

PENGUNAAN SOLIDWORKS FLOW SIMULATION DALAM ANALISIS PENGARUH KELENGKUNGAN BILAH PADA TURBIN ANGIN SAVONIUS DI INDONESIA

*Septian Dwi Nugroho¹, Mohammad Tauviquirrahman², Muchammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: septiandwinugroho37@students.undip.ac.id

Abstrak

Konsumsi listrik Indonesia terus meningkat, mencapai 1.173 kWh pada 2022, dan diperkirakan naik 13,9% pada 2023. Saat ini, 85,9% kebutuhan listrik masih bergantung pada energi tidak terbarukan, sementara energi terbarukan hanya 14,1% [6]. Potensi energi terbarukan mencapai 3.686 GW, namun pemanfaatannya masih rendah, termasuk energi bayu yang hanya memanfaatkan 0,15 GW dari potensi 155 GW [5]. Kecepatan angin yang rendah menghambat pembangunan PLTB skala besar, tetapi turbin Savonius menjadi alternatif yang cocok untuk kondisi ini.

Penelitian ini menggunakan program Computer Fluid Dynamic (CFD) SolidWorks Flow Simulation untuk menganalisis performa tiga bentuk bilah turbin Savonius—classical, swirling, dan golden ratio—dalam kecepatan angin rendah. Hasil menunjukkan bahwa bilah golden ratio menghasilkan daya tertinggi pada kecepatan angin rendah (1,5–4,1 m/s), sedangkan bilah classical lebih optimal pada kecepatan angin tinggi (>4,1 m/s). *Coefficient of Power* (C_p) dan *Coefficient of Torque* (C_t) bilah golden ratio menurun setelah tip speed ratio (λ) 0,7, sedangkan bilah classical terus meningkat. Secara keseluruhan, bilah golden ratio efektif pada kecepatan angina rendah, dan bilah classical sesuai untuk kecepatan angina tinggi. Penelitian ini mendukung penerapan SolidWorks dalam analisis CFD untuk turbin Savonius dan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia.

Kata kunci: *cf*d; *coefficient of power*; *coefficient of torque*; *tip speed ratio*; (*tsr*); turbin savonius

Abstract

Indonesia's electricity consumption continues to increase, reaching 1,173 kWh in 2022, with an estimated rise of 13.9% in 2023. Currently, 85.9% of electricity needs rely on non-renewable energy sources, while renewable energy accounts for only 14.1% [6]. Renewable energy potential in Indonesia reaches 3,686 GW, but utilization remains low, including wind energy, which only utilizes 0.15 GW out of a 155 GW potential [5]. Low wind speeds hinder the development of large-scale wind power plants, but Savonius turbines are a suitable alternative for these conditions.

This study employs SolidWorks Flow Simulation to analyze the performance of three Savonius turbine blade shapes—classical, swirling, and golden ratio—under low wind speeds. Results indicate that the golden ratio blade achieves the highest power output at low wind speeds (1.5–4.1 m/s), while the classical blade performs more optimally at higher wind speeds (>4.1 m/s). The *Coefficient of Power* (C_p) and *Coefficient of Torque* (C_t) for the golden ratio blade decrease after a tip speed ratio (λ) of 0.7, whereas the classical blade continues to improve. Overall, the golden ratio blade is effective at low wind speeds, and the classical blade is suitable for higher wind speeds. This study supports the use of SolidWorks in CFD analysis for Savonius turbines and the advancement of renewable energy utilization in Indonesia.

Keywords: *cf*d; *coefficient of power*; *coefficient of torque*; *savonius turbine*; *tip speed ratio*; (*tsr*)

1. Pendahuluan

Listrik memiliki peran penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia, dengan konsumsi yang terus meningkat setiap tahun. Pada 2022, konsumsi listrik mencapai 1.173 kWh, dan diproyeksikan meningkat 13,9% pada 2023. Saat ini, 85,9% kebutuhan listrik di Indonesia masih bergantung pada sumber energi tidak terbarukan, sementara hanya 14,1% berasal dari energi terbarukan [6]. Pemerintah berkomitmen untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan hingga 23% pada 2025, namun realisasinya memerlukan dukungan kebijakan dan insentif yang konkret.

