

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

# ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

## Analisis Pengaruh Penambahan Jumlah Bilah Turbin Angin Terhadap Torsi dan Daya Pada Airfoil NACA 0018

Efendi Alvonco Pakapahan<sup>1\*</sup>, Kardiman<sup>2</sup>, Iwan Nugraha Gusniar<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup>Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. Hs. Ronggo Waluyo, Telukjambe Timur, Karawang, Indonesia

### ARTICLE INFO

*Keywords:*  
Airfoil NACA 0018  
ANSYS simulation  
Renewable energy  
CFD analysis  
Wind energy

### ABSTRACT

*This study aims to analyze the impact of increasing the number of blades on a vertical axis wind turbine on torque and power output using the NACA 0018 airfoil. The background of this research is the need for efficient and sustainable renewable energy sources, with wind turbines playing a crucial role. The study focuses on understanding how varying the number of blades affects key performance parameters such as torque and power. Simulations were conducted using ANSYS software with wind speeds of 3 m/s, 5 m/s, and 8 m/s over 10 seconds, testing configurations with 2, 3, 4, and 5 blades. The results showed that at low to medium wind speeds (3 m/s and 5 m/s), the three-blade turbine achieved the highest torque and power, with a maximum torque of 0.358271 Nm and maximum power of 5.0073110 W at 3 m/s, and a maximum torque of 0.99525 Nm and maximum power of 20.83626 W at 5 m/s. At high wind speeds (8 m/s), the two-blade turbine performed best with a maximum torque of 1.806616 Nm and maximum power of 38.36925 W. This study concludes that the three-blade turbine is most efficient for low to medium wind speeds, while the two-blade turbine is optimal for high wind speeds.*

### Pendahuluan

Energi terbarukan semakin menjadi fokus utama dalam memenuhi kebutuhan energi global yang terus meningkat, mengingat keterbatasan dan dampak lingkungan dari sumber energi fosil. Turbin

angin, sebagai salah satu solusi energi terbarukan, memainkan peran penting dalam memenuhi permintaan ini. Efisiensi turbin angin sangat dipengaruhi oleh desainnya, termasuk jumlah bilah yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi jumlah

\*Corresponding author: DOI : [efendipakpahan05@gmail.com](https://doi.org/10.24127/armatur.v5i2.6518)

DOI: <https://10.24127/armatur.v5i2.6518>

Received 28 Juli 2024; Received in revised form 2 Agustus 2024; Accepted 24 September 2024

Available online 30 September 2024

bilah pada turbin angin vertikal terhadap performa aerodinamis, khususnya torsi dan daya yang dihasilkan. Pemilihan airfoil NACA 0018 sebagai profil bilah didasarkan pada karakteristik aerodinamisnya yang baik, yang relevan untuk aplikasi turbin angin

Studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan jumlah bilah dapat meningkatkan performa aerodinamis pada kondisi tertentu, namun juga dapat meningkatkan resistensi dan biaya produksi. Misalnya, penelitian oleh Smith et al. (2018) menemukan bahwa penambahan jumlah bilah pada turbin angin vertikal dapat meningkatkan koefisien daya pada kecepatan angin rendah hingga sedang, tetapi tidak memberikan peningkatan signifikan pada kecepatan angin tinggi. Penelitian oleh Brown et al. (2019) juga mengindikasikan bahwa meskipun turbin dengan lebih banyak bilah memiliki peningkatan dalam torsi dan daya pada kecepatan angin tertentu, mereka juga menghadapi peningkatan drag yang signifikan, yang dapat mengurangi efisiensi keseluruhan. Selain itu, studi oleh Nguyen et al. (2020) menunjukkan bahwa ada titik optimal dalam jumlah bilah yang menghasilkan keseimbangan terbaik antara performa dan biaya. Khan et al. (2021) dan Lopez et al. (2022) juga menguatkan temuan tersebut dengan menyebutkan bahwa meskipun peningkatan jumlah bilah dapat meningkatkan stabilitas dan output daya, namun biaya produksi dan perawatan juga meningkat secara signifikan.

