



## Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Darrieus

Jorfri Boike Sinaga<sup>1</sup>, M. Dyan Susila<sup>1</sup>, M. Badaruddin<sup>1</sup>, Dame Natalia Panjaitan<sup>2</sup>, David Sinaga<sup>2</sup>, Tri Topan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

<sup>2</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

### INFO ARTIKEL

Kata kunci:  
Tenaga air, Hidrokinetik,  
Turbin Darrieus.

Keywords:  
Hydropower, Hydrokinetic,  
Darrieus Turbine.

Diterima: 12 Februari 2024  
Direvisi : 27 April 2024  
Diterbitkan secara online: 1  
Mei 2024

### ABSTRAK

Pada makalah ini diberikan kajian secara eksperimen pengaruh bentuk sudu turbin terhadap kinerja turbin hidrokinetik jenis turbin Darrieus sudu lurus. Bentuk sudu yang digunakan adalah RISO A-832, NACA 63-818, dan NREL S833. Turbin yang diuji memiliki diameter 20 cm, tinggi 20 cm, panjang chord sudu 8,3 cm, dan jumlah sudu tiga buah. Pengujian dilakukan dengan variasi debit aliran 0,064 m<sup>3</sup>/s, 0,008 m<sup>3</sup>/s, dan 0,094 m<sup>3</sup>/s. Hasil pengujian menunjukkan efisiensi maksimum 20,53% dihasilkan bentuk sudu RISO A-832, dibandingkan bentuk sudu NACA 63-818, dan bentuk sudu NREL S833 yang menghasilkan efisiensi maksimum 17,31%, dan 14,29% pada debit aliran 0,094 m<sup>3</sup>/s.

### ABSTRACT

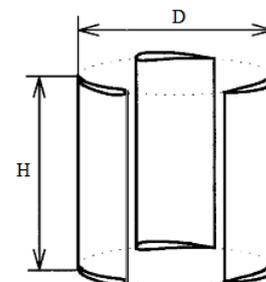
This paper presents an experimental study on the effects of blade shape on the performance of a straight-bladed hydrokinetic turbine of the Darrieus type. The blade shapes used are RISO A-832, NACA 63-818, and NREL S833. The tested turbine has a diameter of 20 cm, a height of 20 cm, a chord length of 8.3 cm, and three blades. Testing was conducted with variations in flow rates of 0.064 m<sup>3</sup>/s, 0.008 m<sup>3</sup>/s, and 0.094 m<sup>3</sup>/s. The test results show that the maximum efficiency of 20.53% achieved by the RISO A-832 blade shape is better compared to the NACA 63-818 and NREL S833 blade shapes, which yielded maximum efficiencies of 17.31% and 14.29%, respectively, at a flow rate of 0.094 m<sup>3</sup>/s.

### 1. Introduction

Produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Kebijakan Energi Nasional juga menargetkan bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050 [1]. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut, dan salah satunya adalah sumber energi hidro. Total potensi sumber energi hidro yang ada 95 GW dimana sampai tahun 2023 baru 7% yang dimanfaatkan yaitu sekitar 6,784 GW sehingga perlu untuk memanfaatkan potensi sumber energi hidro ini lebih maksimal [2].

Penggunaan energi air sebagai sumber pembangkit listrik umumnya masih membutuhkan ketinggian jatuh air yang tinggi. Namun banyak daerah-daerah atau desa-desa terpencil di Indonesia yang memiliki sumber energi air tetapi tidak memiliki ketinggian jatuh air yang tinggi dan belum dimanfaatkan secara maksimal untuk pembangkit listrik. Pemanfaatan sumber energi tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan turbin hidrokinetik, karena prinsip kerja dari turbin hidrokinetik ini dapat bekerja untuk menghasilkan energi listrik tanpa memerlukan ketinggian jatuh air. Di samping itu penggunaan turbin ini untuk pembangkit listrik dapat langsung dipasangkan di dalam aliran air atau menggunakan struktur bangunan yang sudah ada seperti saluran irigasi sehingga tidak membutuhkan biaya pembangunan bendungan yang besar sebagaimana pembangkit listrik pada umumnya [3].

Turbin hidrokinetik adalah alat yang mengubah energi kinetik air yang mengalir menjadi energi mekanik. Salah satu jenis turbin hidrokinetik adalah turbin Darrieus tipe sudu lurus. Hasil kajian literatur yang dilakukan menyimpulkan bahwa turbin Darrieus sudu lurus ini memiliki struktur yang sederhana, dan juga bila digunakan untuk memanfaatkan energi arus laut, turbin ini tidak bermasalah dengan adanya perubahan arah aliran yang terjadi. Dan untuk memanfaatkan energi aliran dengan head rendah dan kedalaman dangkal, turbin ini baik digunakan dengan penggunaan sumbu vertikal.