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar, mencapai 3.686 GW, namun baru 0,3% yang dimanfaatkan. Potensi energi bayu, sebagai salah satu energi terbarukan terbesar setelah energi surya, juga belum dimanfaatkan secara maksimal, dengan hanya 0,15 GW dari total potensi 155 GW yang digunakan [5]. Faktor utama rendahnya pemanfaatan energi bayu adalah rata-rata kecepatan angin yang rendah, yang menyulitkan pembangunan PLTB skala besar [8].

Meskipun demikian, turbin angin Savonius, jenis turbin VAWT yang cocok untuk kecepatan angin rendah, dapat menjadi alternatif. Turbin ini mampu menerima angin dari segala arah dan dapat berputar pada kecepatan rendah, menjadikannya cocok untuk kondisi angin di Indonesia [10]. Desain bilah cembung pada turbin Savonius memungkinkan konversi energi angin menjadi energi mekanik bahkan pada kecepatan angin rendah [3].

Penelitian terdahulu umumnya hanya menganalisis satu jenis kelengkungan bilah, seperti golden ratio [4], *Classical* [7] dan swirling [2]. Untuk mendapatkan gambaran efisiensi bentuk bilah turbin Savonius yang optimal, penelitian ini akan menggunakan SolidWorks Flow Simulation untuk memprediksi dan menganalisis distribusi tekanan, kecepatan aliran, dan performa bilah secara real-time tanpa perlu prototipe fisik [9].

Penelitian ini berjudul “Penggunaan SolidWorks Flow Simulation Dalam Analisis Pengaruh Kelengkungan Bilah Pada Turbin Angin Savonius Di Indonesia.” Dengan simulasi ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik bagi calon engineer dalam menerapkan SolidWorks untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida pada turbin angin ber-sumbu vertikal.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh kelengkungan bilah pada turbin angin Savonius.
2. Mengetahui desain bilah turbin angin Savonius yang memiliki efisiensi terbesar.
3. Mengetahui performa SolidWorks Flow Simulation.

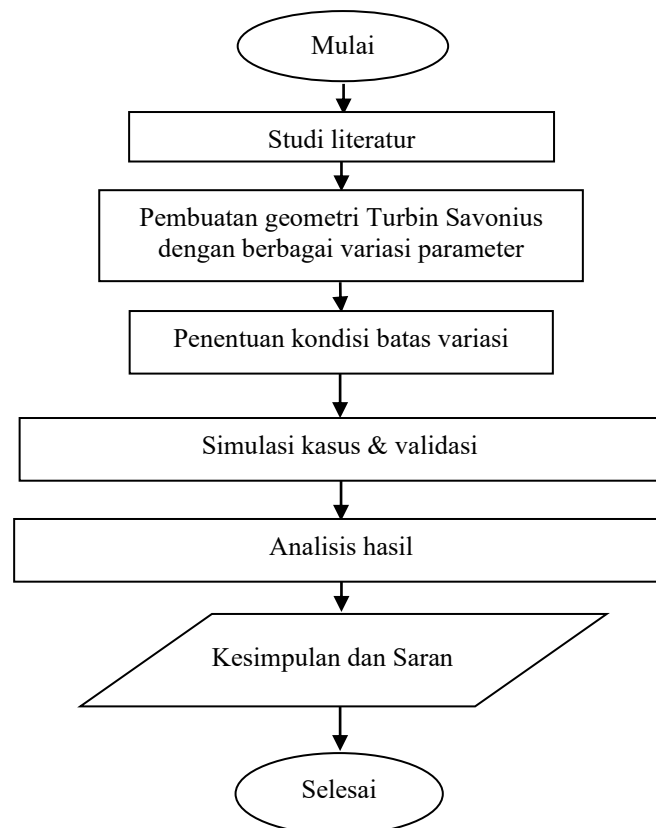
2. Bahan dan Metode Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur, yang mencakup pengumpulan sumber informasi terkait topik turbin savonius untuk tugas akhir. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber, seperti buku, tugas akhir sebelumnya, penelitian terkait, publikasi ilmiah, dan sumber internet yang terverifikasi. Berikut adalah judul-judul buku yang menjadi referensi utama.