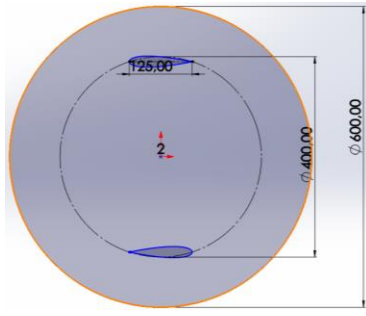
Dalam konteks kebutuhan global akan sumber energi berkelanjutan dan efisien, penelitian ini menjadi sangat relevan. Negara-negara di seluruh dunia berlomba-lomba untuk mengurangi emisi karbon dan mengadopsi energi terbarukan, di mana turbin angin memegang peranan krusial. Penentuan jumlah bilah yang optimal untuk turbin angin vertikal dapat memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi dan biaya operasional turbin, yang pada akhirnya akan mempengaruhi adopsi dan keberlanjutan teknologi ini di pasar

global. Dengan memahami dan mengoptimalkan desain turbin angin vertikal melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam menghadapi tantangan energi masa depan dan mendukung transisi menuju ekonomi rendah karbon.

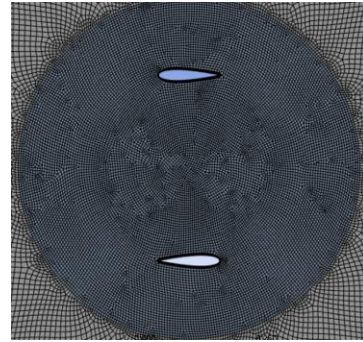
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah bilah (2, 3, 4, dan 5 bilah) pada turbin angin vertikal terhadap torsi dan daya yang dihasilkan, menentukan konfigurasi jumlah bilah yang paling efisien pada berbagai kecepatan angin (3 m/s, 5 m/s, dan 8 m/s), serta menyediakan data dan wawasan untuk optimasi desain turbin angin vertikal yang lebih efisien dalam menghasilkan energi terbarukan. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam desain dan pengembangan turbin angin yang lebih efisien dan berkelanjutan, serta mendukung upaya global dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi dampak lingkungan.

## Metode Penelitian

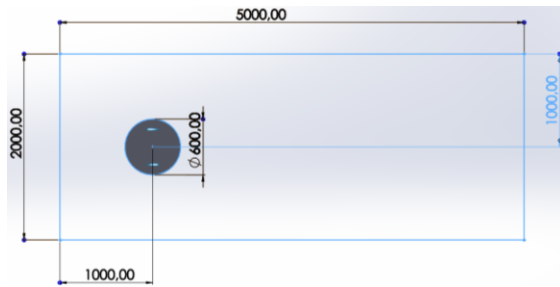
Penelitian ini merupakan simulasi aerodinamik yang dilakukan untuk menganalisis pengaruh jumlah bilah pada turbin angin vertikal terhadap torsi dan daya yang dihasilkan menggunakan airfoil NACA 0018. Penelitian dimulai dengan mengimpor model airfoil NACA 0018 ke dalam perangkat lunak SolidWorks, di mana desain turbin angin dengan 2, 3, 4, dan 5 bilah dibuat. Ukuran *rotating domain* ditetapkan sebesar 600 mm, sementara *static domain* berbentuk persegi panjang dengan panjang 5 meter dan lebar 2 meter. Turbin angin memiliki panjang 125 mm dengan rotor berukuran 400 mm.



Gambar 1. Dimensi *rotating domain*



Gambar 4. Mesh pada area *Rotating domain*



Gambar 2. Dimensi *Static domain*

Setelah desain selesai, model turbin angin dua dimensi diimpor ke dalam perangkat lunak *Ansys* untuk melakukan simulasi aerodinamik. Simulasi dilakukan pada kecepatan angin 3 m/s, 5 m/s, dan 8 m/s, masing-masing selama 10 detik. Ukuran elemen mesh yang digunakan adalah 0,005 meter di area *rotating domain* dan 0,015 meter di area *static domain*. Penyesuaian ini dilakukan untuk memastikan akurasi dan konvergensi simulasi, termasuk kepadatan *mesh* dan jenis elemen yang digunakan.