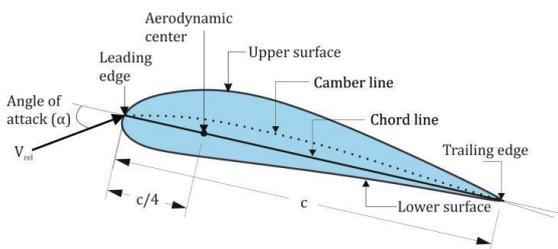


Gambar 1. Skema turbin Darrieus sudu lurus.

Bentuk penampang dari turbin hidrokinetik ini disebut dengan *hydrofoil*. Sudu turbin ini digunakan untuk menghasilkan gaya angkat agar dapat berputar dan mengekstrak daya optimal dari energi kinetik aliran air. Setiap sudu turbin hidrokinetik dirancang lebih dari satu *hydrofoil*. Efisiensi dan kinerja turbin sebagian besar tergantung pada bentuk *hydrofoil* yang digunakan.

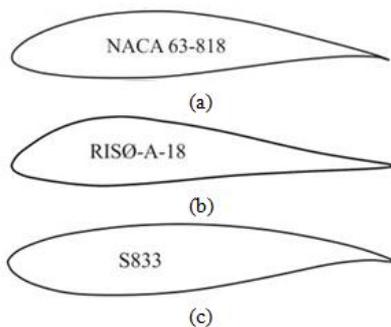


Terminologi *hidrofoil* secara terperinci dapat dilihat pada Gambar 2. *Hidrofoil* pada prinsipnya memiliki permukaan atas dan permukaan bawah. Umumnya kelengkungan permukaan atas *hidrofoil* lebih tinggi daripada permukaan yang lebih rendah. Titik perpotongan dari kedua permukaan berada di daerah depan dan belakang. *Hidrofoil* dicirikan oleh koordinat dari permukaan atas maupun bawah. *Hidrofoil* umumnya diberi nomor dengan menggunakan beberapa parameter seperti ketebalan maksimum, *camber* maksimum, posisi dari ketebalan maksimum, posisi maksimum *camber* dan jari-jari lengkungan. Berdasarkan bentuknya *hidrofoil* memiliki bentuk yang beragam dan memiliki standar yang telah dikembangkan oleh beberapa standar pembuat seperti NACA (National Advisory Committee for Aeronautics), NREL (U.S. National Renewable Energy Laboratory), dan RISO National Laboratory (Denmark).



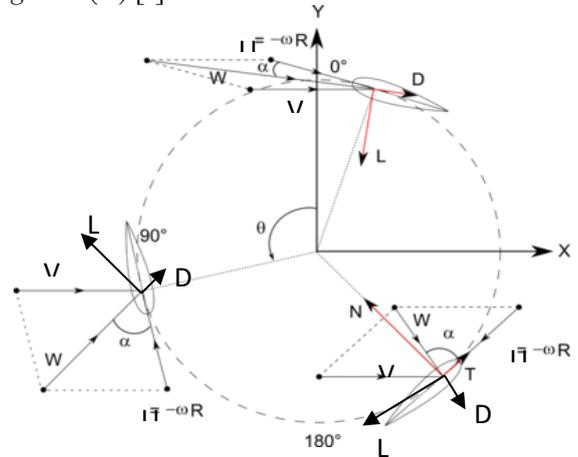
Gambar 2. Terminologi *hidrofoil* [4].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Muratoglu dan Yuce [5] menganalisis koefisien *lift*, *drag*, dan koefisien tekanan (*pressure coefficients*) untuk berbagai profil sudu NACA, NREL, dan RISO yang digunakan untuk turbin hidrokinetik dengan sudu lurus. Hasil analisis numerik dilakukan dengan menggunakan JavaFoil [6] menunjukkan penggunaan bentuk yang optimal adalah profil sudu RISO-A-18, NACA 63-818, dan NREL S833 dari masing-masing kelompok bentuk *hidrofoil* tersebut. Dan dari ketiga bentuk sudu itu *hidrofoil* RISO-A-18 dimana bentuk sudu ini memiliki suatu kurva daya yang ideal dengan efisiensi yang baik dan memberikan keluaran daya yang mendekati konstan dengan kecepatan di atas *rated speed*. Dan juga profil sudu jenis ini cukup tahan terhadap kavitasi. Pada penelitian ini akan diberikan kajian eksperimental untuk mengetahui pengaruh bentuk sudu terhadap unuk kerja turbin Darrieus tipe sudu lurus dengan menggunakan hidrofoil jenis RISO-A-18, NACA 63-818, dan NREL S833, sehingga diperoleh sudu yang optimal saat penggunaan untuk turbin hidrokinetik.



Gambar 3. Penampang sudu: (a) NACA 63-818, (b) RISO-A-18, dan (c) S833.