Proses perancangan dan simulasi CFD turbin angin Savonius kali ini mengacu pada penelitian Abdallah dkk., (2023) dengan judul penelitian “The use of SolidWorks in the evaluation of wind turbines in Palestine” [1] dan “Performance 'S' Type Savonius Wind Turbine with Variation of Fin Addition on Blade” [7] sebagai validasi. Dari data hasil simulasi dianalisis bagaimana performa turbin Savonius pada masing-masing kecepatan angin dan kecepatan sudut putar. Pada Simulasi ini dilakukan dengan merata-ratakan hasil torsi dari kecepatan sudut putar clockwise dan anti-clockwise turbin. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

2.1. Alur Penelitian

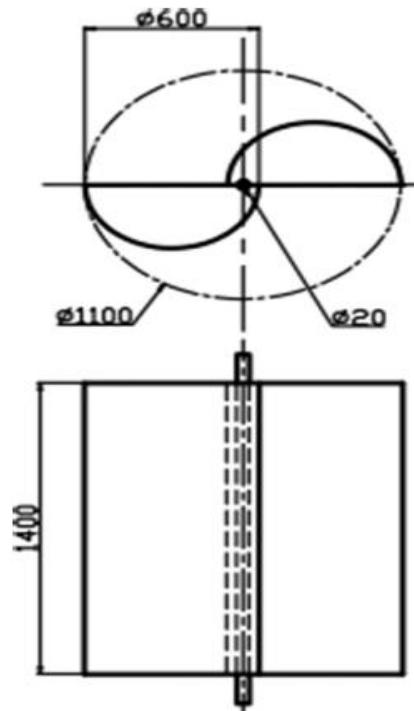
Rangkaian penelitian ini dilakukan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Parameter penelitian

Adapun parameter turbin umum turbin dapat dilihat pada Gambar 2 dan tabel 1.



Gambar 2. Desain Turbin Savonius

Tabel 1. Parameter turbin umum

Parameter	Values
Tinggi Tower Turbin	2500 mm
Main Shaf Diameter	20 mm
Diameter Rotor	1100 mm
Tinggi Bilah	1400 mm

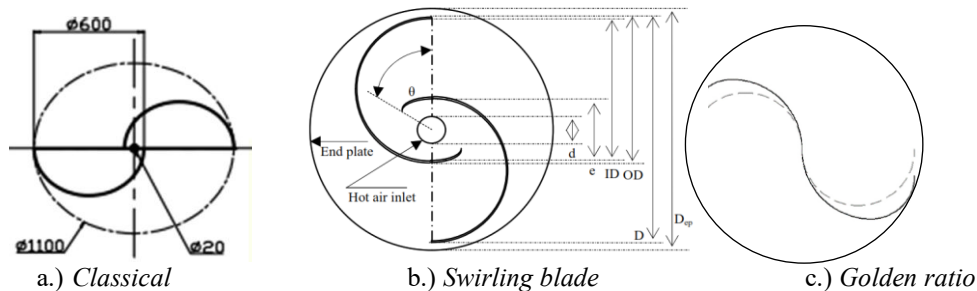
2.3. Variabel Penelitian

Variabel penelitian dapat dilihat sebagai berikut.

