D = 1,57$. Hasil menunjukkan $Y/D = 4,04$ memiliki performa seimbang ketika menggunakan dua tipe susunan rotur (Patel, 2017). Investigasi turbin *Darrieus* sebagai mikrohidro juga dilakukan oleh (Tunio, 2020). Banyak proyek dan penelitian dikembangkan untuk mengetahui pengaruh ombak atau *wake* terhadap produksi daya yang dihasilkan. Tujuan penelitian-penelitian tersebut mengestimasi kecepatan turbin tidak terhadap olakan dengan diameter kecil menggunakan *depth ratio* 20%. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi CFD. Hasil penelitian tersebut disajikan dalam grafik distribusi kecepatan dan kontur kecepatan (Brutto, 2016) dan (Ramdhani et.al., 2019).

Penelitian turbin tidal dengan sumbu *vertical* tipe *Darrieus* dilakukan untuk mengetahui pengaruh *low cut in speed* terhadap performa turbin. Simulasi dilakukan pada kondisi unsteady menggunakan kode *unsteady Reynold Averaged Navier Stocks* (URANS) dengan turbulen model k-w Shear Stress Transport (SST). Performa turbin ditunjukkan menggunakan parameter *power coefficient* (C_p), *Tip Speed Ratio* (Bouhal, 2018). Penelitian secara simulasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida saat melintasi tidal turbin. Simulasi menggunakan CFD dengan tahapan validasi menggunakan parameter *Power Coefficient* (C_p) dan TSR (Yagmur, 2020) dan (Ouro, 2019).

Perhitungan matematis diperlukan untuk mengetahui performa turbin seperti yang dilakukan oleh Talukdar, et.al (2018) menggunakan beberapa perhitungan sebagai

berikut: daya turbin (P) dihitung menggunakan Persamaan (1) dimana A adalah area frontal yang diproyeksikan dari turbin yang mengalirkan antara bentang pisau dan diameter turbin (D) seperti ditunjukkan pada persamaan (2), ρ adalah massa jenis air tawar, dan v adalah kecepatan penarik.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

$$A = SD \quad (2)$$

Dalam menganalisa performa desain turbin arus sungai, dilakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan nilai *coefficient of power* turbin. Dari data pengujian yang telah diperoleh dihitung sebagai berikut:

$$F = m \cdot g \quad (3)$$

F merupakan gaya tangensial yang dibangkitkan oleh turbin.

$$T = F \cdot r \quad (4)$$

Kemudian dihitung nilai kecepatan sudutnya,

$$\omega = (6,28 \cdot \text{RPM})/60 \quad (5)$$

Maka daya yang dibangkitkan oleh turbin (P_t) adalah:

$$P_t = T \cdot \omega \quad (6)$$

Dilakukan juga perhitungan *tip speed ratio*,

$$\text{TSR} = (\omega \cdot R)/v \quad (7)$$

Coefficient of performance (C_p) turbin heliks dapat dihitung menggunakan,

$$C_p = P_t/P_{av} \quad (8)$$

ω adalah kecepatan angular (rad/s)

R adalah jari-jari turbin (m)

V adalah kecepatan air (m/s)

Coefficient of torque (CT) adalah perbandingan antara torsi aktual yang dihasilkan rotor terhadap torsi teoritis yang terserap dari air.

$$CT = T/(0,5\rho V^2 AD) \quad (9)$$

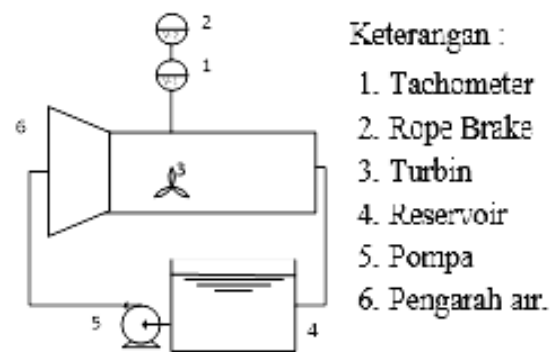
Dimana:

T adalah Torsi (Nm)

ρ adalah massa jenis air (1000 kg/m³)

METODE

Proses diagram alir alat uji turbin arus sungai ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini melakukan desain dan rancang bangun *water flume* yang merupakan tempat pengujian *turbine farming*. *Water flume* yang telah dibuat ditunjukkan seperti pada Gambar 2. Konstruksi *water flume* menggunakan plat besi sebagai *casing diffuser inlet* dan *outlet*, akrilik sebagai *casing tes section*, dan besi *hollow* sebagai kerangka. Turbin yang diletakkan sebanyak tiga turbin dengan pengaturan variasi jarak antar turbin 30 cm.



Gambar 1 Proses diagram alir alat uji turbin arus sungai

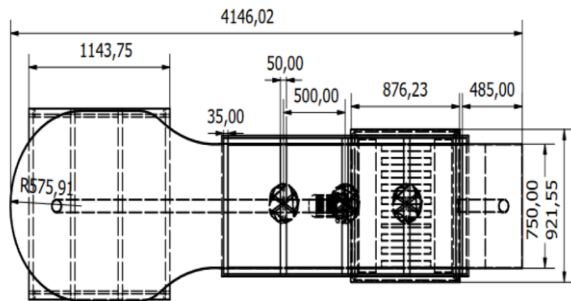
Prosedur eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Dalam proses sirkulasi sistem, pertama-tama fluida kerja (air) yang telah ditampung pada reservoir dihisap oleh pompa untuk dinaikkan ke dalam *diffuser*.
2. Air yang telah masuk ke dalam diffuser akan meluap dan mengisi bak uji. Debit aliran air yang masuk diatur menggunakan katup.
3. Kemudian air yang mengalir menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga dapat diukur torsi dan rpmnya.
4. Air yang mengalir akan terus berjalan dan keluar melalui pipa pembuangan kembali ke reservoir.
5. Peralatan pengukuran yang dipakai adalah *rope breaks torque*, *tachometer*, dan *flowmeter*.
6. Dalam mendapatkan daya mekanik dibutuhkan *rope brakes torque* untuk mengukur beban yang kemudian dapat diketahui nilai torsi dan *tachometer* untuk mengetahui nilai

kecepatan putar sehingga mampu dihitung kecepatan putarnya.

7. Data yang diperoleh dicatat kedalam tabel data.

8. Setelah melakukan pengujian mematikan dan merapikan peralatan.

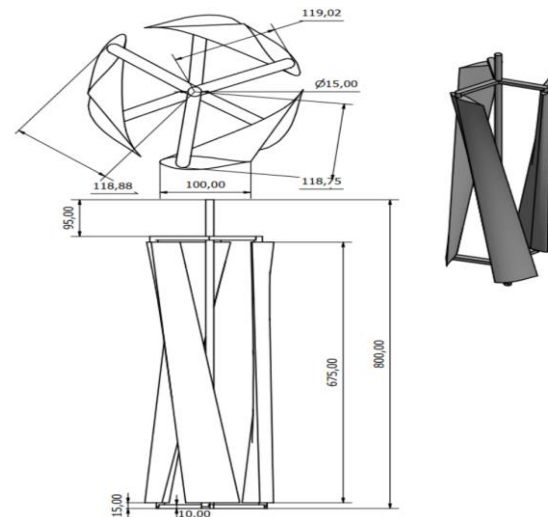


Gambar 2. Desain dan konstruksi *water flume*

Dalam proses sirkulasi sistem, pertama-tama fluida kerja (air) yang telah ditampung pada *reservoir* dihisap oleh pompa untuk dinaikkan kedalam *diffuser*. Air yang telah masuk kedalam *diffuser* akan meluap dan mengisi bak uji. Debit aliran air yang masuk diatur menggunakan *valve*. Kemudian air yang mengalir menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga dapat diukur torsi dan rpmnya. Air yang mengalir akan terus berjalan dan keluar melalui pipa pembuangan kembali ke *reservoir*.