Poligon kecepatan dan gaya *lift* (L) dan gaya *drag* (D) yang terbentuk pada sudu turbin H Darrieus sudu lurus merupakan pendekatan dari turbin udara sumbu vertikal seperti dapat dilihat pada Gambar 4. Dari Gambar 4 dapat dilihat resultan vektor kecepatan (W) merupakan jumlah dari vektor kecepatan aliran fluida (V) dan vektor kecepatan keliling sudu (U) [7].



Gambar 4. Poligon kecepatan pada turbin sumbu vertikal. Dari gambar poligon kecepatan pada Gambar 4 tersebut dihasilkan kecepatan yang bervariasi yaitu kecepatan maksimum pada  $\theta = 0^\circ$  dan kecepatan minimum pada  $\theta = 180^\circ$ , dimana  $\theta$  adalah posisi orbital sudu.

Resultan vektor kecepatan (W) dan *angel of attack* (sudut serang) ( $\alpha$ ) dapat dihitung sebagai berikut:

$$W = V \sqrt{1 + 2\lambda \cos \theta + \lambda^2} \tag{1}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \lambda} \right) \tag{2}$$

dimana  $\lambda$  adalah *tip speed ratio*, dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \tag{3}$$

dimana  $\omega$  adalah kecepatan sudut putaran (rad/s), dan R adalah jari-jari turbin (m). Gaya aerodinamis yang dihasilkan adalah gaya angkat (L) dan gaya geseran (D) dan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$L = \frac{1}{2} C_d \rho V^2 A \tag{4}$$

$$D = \frac{1}{2} C_l \rho V^2 A \tag{5}$$

dimana  $C_d$  adalah koefisien geseran,  $C_l$  adalah koefisien angkat,  $\rho$  adalah massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ ), V adalah kecepatan fluida (m/s), A adalah luas penampang sudu *hidrofoil* ( $\text{m}^2$ ).

Dengan memproyeksikan gaya angkat dan geseran sebagai gaya yang tegak lurus terhadap lengan (jari-jari) turbin, maka selanjutnya dapat diketahui nilai torsi (T) yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan:

$$T = (L \cdot \sin \alpha - D \cdot \cos \alpha) \cdot R \tag{6}$$

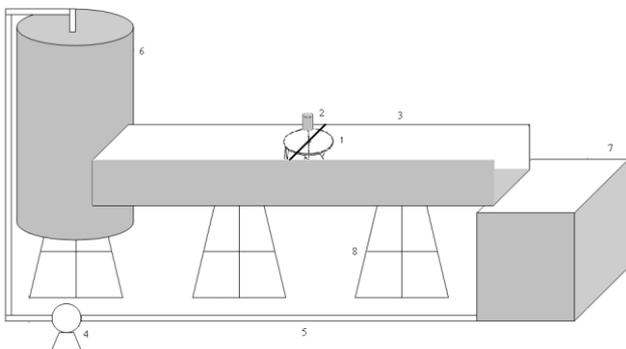
Selanjutnya menggunakan Persamaan 6 daya poros turbin  $P_b$  dapat diketahui:

$$P_b = T \omega \tag{7}$$

## 2. Experimental Procedure

Penelitian ini bertujuan melakukan kajian eksperimental pengaruh bentuk sudu terhadap unjuk kerja turbin air hidrokinetik tipe Darrieus jenis sudu lurus. Pengujian dilakukan untuk memperoleh pengaruh korelasi bentuk penampang sudu turbin terhadap unjuk kerja turbin seperti torsi yang dihasilkan turbin  $T$ , daya turbin  $P_t$ , dan efisiensi turbin  $\eta_t$ . Skema perancangan alat pengujian dapat dilihat Pada Gambar 5. Turbin air hidrokinetik tipe Darrieus sudu lurus yang diuji menggunakan bentuk sudu jenis RISO-A-18, NACA 63-818, dan NREL S833 seperti dapat dilihat pada Gambar 3.

Dimensi turbin yang diuji memiliki diameter 20 cm dan tinggi 20 cm, ukuran tersebut ditentukan sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Shiono, *et. al.* [8], dimana hasil penelitian mereka turbin yang memiliki dimensi diameter dan tinggi yang sama memiliki hasil yang optimum. Bentuk sudu yang digunakan adalah sudu RISO A-832, NACA 63-818, dan NREL's 33. Jumlah sudu turbin yang digunakan 3 buah, dan panjang *chord* untuk sudu adalah 8,3 cm. Hasil ini diperoleh dengan menggunakan nilai solidity  $\sigma = 0,4$  [9]. Pembuatan dan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