2.3.1. Variabel Bebas

a. Kelengkungan

Adapun variasi kelengkungan bilah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Jenis-jenis kelengkungan blade savonius

b. Kombinasi Kecepatan Angin dan Kecepatan Sudut

Kecepatan angin sangat mempengaruhi kecepatan sudut dari turbin. Sehingga kecepatan sudut dari simulasi ini bergantung pada nilai kecepatan angin. Untuk mengetahui kecepatan sudut yang tepat pada kecepatan angin tertentu digunakan referensi eksperimen sebelumnya yang dilakukan oleh Pamungkas et., al. [7] dengan nilai 1 kecepatan angin pada variabel bebas dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Tabel Kombinasi Kecepatan Angin dan Kecepatan Sudut

Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan sudut (rad/s)	Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan sudut (rad/s)
1,50	1,000	3,00	3,500
2,20	1,560	3,25	3,959
2,50	2,090	3,50	4,500
2,60	2,363	3,90	5,000
2,70	2,798	4,25	5,440
2,80	3,156	4,40	5,727
2,90	3,453	4,50	6,095

2.3.2. Variabel Terikat

Dalam kerangka penelitian ini, variabel terikat yang hendak diobservasi adalah sebagai berikut:

a. Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio (TSR) adalah rasio kecepatan linear bilah dengan kecepatan aliran fluida. TSR merupakan satuan tidak berdimensi yang memegang peran penting dalam perancangan suatu turbin. TSR dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = (\omega \cdot r) / v$$

Dengan,

λ = Tip Speed Ratio

ω = Kecepatan sudut dari rotor

r = Radius dari rotor

v = Kecepatan dari aliran fluida.

b. Daya

Daya adalah daya yang konversikan oleh turbin dari angin. Daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = \tau \cdot \omega$$

Dengan,

P = Daya yang dihasilkan turbin

τ = Torsi yang diterima turbin

c. Torsi

d. Coefficient of Power

Coefficient of Power (C_p) adalah rasio daya angin yang tersedia dengan daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin. Secara matematis, C_p dapat diekspresikan sebagai berikut.

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3} = \frac{\tau \cdot \omega}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}$$

Dengan,

C_p = Coefficient of Power

ω = Kecepatan sudut dari rotor

ρ = Massa jenis dari fluida

A = Luas bilah rotor

v = Kecepatan dari aliran fluida.

e. Coefficient of Torque

Coefficient of Torque (C_t) adalah rasio koefisien daya dengan TSR turbin. C_t dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$C_t = \frac{C_p}{\lambda}$$

2.3.3. Variabel Kontrol

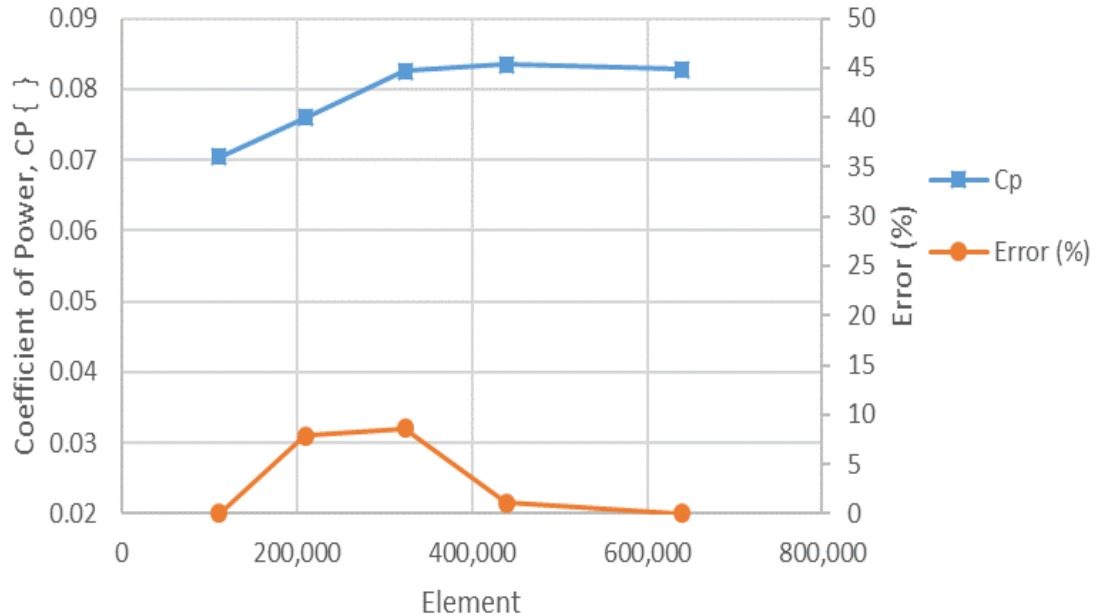
Dalam kerangka penelitian ini, variabel kontrol yang telah diatur adalah sebagai berikut:

- Fitur Karakteristik *Fluid Mesh Model*
- Diameter dan Tinggi Domain Bilah Turbin
- Kemiringan Bilah Turbin

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Grid Independence Test

Grid Independence Test dilakukan terlebih dahulu untuk memastikan bahwa simulasi turbin tidak terpengaruhi dari kualitas meshing. Langkah ini dilakukan untuk memastikan kepresisian dari simulasi, hal ini karena pada simulasi yang sama apabila dilakukan dengan meshing yang kualitasnya buruk dapat menyebabkan perbedaan nilai yang jauh berbeda. Dapat dilihat pada dan Gambar 4.

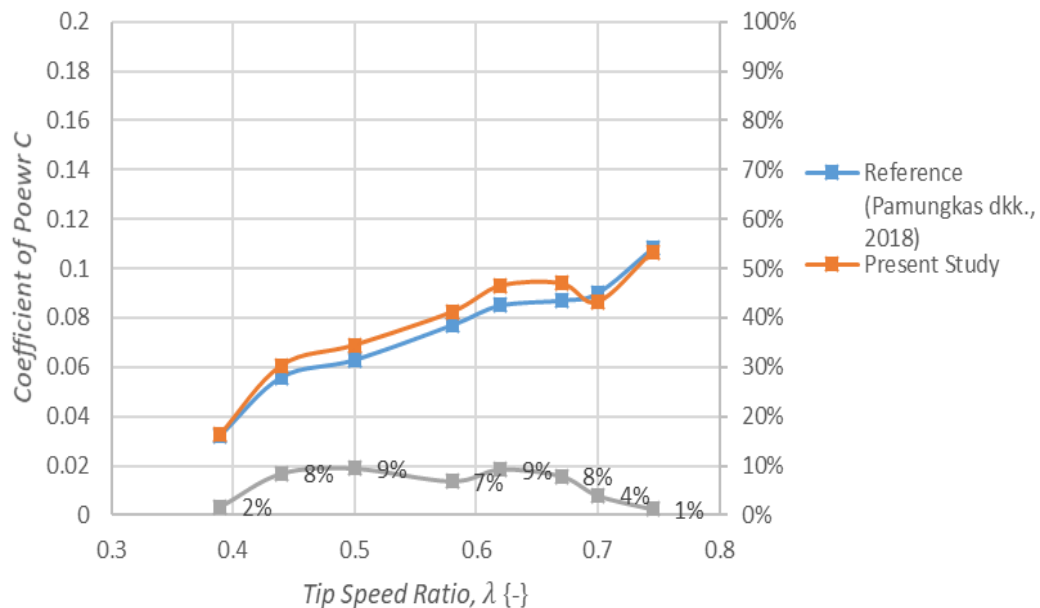


Gambar 4. Hasil *Grid Independence Test*

Terlihat pada grafik bahwa error dibawah 1% dibandingkan simulasi pada 600.000 sel, sehingga penelitian dapat dilanjutkan.

