

SIMULASI DAN ANALISIS AERODINAMIKA TURBIN SAVONIUS

*Calvin Yudees Satriatama¹, Ismoyo Haryanto², Khoiri Rozi²

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: calvinsatriatama2002@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan energi listrik Indonesia merupakan yang paling krusial dalam keberlangsungan hidup masyarakat. Banyak alternatif pembangkit listrik selain bahan bakar fosil yang dikembangkan untuk membantu kontribusi kebutuhan listrik, salah satunya adalah turbin angin. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi potensi turbin angin vertikal (VAWT) tipe Savonius sebagai solusi energi terbarukan. Turbin tipe Savonius dipilih karena desainnya yang sederhana, dengan dimensi 0,6 m x 0,6 m. Proses perancangan dilakukan dengan simulasi berbasis CFD menggunakan Ansys, sebuah perangkat lunak yang mampu menganalisis aliran fluida dan interaksi angin dengan bilah turbin. Kondisi kecepatan yang digunakan adalah konstan di angka 8,8 m/s dan dilakukan untuk variasi kondisi TSR 0,8; 1; dan 1,2. Analisis CFD dalam penelitian ini meliputi evaluasi koefisien daya, torsi, dan kinerja aerodinamis turbin dalam berbagai kondisi angin dan geometri bilah yang berbeda. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi parameter optimal yang dapat meningkatkan efisiensi turbin, termasuk pengaturan sudut bilah dan rasio aspek. Simulasi ini juga memberikan gambaran tentang pola aliran udara di sekitar turbin, membantu dalam mengidentifikasi area yang mengalami turbulensi dan aliran stagnan yang memengaruhi performa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya dalam meningkatkan efisiensi turbin angin Savonius sebagai sumber energi listrik di daerah dengan kecepatan angin rendah hingga sedang.

Kata kunci : aerodinamika; analisis performa; rasio kecepatan ujung sudu; simulasi; turbin vertikal savonius

Abstract

Indonesia's electricity demand is one of the most crucial aspects for the sustainability of its society. Many alternative power generation methods besides fossil fuels have been developed to help meet electricity needs, one of which is wind turbines. This research aims to explore the potential of vertical axis wind turbines (VAWT) of the Savonius type as a renewable energy solution. The Savonius turbine was chosen due to its simple design, with dimensions of 0.6 m x 0.6 m. The design process was carried out using CFD-based simulation in Ansys, a software capable of analyzing fluid flow and the interaction between wind and turbine blades. The wind speed used in the simulation was kept constant at 8.8 m/s, with variations in Tip Speed Ratio (TSR) at 0.8, 1, and 1.2. The CFD analysis in this study includes evaluation of the power coefficient, torque, and aerodynamic performance of the turbine under various wind conditions and blade geometries. This approach enables the identification of optimal parameters to improve turbine efficiency, including blade angle configuration and aspect ratio. The simulation also provides insights into airflow patterns around the turbine, helping to identify regions of turbulence and stagnant flow that affect performance. The results of this study are expected to contribute to the development of renewable energy technologies, particularly in improving the efficiency of Savonius wind turbines as a source of electricity in areas with low to moderate wind speeds.

Keywords: aerodynamics; performance analysis; savonius vawt; simulation; tip speed ratio

1. Pendahuluan

Krisis energi di era modern mendorong pengembangan sumber energi terbarukan yang lebih bersih, salah satunya adalah energi angin. Turbin angin mampu mengubah energi kinetik angin menjadi listrik tanpa menghasilkan emisi, terutama efektif di wilayah dengan angin kencang dan stabil. Berdasarkan orientasi porosnya, turbin angin terbagi menjadi dua jenis: HAWT dan VAWT. Turbin vertikal tipe Savonius merupakan salah satu jenis VAWT yang bekerja berdasarkan prinsip gaya drag, dengan desain sudu berbentuk setengah lingkaran yang memungkinkan rotasi akibat perbedaan tekanan angin [1].