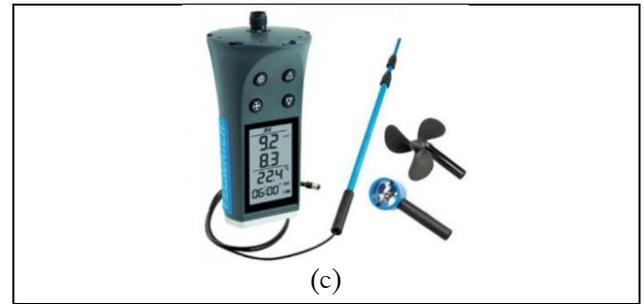
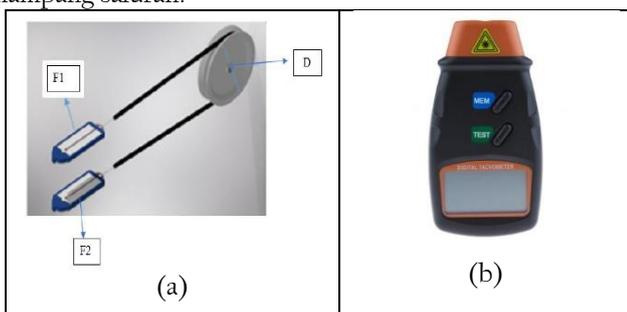


Gambar 4. Skema model alat pengujian.

Keterangan gambar:

1. Turbin air
2. Generator.
3. Saluran air.
4. Pompa air.
5. Pipa untuk mensirkulasikan air.
6. Tangki untuk sumber aliran air.

Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini adalah: *tachometer* digunakan untuk mengukur besarnya putaran  $N$  (rpm) yang dihasilkan turbin, *torsimeter* digunakan untuk menunjukkan besarnya torsi  $T$  (N.m) yang dihasilkan oleh poros turbin, *propeller current meter* digunakan untuk mengukur kecepatan aliran  $V$  (m/s) yang mengalir pada penampang saluran.



Gambar 5. Alat ukur yang digunakan: a. Torsi meter, b. *Tachometer*, c. *Propeller current meter*.

Data-data hasil pengujian kemudian dihitung untuk mengetahui unjuk kerja turbin. Daya yang dihasilkan turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_t = T \omega$$

$$= T \frac{2\pi N}{60} \quad (8)$$

dimana  $T$  (N.m) adalah torsi yang didapat dari pengukuran menggunakan torsi meter seperti dapat dilihat pada Gambar 5 (a), dan  $N$  adalah putaran turbin (rpm) diperoleh dari pengukuran menggunakan *tachometer*. Torsi yang dihasilkan turbin dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = (F_1 - F_2) \times r \quad (9)$$

dimana  $F_1$  dan  $F_2$  adalah gaya-gaya yang dihasilkan dari pengukuran masing-masing pegas dan  $r$  adalah jari-jari puley.

Besar daya sumber energi air  $P_h$  adalah daya air yang melalui penampang saluran, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [10]:

$$P_h = 0,5 \rho A_t V^3 \quad (10)$$

dimana  $\rho$  adalah massa jenis air ( $1.000 \text{ kg/m}^3$ ),  $V$  adalah kecepatan aliran air (m/s),  $A_t$  ( $\text{m}^2$ ) adalah luas penampang turbin yang dialiri air. Luas penampang ini dihitung  $A_t = D H$  [11], dimana  $D$  adalah diameter turbin, dan  $H$  adalah tinggi turbin.

Efisiensi turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h} \quad (10)$$

## 3. Result And Discussion

Model turbin yang diuji dapat dilihat pada Gambar 6. Dimensi dari saluran yang digunakan memiliki lebar adalah 25 cm dan tingginya 40 cm serta panjang 4 m, seperti dapat dilihat pada Gambar 7. Ukuran dari tangki penampung air dengan volume  $1 \text{ m}^3$ .

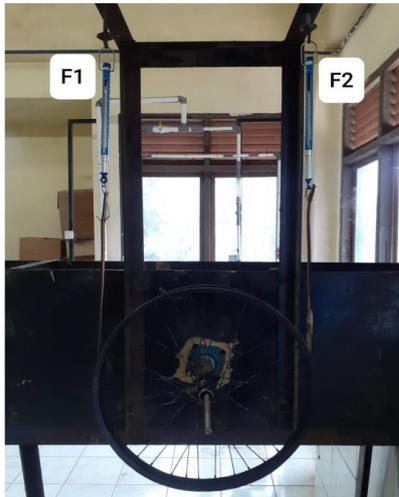


Gambar 6. Turbin *Darrieus* sudu lurus.



Gambar 7. Saluran air alat pengujian.