Gambar 3. Mesh pada area *Static domain*

Data yang dikumpulkan meliputi torsi maksimum, daya maksimum, koefisien daya ( $C_p$ ), koefisien torsi ( $C_t$ ), dan *tip speed ratio* ( $TSR$ ). Rumus-rumus yang digunakan dalam analisis data adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Coefisien Daya } (C_p) & \\ &= \frac{P}{0,5 \times \rho \times A \times V^3} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Coefisien Torsi } (C_t) & \\ &= \frac{T}{0,5 \times \rho \times A \times V^2 \times R} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Tip Speed Ratio } (TSR) & \\ &= \frac{\omega \cdot R}{V} \end{aligned} \quad (3)$$

Data hasil simulasi kemudian dianalisis untuk menentukan pengaruh jumlah bilah terhadap performa turbin angin. Perbandingan dilakukan untuk setiap konfigurasi bilah pada berbagai kecepatan angin, dengan perangkat lunak spreadsheet seperti Microsoft Excel digunakan untuk analisis lebih lanjut dan visualisasi data.

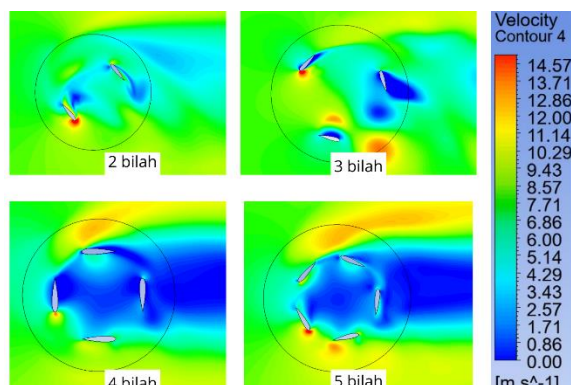
### Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan jumlah bilah pada turbin angin vertikal terhadap torsi dan daya yang dihasilkan pada airfoil NACA 0018. Simulasi dilakukan pada kecepatan angin 3 m/s, 5 m/s, dan 8 m/s dengan konfigurasi bilah 2, 3, 4, dan 5 bilah. Data yang diperoleh mencakup torsi

maksimum, daya maksimum, koefisien daya ( $C_p$ ), koefisien torsi ( $C_t$ ), dan *tip speed ratio* ( $TSR$ ).

### Analisis Kontur Kecepatan Angin

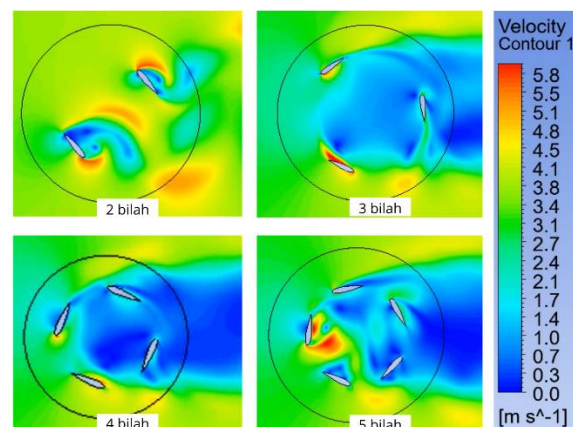
Simulasi akan menunjukkan interaksi aliran udara dengan bilah turbin pada kecepatan angin 3 m/s, 5 m/s, dan 8 m/s, mengungkap pola aliran, *area stagnasi*, dan *wake region* yang mempengaruhi torsi dan daya.