Peralatan pengukuran yang dipakai adalah *rope breaks torque*, *tachometer*, dan *flowmeter*. Dalam mendapatkan daya mekanik dibutuhkan *rope brakes torque* untuk mengukur beban yang kemudian dapat diketahui nilai torsi dan *tachometer* untuk mengetahui nilai kecepatan putar sehingga mampu dihitung kecepatan putarnya. Konstruksi alat uji turbin arus sungai ini menggunakan plat besi sebagai

casing diffuser inlet dan outlet, akrilik sebagai *casing tes section*, dan besi *hollow* sebagai kerangka. Dengan konstruksi tersebut, alat uji yang dibuat kemudian ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

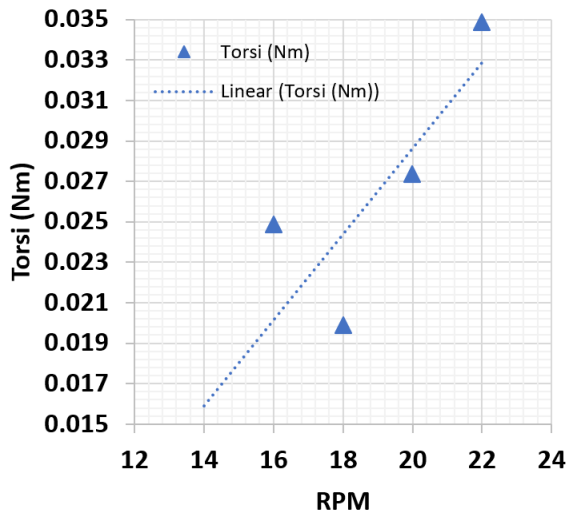


Gambar 3. Desain dan blade *helical darrieus turbine*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama pengujian, turbin diberikan beban untuk mengukur torsi hingga turbin hampir tidak berputar. Kemudian timbangan diatur pada posisi nol, sehingga terbaca massa yang tambahan dari putaran poros. Sehingga dari data tersebut didapatkan torsi dan dilakukan pengukuran putaran turbin. Gambar 4 menunjukkan grafik perubahan kecepatan putaran (rpm) terhadap beban torsi. Perubahan putaran pada turbin juga terjadi selama proses pengujian. Perubahan putaran juga bersamaan dengan adanya perubahan torsi. Dari rumus daya turbin seharusnya dari kecepatan aliran yang sama didapatkan daya yang sama sehingga semakin tinggi torsi maka putaran turbin yang ada akan semakin rendah begitu

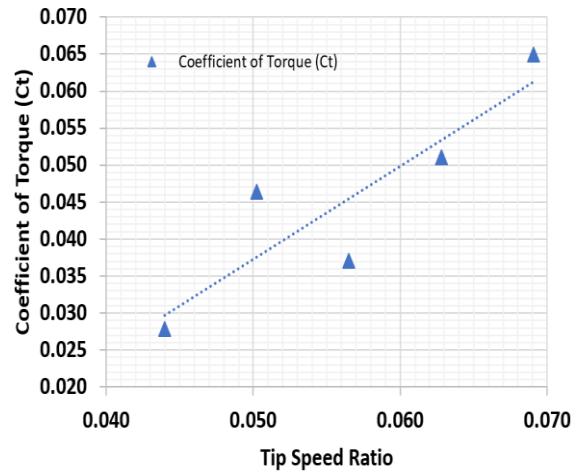
pula sebaliknya. Akan tetapi dari hasil pengujian, semakin tinggi rpm, nilai torsi juga semakin meningkat. Hal tersebut juga mengakibatkan perbandingan lurus untuk koefisien torsi terhadap TSR sedangkan pada perhitungan lain menunjukkan perbandingan terbalik seperti yang dilakukan oleh Talukdar, et.al (2018).