Alat ukur torsi dibuat dengan menggunakan 2 buah neraca pegas, sabuk dan pulley. Pulley yang digunakan memiliki diameter 0,42 m. Sistem pengukuran torsi dan gambar sistem alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

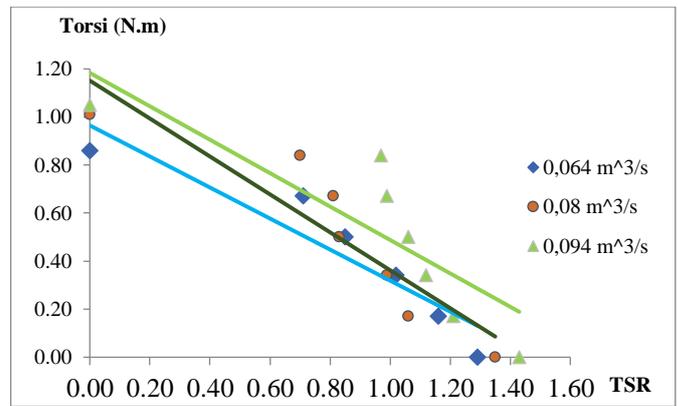


Gambar 8. Alat pengukur torsi.

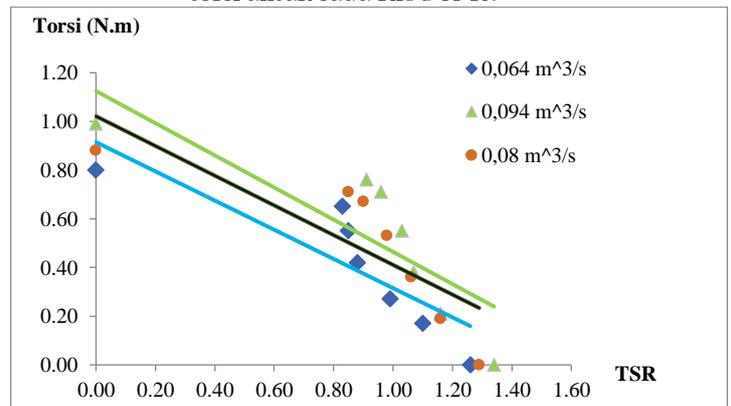


Gambar 9. Sistem alat pengujian.

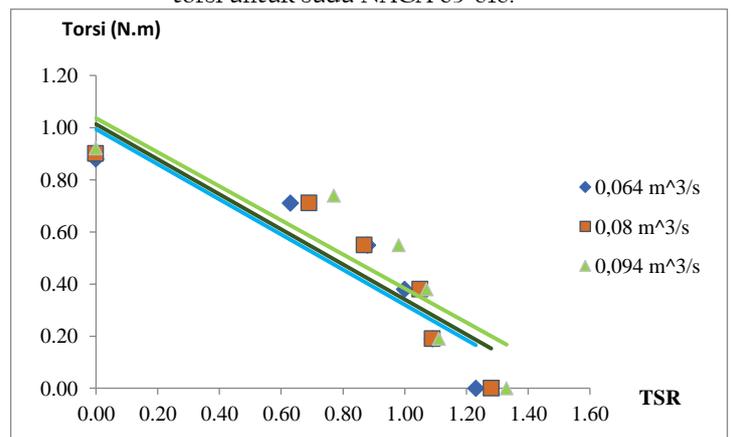
Pengujian dilakukan dengan variasi debit aliran di dalam saluran 0,064 m<sup>3</sup>/s, 0,080 m<sup>3</sup>/s, dan 0,094 m<sup>3</sup>/s. Hasil pengujian unjuk kerja untuk masing-masing bentuk sudu dapat dilihat pada Gambar 10 sampai dengan Gambar 17.



Gambar 10. Grafik hubungan tip speed ratio (TSR) terhadap torsi untuk sudu RISO A-18.



Gambar 11. Grafik hubungan tip speed ratio (TSR) terhadap torsi untuk sudu NACA 63-818.

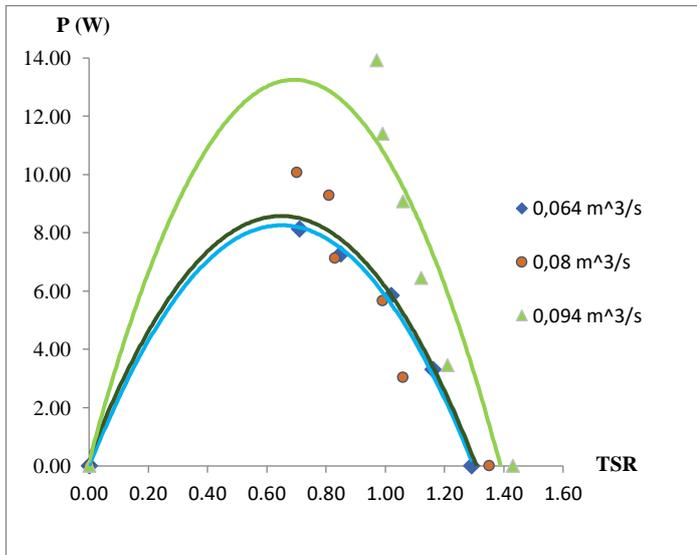


Gambar 12. Grafik hubungan tip speed ratio (TSR) terhadap torsi untuk sudu NREL S833.