3.2. Validasi

Sebelum dilakukan penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan validasi pada penelitian sebelumnya untuk mengetahui keakuratan dari simulasi. Nilai yang digunakan dalam validasi adalah *Coefficient of Power* (CP) dan *Tip Speed Ratio* (TSR) dengan rujukan penelitian yaitu [7] Hasil validasi dapat dilihat pada Gambar 5.

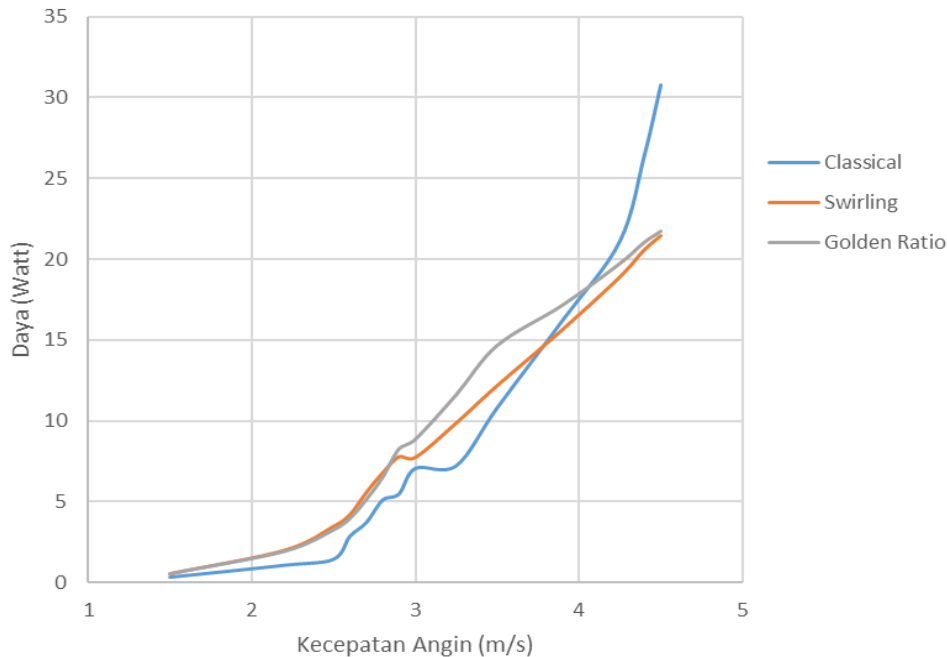


Gambar 5. Hasil Validasi dengan jurnal referensi

Nilai torsi yang didapat pada kedua parameter setelah diolah menggunakan cara pada bab tiga menghasilkan nilai C_p dan TSR seperti dibawah. Hasil simulasi dengan error 1% hingga 9% dapat dinyatakan valid karena berada di bawah 10%.