Gambar 4. Perubahan RPM terhadap beban torsi

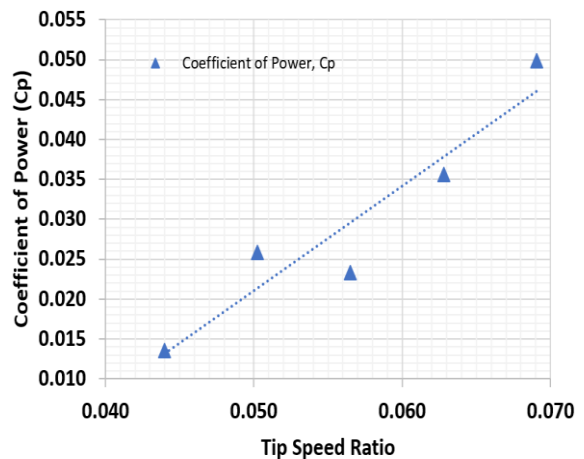
Pada rpm terbesar yaitu sebesar 22 rpm, didapatkan nilai torsi 0.035 Nm. Dalam gerak rotasi, penyebab berputarnya benda merupakan momen gaya atau torsi. Besar torsi tergantung pada gaya pada turbin yang dikeluarkan serta jarak antara sumbu putar dan letak gaya. Salah satu hal yang mempengaruhi hasil torsi adalah getaran. Pada setiap benda berputar pasti menimbulkan getaran. Salah satu getaran yang terjadi adalah *torsional vibration*. *Torsional vibration* merupakan proses dimana pada bagian pusat turbin berputar menjadi gaya tertentu yang arahnya sama dengan poros.

Penyebab terjadinya getaran adalah cara pemasangan turbin yang kurang sempurna, penyeimbang gaya yang tidak sesuai, dan aliran fluida. Pada turbin yang terjadi getaran berlebih dapat menimbulkan penurunan kecepatan rotasi turbin dan penurunan kecepatan putaran torsional, sehingga daya yang dihasilkan menurun. Pemasangan turbin yang tidak sempurna dan gaya yang tidak seimbang menyebabkan getaran.



Gambar 5 Perubahan TSR terhadap nilai koefisien torsi

Dari nilai torsi dan rpm didapatkan range TSR kerja turbin, daya yang dihasilkan, koefisiensi torsi serta koefisiensi performansi turbin pada tiap TSR. Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan hubungan antara *tip speed ratio* dengan koefisien torsi menunjukkan tren yang meningkat. Range TSR, dengan kecepatan arus sungai 0.4 m/s, adalah TSR 0.04 hingga TSR 0.069. Nilai tertinggi koefisien torsi hasil pengujian adalah 0.065.



Gambar 6. Pengaruh TSR terhadap nilai koefisien performansi turbin

Dari Gambar 6 dapat diketahui kinerja dari turbin arus sungai *savonius* heliks. Tren hubungan TSR dengan koefisien performa cenderung naik. Profile grafik tersebut sesuai dengan penelitian turbin arus laut tipe horizontal yang dilakukan oleh Ordenez-

Sanchez, et.al (2019) dan juga oleh Guo, et.al (2019). Berdasarkan Gambar 6 pada TSR maksimal nilai C_p juga maksimal. Berdasarkan Gambar 6 besar koefisien performa maksimal pada turbin sebesar 0.051. Nilai performa yang tidak maksimal dapat disebabkan karena adanya ulakan akibat aliran balik dari bagian bawah turbin dan juga kemungkinan aliran air yang menabrak sudu turbin tidak seragam dari dasar sistem uji hingga permukaan. Pada pengujian ini hasil belum maksimal beberapa hal yang perlu ditingkatkan antara lain desai *water flume* perlu diperpanjang agar aliran yang terjadi di dalam saluran benar-benar dalam kondisi *fully develop flow*.