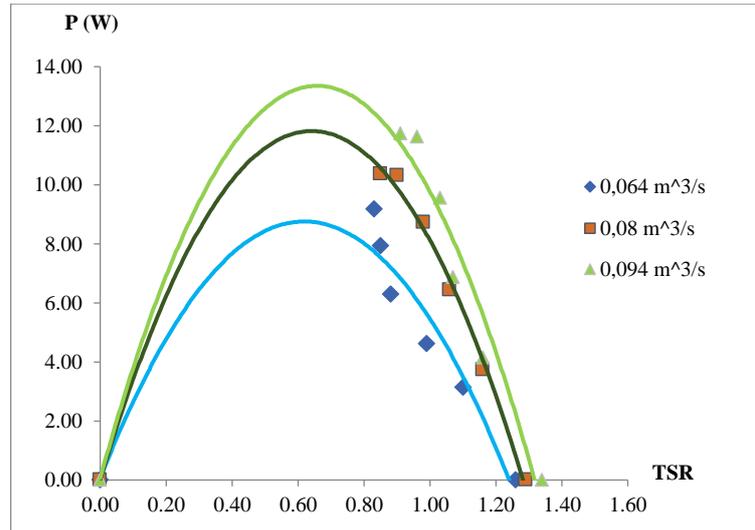
Grafik pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai torsi dan debit aliran berbanding lurus, dimana semakin besar debit alirannya semakin besar nilai torsi yang dihasilkan, hal ini dikarenakan semakin besar debit alirannya maka semakin besar tumbukan air yang menggerakkan turbin. Tetapi nilai torsi yang dihasilkan berbanding terbalik dengan putaran. Hal tersebut diakibatkan semakin besar beban atau gaya pengereman yang diberikan maka akan semakin kecil putaran turbin yang dihasilkan, demikian juga sebaliknya apabila semakin kecil gaya pengereman yang diberikan maka putaran yang dihasilkan akan semakin besar. Torsi maksimum yang dihasilkan adalah 1,05 N.m untuk bentuk sudu RISO A-18,

0,99 N.m sudu bentuk sudu NACA 63-818, dan 0,92 N.m untuk bentuk sudu NREL S833 pada debit aliran 0,094 m<sup>3</sup>/s.

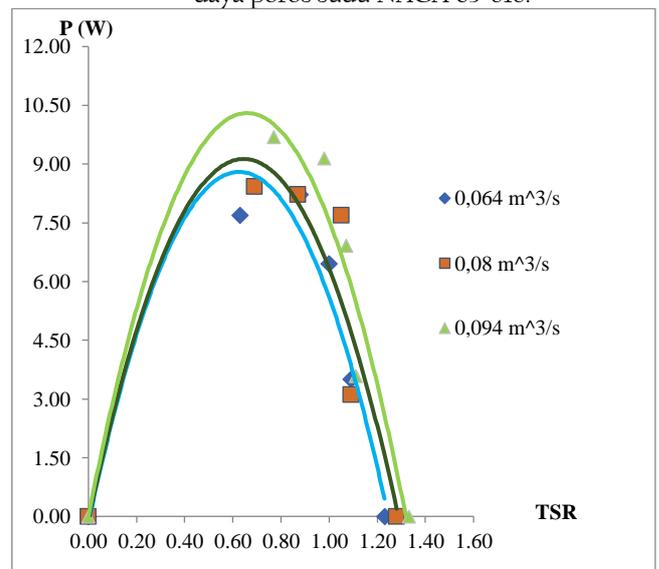
Pada Gambar 13, 14, dan 15 diberikan hubungan *tip speed ratio* (TSR) terhadap daya poros untuk turbin dengan bentuk sudu RISO A-18, NACA 63-818, dan NREL S833. Trend grafik *tip speed ratio* (TSR) terhadap daya poros memiliki pola yang sama untuk ketiga sudu, dimana awalnya daya poros meningkat dengan bertambahnya putaran turbin sampai mencapai titik puncak dan kemudian daya poros menurun dengan bertambahnya putaran turbin. Hal tersebut dikarenakan apabila kecepatan putaran turbin semakin besar maka torsi yang dihasilkan oleh turbin bertambah kecil dan begitu juga sebaliknya, kejadian tersebut dikarenakan adanya pembebanan yang diterima turbin saat beroperasi. Hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai daya poros maksimum untuk ketiga debit aliran itu adalah 8,21 Watt, 12,29 Watt, dan 13,92 Watt untuk turbin dengan bentuk sudu RISO A-18. Nilai daya poros maksimum untuk turbin dengan bentuk sudu NACA 63-818 diperoleh 9,17 Watt, 10,37 Watt, dan 11,74 Watt. Nilai daya poros maksimum untuk turbin dengan bentuk sudu NREL S833 menggunakan 3 variasi debit aliran yang sama, diperoleh 8,22 Watt, 8,43 Watt, dan 9,69 Watt.