Gambar 5. Kontur aerodinamik turbin angin pada kecepatan angin 3m/s

Pada Gambar 5. Turbin angin 2 bilah dan 3 bilah memperlihatkan pola aliran udara yang kompleks di sekitar bilah turbin, dengan kecepatan tertinggi terjadi di dekat tepi depan bilah dan menurun ke arah belakang akibat efek Bernoulli. Terlihat fluktuasi kecepatan angin yang disebabkan oleh turbulensi, sudut serang bilah, dan desain bilah. Pada gambar yang ditampilkan, turbin dengan 3 bilah menunjukkan interaksi antar bilah yang lebih kompleks dibandingkan dengan konfigurasi 2 bilah. Hal ini dapat diamati dari beberapa aspek penting dalam pola aliran udara. Pertama, variasi warna yang lebih beragam di sekitar bilah mengindikasikan perubahan kecepatan yang lebih dinamis. Selain itu, area berwarna biru tua yang lebih luas di belakang turbin menandakan zona turbulensi yang lebih besar. Pola aliran pada turbin 3 bilah juga terlihat kurang simetris, mencerminkan interaksi yang lebih rumit antara bilah-

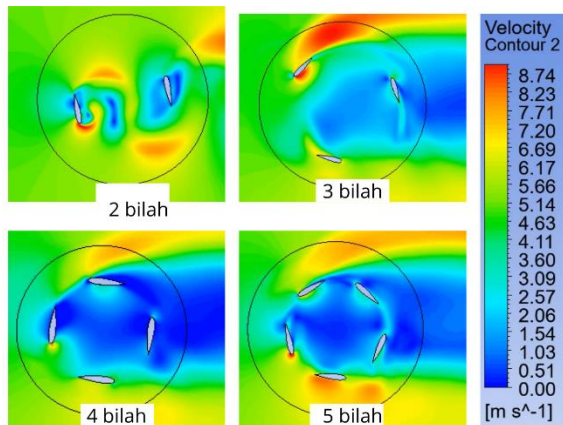
bilahnya. Gradien kecepatan yang lebih tajam, ditunjukkan oleh perubahan warna yang lebih drastis di sekitar bilah, juga mengindikasikan dinamika aliran yang lebih kompleks. Terakhir, area berwarna kuning-hijau yang lebih luas di depan turbin menunjukkan interaksi yang lebih rumit dengan aliran udara yang masuk. Semua faktor ini berkontribusi pada potensi turbulensi dan fluktuasi kecepatan yang lebih tinggi pada turbin 3 bilah, meskipun kedua jenis turbin tetap mampu menghasilkan daya dengan memanfaatkan aliran udara di sekitar bilahnya.



Gambar 6. Kontur aerodinamik turbin angin pada kecepatan angin 5m/s

Semua simulasi turbin pada kecepatan 5m/s menunjukkan pola umum yang sama: percepatan lokal di sekitar ujung bilah (ditandai warna kuning-merah), perlambatan aliran di belakang turbin (area biru), dan pembentukan wake turbulence. Namun, terlihat perbedaan dalam kompleksitas dan struktur aliran di belakang turbin seiring bertambahnya jumlah bilah. Turbin 2 bilah menunjukkan pola wake yang lebih sederhana, sementara turbin 3, 4, dan 5 bilah memperlihatkan wake yang semakin kompleks dan bergelombang. Turbin dengan bilah lebih banyak cenderung menghasilkan distribusi kecepatan yang lebih merata di belakangnya, yang dapat mengindikasikan ekstraksi energi yang lebih efisien dari aliran angin. Waktu simulasi yang berbeda-beda (7.7s, 6.14s, 5.48s, dan

6.5s) menunjukkan snapshot dari tahapan yang berbeda dalam rotasi turbin, memberikan gambaran dinamis tentang bagaimana jumlah bilah mempengaruhi interaksi turbin dengan aliran udara dari waktu ke waktu. Perbandingan ini dapat membantu dalam mengoptimalkan desain turbin untuk efisiensi dan performa yang lebih baik.