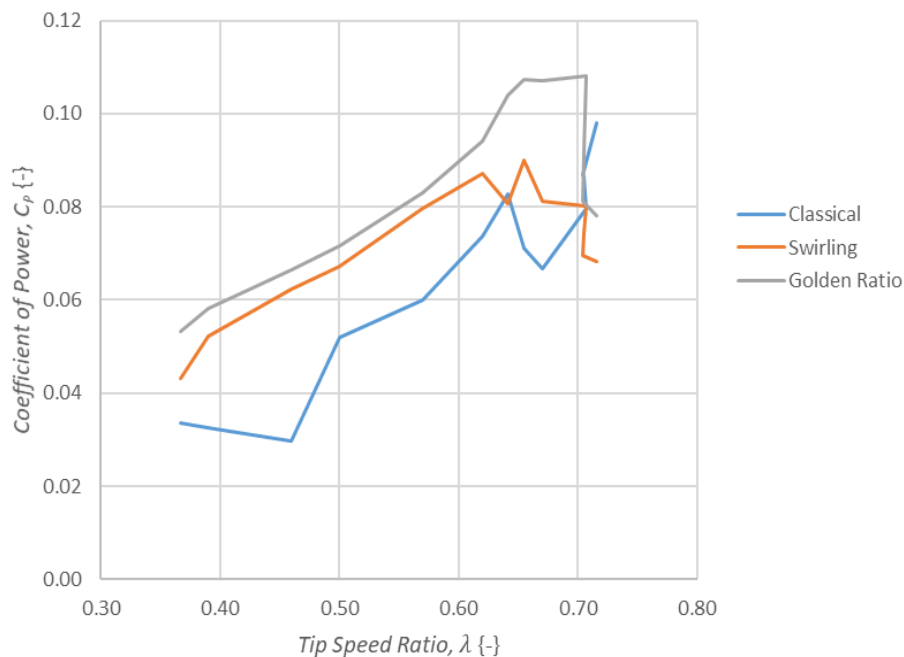
3.3. Hasil dan Pembahasan

Setelah mendapatkan data perhitungan parameter-parameter efesisiensi turbin, ketiga turbin diperbandingkan tiap parameternya menggunakan grafik untuk mengetahui performa turbin dan kemampuannya dalam mengonversi energi angin menjadi energi mekanik.



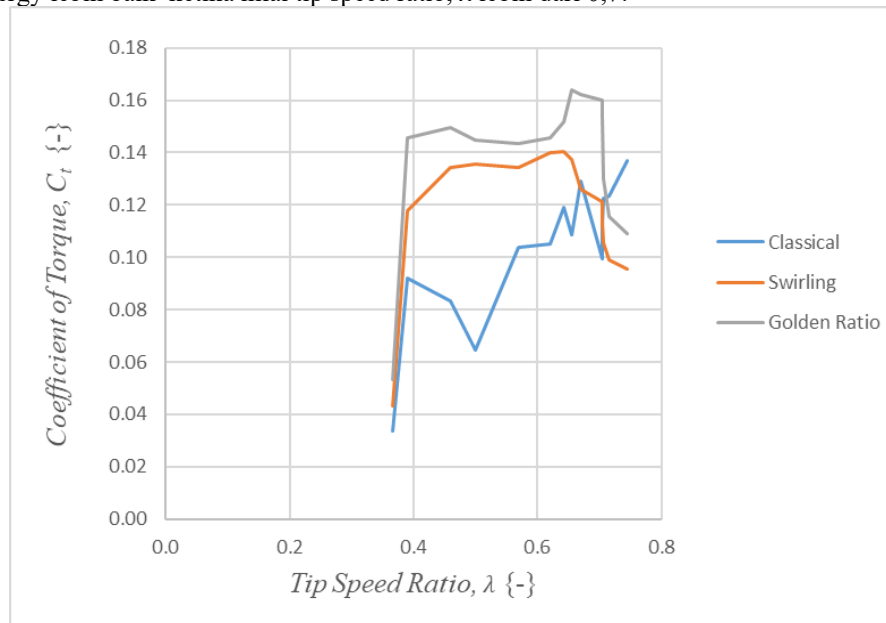
Gambar 6. Grafik Daya Vs Kecepatan Angin

Terlihat pada grafik bahwa daya yang diperoleh bilah golden ratio ketika kecepatan rendah (1,5 m/s – 4,1 m/s) daya yang dihasilkan adalah yang terbesar dibandingkan bilah lainnya. Sedangkan ketika kecepatan lebih besar dari 4,1m/s daya yang dihasilkan turbin bilah classical merupakan yang terbesar.



Gambar 7. Grafik Tip Speed Ratio Vs Coefficient of Power

Gambar 7 menunjukkan performa tiga bilah turbin, dari grafik terlihat jelas bahwa bilah *golden ratio* memiliki efisiensi konversi energy angin, *coefficient of power* terbesar daripada kedua bilah. Namun Efisiensi dari bilah *golden ratio* turun drastic setelah melewati nilai *tip speed ratio* (λ) 0,7 hal yang sama juga terjadi pada bilah *swirling* tetapi untuk bilah *classical* nilai dari C_p naik, menandakan bahwa bilah *classical* masih memiliki potensi dalam mengkonversi energy lebih baik ketika nilai *tip speed ratio*, λ lebih dari 0,7.