SIMPULAN

Pada kecepatan putar terbesar yaitu sebesar 22 rpm, didapatkan nilai torsi 0.035 Nm. Hubungan antara *tip speed ratio* dengan koefisien torsi menunjukkan tren yang meningkat. Nilai tertinggi koefisien torsi hasil pengujian adalah 0.065. Pada TSR maksimal nilai C_p juga maksimal. Koefisien performa maksimal pada turbin sebesar 0.051. Berdasarkan hasil tersebut desain turbin memerlukan modifikasi dengan memperpanjang jarak antar turbin sehingga menghasilkan performa yang lebih tinggi. Perlu perbaikan desain *water flume*.

DAFTAR RUJUKAN

Bouhal, T., Rajad, O., Kousksou, T., Arid, A., El Rhafiki, T., Jamil, A., & Benbassou, A. (2018). CFD performance enhancement of a low cut-in speed current Vertical Tidal Turbine through the nested hybridization of Savonius and Darrieus. *Energy Conversion and Management*, 169, 266-278.

Brutto, O. A. L., Guillou, S. S., Thiébot, J., & Gualous, H. (2016). Tidal farm analysis using an analytical model for the flow velocity prediction in the wake of a tidal turbine with small diameter to depth ratio. *Renewable Energy*, 99, 347-359.

Guo Bin, Wang Dazheng, Zhou Xu, Shi Weichao, & Jing Fengmei. (2020). Performance Evaluation of a Tidal Current Turbine with Bidirectional Symmetrical Foils. *Water* 2020, 12, 22. doi:10.3390/w12010022

Ordonez-Sanchez Stephanie, Allmark Matthew, Porter Kate, Ellis Robert, Lloyd Catherine, Santic Ivan, O'Doherty Tim, & Johnstone Cameron. (2019). Analysis of a Horizontal-Axis Tidal Turbine Performance in the Presence of Regular and Irregular Waves Using Two Control Strategies. *Energies* 2019, 12, 367. doi:10.3390/en12030367

Ouro, P., Ramírez, L., & Harrold, M. (2019). Analysis of array spacing on tidal stream turbine farm performance using Large-Eddy Simulation. *Journal of Fluids and Structures*, 91, 102732.

Patel, V., Eldho, T. I., & Prabhu, S. V. (2017). Experimental investigations on Darrieus straight blade turbine for tidal current application and parametric optimization for hydro farm arrangement. *International Journal of Marine Energy*, 17, 110-135.

Ramdhani, M.A., Nugroho, S., & Diana, L. (2019). Performance Analysis of Helical Savonius River Current Turbine Using Computational Fluid Dynamic. International Electronics Symposium: The Role of Techno-Intelligence in Creating an Open Energy System Towards Energy Democracy, Proceedings, 2019, pp. 595–600, 8901584.

- Satrio, D., & Utama, I. K. A. P. (2021). Experimental investigation into the improvement of self-starting capability of vertical-axis tidal current turbine. *Energy Reports*, 7, 4587-4594.
- Talukdar Parag K., Kulkarni Vinayak, & Saha Ujjwal K. (2018). Field-testing of model helical-bladed hydrokinetic turbines for small-scale power generation. *Renewable Energy*, 127, 158-167. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.052>
- Tunio, I. A., Shah, M. A., Hussain, T., Harijan, K., Mirjat, N. H., & Memon, A. H. (2020). Investigation of duct augmented system effect on the overall performance of straight blade Darrieus hydrokinetic turbine. *Renewable Energy*, 153, 143-154.
- Yagmur, S., Kose, F., & Dogan, S. (2021). A study on performance and flow characteristics of single and double H-type Darrieus turbine for a hydro farm application. *Energy Conversion and Management*, 245, 114599.