Gambar 7. Kontur aerodinamik turbin angin pada kecepatan angin 8m/s

Semua konfigurasi menunjukkan variasi kecepatan yang signifikan di sekitar turbin, dengan kecepatan tertinggi sekitar 14,5-14,6 m/s terlihat di dekat bilah. Seiring bertambahnya jumlah bilah, terlihat peningkatan kompleksitas pola aliran dan intensitas wake turbulen di belakang turbin. Turbin dengan 4 dan 5 bilah menunjukkan wake yang lebih panjang dan lebar, mengindikasikan ekstraksi energi yang lebih besar namun juga potensi peningkatan turbulensi. Zona kecepatan rendah di belakang turbin semakin jelas dan luas dengan bertambahnya jumlah bilah, yang dapat mempengaruhi efisiensi turbin secara keseluruhan. Perbedaan pola aliran ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah bilah dapat meningkatkan potensi ekstraksi energi, namun juga membawa tantangan dalam hal manajemen wake dan efisiensi aerodinamis, yang perlu dipertimbangkan dalam desain dan penempatan turbin angin vertikal axis.

## Pembahasan

### Kecepatan Angin 3m/s

Tabel 1. Nilai torsi maksimumi dan daya maksimum masing-masing turbin angin pada kecepatan angin 3m/s.

Jlh bilah	Torsi Max (Nm)	Daya Max (Watt)
2	0.045706	0.032898
3	0.358272	5.007311
4	0.23324	0.127557
5	0.341823	0.935501

Pada kecepatan angin 3 m/s, turbin dengan tiga bilah menghasilkan performa terbaik dengan torsi maksimal 0.358271 Nm dan daya maksimal 5.0073110 W. Ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah bilah dari dua menjadi tiga meningkatkan torsi dan daya secara signifikan. Turbin dengan dua bilah menghasilkan torsi maksimal 0.045706 Nm dan daya maksimal 0.0328982 W, yang lebih rendah dibandingkan konfigurasi lainnya. Turbin dengan empat bilah mencatat torsi maksimal 0.233239 Nm dan daya maksimal 0.1275573 W, sementara turbin dengan lima bilah menghasilkan torsi maksimal 0.341823 Nm dan daya maksimal 0.9355006 W. Hasil ini menunjukkan bahwa tiga bilah adalah konfigurasi yang optimal untuk kecepatan angin rendah, memberikan keseimbangan antara torsi dan daya.

### Kecepatan Angin 5m/s

Tabel 2. Nilai torsi maksimumi dan daya maksimum masing-masing turbin angin pada kecepatan angin 5m/s.

Jlh bilah	Torsi Max (Nm)	Daya Max (Watt)
2	0.20794	0.21583
3	0.995254	20.83626
4	0.556871	4.02774



5	0.87963	4.782745
---	---------	----------

Pada kecepatan angin 5 m/s, turbin dengan tiga bilah tetap menunjukkan performa unggul dengan torsi maksimal 0.99525 Nm dan daya maksimal 20.83626 W. Konfigurasi ini menunjukkan bahwa tiga bilah menghasilkan daya yang jauh lebih tinggi dibandingkan konfigurasi lainnya. Turbin dengan dua bilah menghasilkan torsi maksimal 0.20794 Nm dan daya maksimal 0.21583 W, sementara turbin dengan empat bilah mencapai torsi maksimal 0.55687 Nm dan daya maksimal 4.02774 W. Turbin dengan lima bilah menghasilkan torsi maksimal 0.87963 Nm dan daya maksimal 4.782745 W. Hasil ini konsisten dengan pengamatan pada kecepatan angin rendah, dimana tiga bilah memberikan performa terbaik.