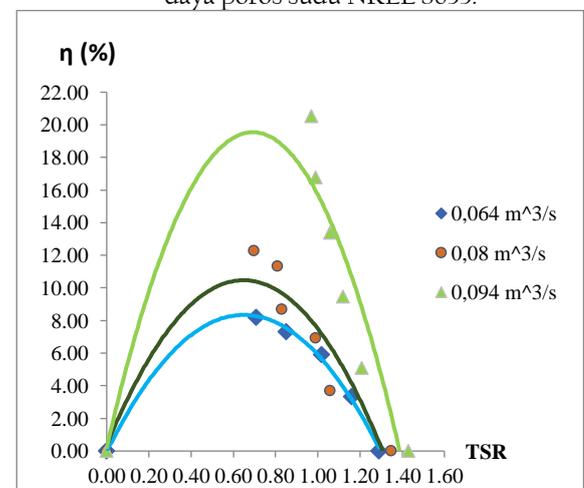
Gambar 13. Grafik hubungan *tip speed ratio* (TSR) terhadap daya poros sudu RISO A-18.



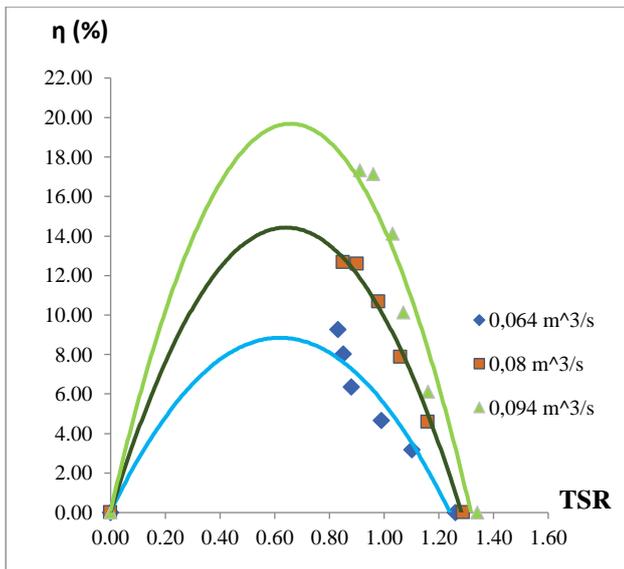
Gambar 14. Grafik hubungan *tip speed ratio* (TSR) terhadap daya poros sudu NACA 63-818.



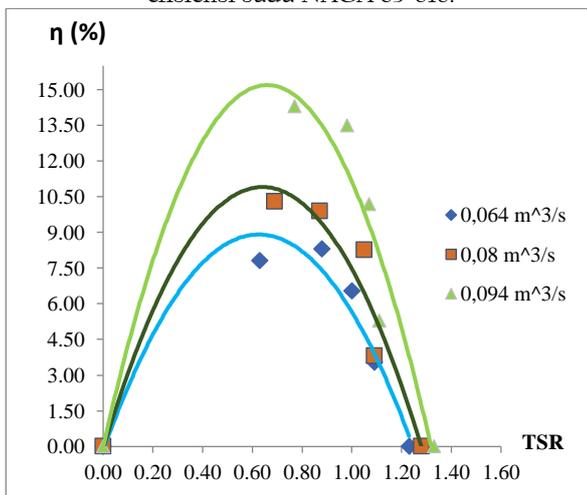
Gambar 15. Grafik hubungan *tip speed ratio* (TSR) terhadap daya poros sudu NREL S833.



Gambar 16. Grafik hubungan *tip speed ratio* (TSR) terhadap efisiensi sudu RISO A-18.



Gambar 17. Grafik hubungan tip speed ratio (TSR) terhadap efisiensi sudu NACA 63-818.



Gambar 18. Grafik hubungan tip speed ratio (TSR) terhadap efisiensi sudu NREL S833.

Gambar 16, 17, dan 18 menunjukkan grafik hubungan tip speed ratio (TSR) terhadap efisiensi turbin untuk bentuk sudu RISO A-18, NACA 63-818, dan NREL S833. Trend grafik efisiensi turbin ini juga memiliki pola yang sama untuk ketiga sudu, dimana awalnya efisiensi turbin meningkat dengan bertambahnya putaran turbin sampai mencapai titik maksimum dan kemudian efisiensi turbin menurun dengan bertambahnya putaran turbin. Nilai efisiensi maksimum untuk turbin menggunakan bentuk sudu RISO A-18 diperoleh 20,53 % pada TSR sebesar 0,97 (158 rpm) dengan debit aliran 0,094 m<sup>3</sup>/s. Pada gambar 17 diperoleh nilai efisiensi maksimum untuk turbin menggunakan bentuk sudu NACA 63-818 adalah 17,31 % pada nilai TSR sebesar 0,97 (148 rpm) untuk debit aliran 0,094 m<sup>3</sup>/s. Pada gambar 16 diperoleh bahwa efisiensi maksimum turbin bentuk sudu NREL S833 adalah 14,29 % pada saat TSRnya sebesar 0,77 (126 rpm) untuk debit aliran 0,094 m<sup>3</sup>/s.