Gambar 8. Grafik *Tip Speed Ratio Vs Coefficient of Torque*

Gambar di atas menunjukkan kinerja tiga jenis bilah turbin. Dari grafik, terlihat bahwa bilah dengan desain *golden ratio* memiliki koefisien torsi (C_t) tertinggi dibandingkan kedua bilah lainnya. Namun, efisiensi bilah *golden ratio* mengalami penurunan drastis setelah melewati nilai *tip speed ratio* (λ) sebesar 0,7. Hal yang sama juga terjadi pada bilah *swirling*, sementara bilah *classical* justru menunjukkan peningkatan nilai C_t , yang mengindikasikan bahwa bilah *classical* masih memiliki potensi peningkatan performa pada nilai λ lebih dari 0,7.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan pada penelitian ini. Tiga jenis kelengkungan turbin savonius yaitu *classical*, *swirling*, dan *golden ratio* menggunakan hasil dari parameter uji dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. SolidWorks merupakan salah satu pilihan aplikasi CFD yang keakuratannya masih bisa digunakan untuk penelitian. Ditambah lagi dengan fitur *adaptive mesh* dimana *mesh* dapat di *refine* secara otomatis dibagian gradien aliran tinggi ketika simulasi, sehingga memudahkan pengguna dalam pembentukan *mesh*.
2. Secara keseluruhan, bilah *Golden Ratio* merupakan yang terbaik digunakan pada kecepatan rendah yaitu antara 1,5 m/s hingga 4,1 m/s. Sedangkan untuk kecepatan 4,1m/s keatas dianjurkan untuk memakai bilah *classical* agar mendapatkan torsi dan daya lebih besar.

5. Daftar Pustaka

- [1] Abdallah, A. et al., 2023. "The use of SolidWorks in the evaluation of wind turbines in Palestine."
- [2] Al-Faruk, A., Sharifian, A., 2016. "Geometrical optimization of a *swirling* Savonius wind turbine using an open jet wind tunnel." *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), pp. 2055-2064. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.005>.
- [3] Anjaneyulu, K. S. R., Ramgopal, M., 2009. "Design and Development of Savonius Vertical Axis Wind Turbine for Low Wind Speeds." *International Journal of Green Energy*, 6(4), pp. 329-344.
- [4] Blanco Damota, J., Caccia, C. G., Rodríguez García, J. D., Couce Casanova, A., Miranda, J. T., Lamas Galdo, M. I., 2022. "Analysis of a Nature-Inspired Shape for a Vertical Axis Wind Turbine." *Applied Sciences*, 12(14), p. 7018. <https://doi.org/10.3390/app12147018>.
- [5] Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), 2022. "Statistik Energi Terbarukan Indonesia 2022."
- [6] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 2022. "Rencana Umum Energi Nasional 2022."
- [7] Pamungkas, S. F. et al., 2018. "Performance 'S' Type Savonius Wind Turbine with Variation of Fin Addition on Blade." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288, 012132. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012132>.

-
- [8] Pristiandaru, D. et al., 2019. "The Potential of Wind Energy in Indonesia and the Selection of Suitable Wind Turbines for Urban Areas." *Energy Procedia*, 157, pp. 188-193.
 - [9] Rahman, M. et al., 2019. "A Review on Computational Fluid Dynamics Simulation of Wind Turbine Blade Aerodynamics." *Aerospace*, 6(6), p. 57.
 - [10] Vicente, P. G. et al., 2012. "Experimental Study of a Savonius Wind Rotor." *Energies*, 5(3), pp. 356-370. doi:10.3390/en5020356.