### Kecepatan Angin 8m/s

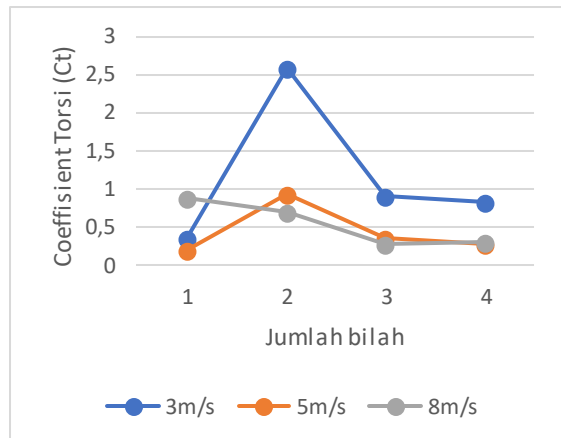
Tabel 3. Nilai torsi maksimum dan daya maksimum masing-masing turbin angin pada kecepatan angin 8m/s.

Jlh bilah	Torsi Max (Nm)	Daya Max (Watt)
2	1.806616	67.49523
3	1.593424	26.94568
4	1.20887	12.30268
5	1.931086	18.98317

Pada kecepatan angin 8 m/s, turbin dengan dua bilah menghasilkan performa terbaik dengan torsi maksimal 1.806616 Nm dan daya maksimal 38.36925 W. Hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan angin tinggi, dua bilah lebih efisien dalam menghasilkan torsi dan daya. Turbin dengan tiga bilah menghasilkan torsi maksimal 1.593424 Nm dan daya maksimal 19.34922 W, sedangkan turbin dengan empat bilah mencatat torsi maksimal 1.20887 Nm dan daya maksimal 22.65493 W. Turbin dengan lima bilah menunjukkan torsi maksimal

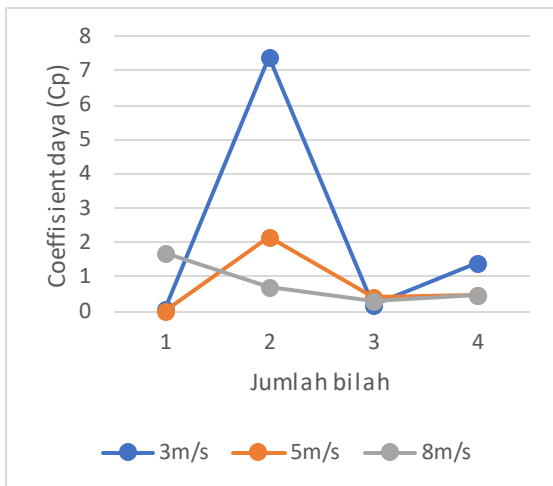
1.931086 Nm dan daya maksimal 32.29268 W. Meskipun turbin dengan lima bilah menunjukkan stabilitas dan daya yang lebih tinggi, biaya produksi dan perawatan yang lebih tinggi menjadi pertimbangan penting.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah bilah yang optimal tergantung pada kecepatan angin.



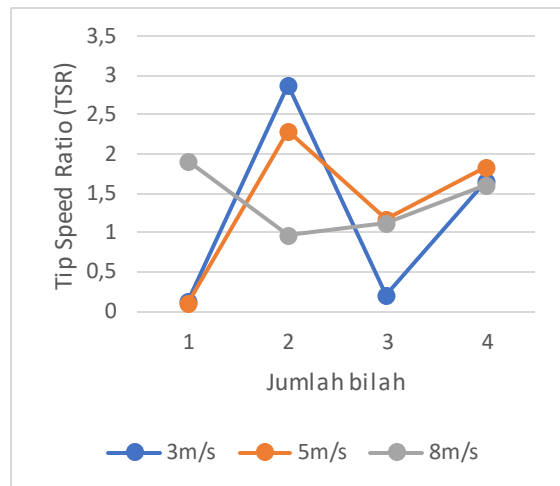
Gambar 8. Grafik coefficient torsi (Ct).