Hasil pengujian ini memberikan hasil yang sama dengan kajian analisis numerik yang dilakukan Mura dimana hasil analisis numerik mereka, bentuk sudu menggunakan RISO A-18 dihasilkan efisiensi terbaik dibandingkan dengan

menggunakan bentuk sudu NACA 63-818 dan NREL S833. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk sudu RISO A-18 menghasilkan perbandingan gaya-gaya hidrodinamik yaitu gaya lift gaya drag yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk sudu NACA 63-818 dan NREL S833.

#### 4. Conclusion

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, bentuk sudu turbin hidrokinetik mempengaruhi unjuk kerja turbin. Hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan bentuk sudu NACA 63-818, NREL S833, diperoleh efisiensi maksimum untuk turbin menggunakan bentuk sudu RISO A-18 diperoleh 20,53 % pada TSR sebesar 0,97 (158 rpm), menggunakan bentuk sudu NACA 63-818 adalah 17,31 % pada nilai TSR sebesar 0,97 (148 rpm) untuk debit aliran 0,094 m<sup>3</sup>/s, dan bentuk sudu NREL S833 adalah 14,29 % pada saat TSR nya sebesar 0,77 (126 rpm) pada debit aliran 0,094 m<sup>3</sup>/s. Hasil pengujian ini memberikan hasil yang sama dengan kajian analisis numerik yang dilakukan Muratoglu dan Yuce [5] dimana hasil analisis numerik mereka, bentuk sudu menggunakan RISO A-18 dihasilkan efisiensi terbaik dibandingkan dengan menggunakan bentuk sudu NACA 63-818 dan NREL S833. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk sudu RISO A-18 menghasilkan perbandingan gaya-gaya hidrodinamik yaitu gaya lift dan drag yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk sudu NACA 63-818 dan NREL S833. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan optimasi unjuk kerja turbin hidrokinetik ini dengan bervariasi parameter-parameter bentuk sudu RISO A-18.

#### References

- [1] "Outlook Energi Indonesia 2019", available at <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>, diakses 22 Januari 2024.
- [2] Nabilah Muhamad, 2024. „Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik EBT Indonesia Berdasarkan Sumber Energi (2023)“, available at <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2024/01/19/kapasitas-ebt-indonesia-13-ribu-mw-pada-2023-mayoritas-energi-air>, diakses 22 Januari 2024.
- [3] Niebuhr, C.M., Van Dijk, M., Neary, V.S., Bhagwan, J.N. 2019. A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: Technology, applicability and potential. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 113.
- [4] Manwell, J. F., MCGowan J. G., and A. L. Rogers, 2009. Wind energy explained: theory design and application, Wiltshire: John Wiley & Sons Ltd.
- [5] Muratoglu, A., Yuce, M. I., 2015. Performance Analysis of Hydrokinetic Turbine Blade Sections. Advances in Renewable Energy Volume 2, Avestia Publishing.
- [6] Hepperle, M., 2011, "Program JavaFoil". available at <http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/javafoil.htm>, diakses 5 Mei 2020.
- [7] "Vertical axis wind turbine". Wikimedia Foundation, Inc. available at [http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical\\_axis\\_wind\\_turbine.html](http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine.html), diakses 9 Juli 2019.

- [8] Shiono, M., Suzuki, K., Kiho, S., 2002. Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations, . Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan, May 26–31, 2002. available at [https://www.academia.edu/14239924/Output\\_Characteristics\\_of\\_Darrieus\\_Water\\_Turbine\\_with\\_Helical\\_Blades\\_for\\_Tidal\\_Current\\_Generations](https://www.academia.edu/14239924/Output_Characteristics_of_Darrieus_Water_Turbine_with_Helical_Blades_for_Tidal_Current_Generations), diakses 26 Januari 2020.
- [9] Jorfri Boike Sinaga, Novri Tanti, Ahmad Suudi, M. Dyan Susila. 2018. Development of a Model of Hydro Electric Power Generation Suitable for Low Head. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1116 (2018).
- [10] Kartezhnikova M, Ravens TM., 2014. Hydraulic impacts of hydrokinetic devices. *Renew Energ.* 2014;66:425-432. DOI: 10.1016/j.renene.2013.12.034
- [11] Gipe, P. *Wind Power*. 2004. London: James & James.