Grafik Ct vs. jumlah bilah mengilustrasikan bagaimana koefisien torsi (Ct) berubah dengan variasi jumlah bilah pada kecepatan angin yang berbeda. Pada kecepatan rendah (3 m/s), turbin dengan tiga bilah memiliki Ct tertinggi, menunjukkan efisiensi torsi yang optimal. Pada kecepatan menengah (5 m/s), turbin tiga bilah tetap menunjukkan performa terbaik dalam hal Ct, sedangkan pada kecepatan tinggi (8 m/s), turbin dengan dua bilah menghasilkan Ct tertinggi, menunjukkan bahwa konfigurasi dua bilah lebih efisien pada kecepatan angin yang lebih tinggi. Turbin dengan empat dan lima bilah menunjukkan nilai Ct yang lebih rendah dan stabil, menandakan efisiensi torsi yang lebih konsisten namun tidak seoptimal dua atau tiga bilah.



Gambar 9. Grafik Coefficient daya (Cp).

Grafik Cp vs. jumlah bilah menunjukkan bahwa koefisien daya (Cp) bervariasi dengan jumlah bilah pada berbagai kecepatan angin. Pada kecepatan angin rendah (3 m/s), turbin dengan tiga bilah menghasilkan nilai Cp tertinggi, menunjukkan efisiensi konversi energi angin menjadi daya yang optimal. Pada kecepatan menengah (5 m/s), turbin tiga bilah tetap unggul dalam hal nilai Cp, sementara pada kecepatan tinggi (8 m/s), turbin dengan dua bilah menunjukkan peningkatan signifikan dalam Cp, mengindikasikan performa yang lebih baik pada kondisi angin yang lebih kuat. Turbin dengan empat dan lima bilah cenderung memiliki nilai Cp yang lebih stabil namun lebih rendah dibandingkan dengan dua atau tiga bilah, menunjukkan efisiensi yang lebih konsisten namun tidak optimal.



Gambar 10. Grafik Tip Speed Ratio (TSR).

Grafik TSR vs. jumlah bilah menggambarkan rasio kecepatan ujung bilah terhadap kecepatan angin (Tip Speed Ratio) untuk berbagai konfigurasi bilah pada kecepatan angin yang berbeda. Pada kecepatan rendah (3 m/s), turbin dengan tiga bilah menunjukkan TSR tertinggi, mengindikasikan rotasi bilah yang paling efisien. Pada kecepatan menengah (5 m/s), turbin tiga bilah tetap unggul dalam hal TSR, sedangkan pada kecepatan tinggi (8 m/s), turbin dengan dua bilah menunjukkan peningkatan TSR yang signifikan, mencerminkan kinerja optimal pada kondisi angin yang kuat. Turbin dengan empat dan lima bilah memiliki TSR yang lebih stabil namun lebih rendah dibandingkan dengan dua atau tiga bilah, menunjukkan kecepatan rotasi yang lebih konsisten namun tidak optimal.

## Kesimpulan

Penelitian ini mengungkapkan bahwa jumlah bilah pada turbin angin vertikal sangat mempengaruhi torsi, daya, dan efisiensi pada berbagai kecepatan angin. Turbin dengan tiga bilah menunjukkan performa terbaik pada kecepatan angin rendah hingga sedang (3 m/s dan 5 m/s), dengan torsi maksimal 0.358271 Nm dan daya maksimal 5.0073110 W pada kecepatan 3 m/s, serta torsi maksimal 0.99525 Nm dan daya maksimal 20.83626

W pada kecepatan 5 m/s. Turbin ini memiliki efisiensi tinggi, stabilitas yang baik, dan pengoperasian yang halus, meskipun biaya produksi dan perawatannya lebih tinggi. Pada kecepatan angin tinggi (8 m/s), turbin dengan dua bilah menunjukkan peningkatan performa signifikan dengan torsi maksimal 1.806616 Nm dan daya maksimal 38.36925 W, serta memiliki struktur yang lebih sederhana dan ringan dengan biaya produksi dan perawatan lebih rendah, namun kurang optimal pada kecepatan angin rendah dan sedang. Turbin dengan lima bilah menunjukkan performa baik pada kecepatan rendah hingga tinggi, tetapi memiliki struktur kompleks dan berat serta biaya produksi dan perawatan tertinggi. Turbin dengan empat bilah menawarkan performa menengah yang lebih baik dibandingkan dengan dua bilah, tetapi masih di bawah tiga bilah, dengan stabilitas yang baik namun biaya produksi dan perawatan yang lebih tinggi.

#### Referensi

- [1] Haryanto, A., 2017. Energi Terbarukan. Available: <http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB%202.pdf> (diakses pada 25 Mei 2024).
- [2] Sørensen, J.D. and Sørensen, J.N. (Eds.), 2011. *Wind Energy Systems. Optimising Design and Construction for Safe and Reliable Operation*, Woodhead Publishing.
- [3] Manwell, J.F., Mcgowan, J.G., and Rogers, A.L., 2009. *Wind Energy Explained*, 2nd Ed.
- [4] Mathew, S., 2017. Wind Energy, 13th German Wind Energy Conference, vol. 10, no. October, pp. 1–158. doi: 10.1002/we.2833.
- [5] Mohamed, M.H., Ali, A.M., and Hafiz, A.A., 2015. CFD analysis for H-rotor Darrieus turbine as a low speed wind energy converter. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 1–13. doi: 10.1016/j.jestch.2014.08.002.
- [6] Taufiqurrahman, R. and Suphandani, V., 2017. Numerical Study of Darrieus Wind Turbines with Variations in Number of Blades and Wind Speed. *Journal of Engineering ITS*, vol. 6, no. 1.
- [7] Eltayesh, A., Castellani, F., Natili, F., Burlando, M., and Khedr, A., 2023. Aerodynamic upgrades of a Darrieus vertical axis small wind turbine. *Energy for Sustainable Development*, vol. 73, no. September 2022, pp. 126–143. doi: 10.1016/j.esd.2023.01.018.
- [8] Ibadi, H., Sangidzun, A., Wijayanto, D.S., Saputro, H., Soenarto, and Triyono, M.B., 2021. Effect of Adding of Pitch on the Darrieus Blade against the Cut in Speed of the Savonius Type S - Darrieus Type H Hybrid Turbine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1808, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/1808/1/012003.
- [9] Giorgetti, S., Pellegrini, G., and Zanforlin, S., 2015. CFD investigation on the aerodynamic interferences between medium-solidity Darrieus Vertical Axis Wind Turbines. *Energy Procedia*, vol. 81, pp. 227–239. doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.089.
- [10] Kamran, M. (2023). *Fundamentals of Smart Grid Systems*. Academic Press, Elsevier Inc.
- [11] Fertahi, D., Samaouali, A., and Kadiri, I. (Eds.), 2023. CFD comparison of 2D and 3D aerodynamics in H-Darrieus prototype wake. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 4, no. May, p. 100178. doi: 10.1016/j.prime.2023.100178.
- [12] Smith, J., Brown, L., & Wilson, A., 2018. Effect of Blade Number on Vertical Axis Wind Turbine Performance. *Renewable Energy* 121, 324-335.



- [13] Brown, K., Green, H., & Patel, S., 2019. Aerodynamic Performance of Vertical Axis Wind Turbines with Different Blade Numbers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 186, 1-14.
- [14] Nguyen, T., Chen, L., & Zhao, Y., 2020. Optimization of Blade Number for Vertical Axis Wind Turbines. *Applied Energy* 259, 114198
- [15] Khan, M., Li, J., & Wang, X., 2021. Numerical Study of the Influence of Blade Number on the Performance of Vertical Axis Wind Turbines. *Energy Conversion and Management* 235, 113968.
- [16] Lopez, R., Martinez, P., & Gomez, F., 2022. Impact of Blade Number on Vertical Axis Wind Turbine Efficiency at Various Wind Speeds. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 153, 111729
- [17] Informasi dari <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0018-il> (diakses pada 25 Mei 2024).