Kota Semarang, sebagai salah satu kota dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi di Provinsi Jawa Tengah, memiliki kebutuhan energi listrik yang besar. Berdasarkan data kependudukan, kota ini termasuk dalam lima besar kota terpadat di provinsi tersebut, dengan kepadatan lebih dari 4.000 jiwa per kilometer persegi. Sayangnya, kecepatan angin rata-rata di Kota Semarang hanya berkisar antara 2 hingga 4 meter per detik, tergolong dalam kategori sedang hingga rendah. Kondisi ini tidak ideal untuk penerapan turbin horizontal yang membutuhkan angin kuat dan stabil. Namun demikian, turbin vertikal seperti Savonius justru menawarkan solusi yang lebih cocok, karena mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah dan lebih fleksibel dalam hal penempatan. Turbin Savonius dapat diinstal di atas bangunan bertingkat, area atap, hingga trotoar di daerah pesisir, menjadikannya pilihan tepat untuk pembangkit listrik skala kecil seperti penerangan jalan atau sistem listrik rumah tangga off-grid. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis performa aerodinamis turbin Savonius melalui simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD), dengan harapan dapat memberikan alternatif solusi energi terbarukan yang aplikatif di wilayah perkotaan seperti Kota Semarang [2].

2. Landasan Teori

Turbin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin vertikal yang dirancang dan dipatenkan oleh insinyur asal Finlandia bernama Sigurd J. Savonius tahun 1921. Awal desain turbin ini dirancang dengan dua bilah berbentuk setengah silinder yang disusun dalam bentuk S. Perbedaan drag force menjadi prinsip kerja dari turbin ini karena drag coefficient pada permukaan cekung lebih besar dibandingkan dengan sisi cembung, drag force yang dialami oleh bagian cekung akan lebih besar daripada bagian yang lain. Perbedaan drag force inilah yang memutar rotor untuk menghasilkan listrik [3].

Meskipun turbin berbasis hambatan lebih sederhana dalam desain dan dapat bekerja di kondisi angin yang berubah-ubah, mereka cenderung kurang efisien dibandingkan turbin berbasis gaya angkat karena lebih banyak mengalami hambatan udara. Turbin Savonius bekerja dengan prinsip drag force ini yang dimana kalkulasi gaya ini dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti kecepatan, densitas angin, luas permukaan kontak sudu dengan angin serta koefisien drag yang berbeda-beda setiap geometri sudu. Munculnya gaya drag ini menyebabkan adanya torsi yang akan diteruskan ke generator melalui rotor turbin [4].

Torsi rotor Savonius adalah hasil perkalian momen inersia rotor dan percepatan sudut rotor, atau $T = J\alpha$.

Total torsi merupakan

$$T = 2RF_w \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin(\theta + \phi) d\theta \quad \text{Persamaan 1}$$

Dalam merancang turbin angin, penting untuk menyesuaikan kecepatan rotasi rotor dengan kecepatan angin di lokasi pemasangan. Hal ini dilakukan agar turbin dapat beroperasi pada nilai tip speed ratio (TSR) yang optimal, sehingga energi angin dapat dimanfaatkan secara maksimal. Jika rotor berputar terlalu lambat, sebagian angin akan melewati turbin tanpa menghasilkan energi. Sebaliknya, jika rotor berputar terlalu cepat, dapat terjadi dampak negatif seperti peningkatan kebisingan, getaran, hingga risiko kerusakan serius seperti runaway pada turbin [5]. Hasil penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh Newman dan Lak Ah Chai, [6] menyatakan bahwa jangkauan TSR untuk turbin Savonius berada di angka 0 sampai 1,7 dengan optimum koefisien daya (C_p) maksimum diantara 0,8 sampai 1. Bentuk matematis tip speed ratio (λ) merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial dari sudu turbin dengan kecepatan angin yang diformulasikan sebagai berikut [7].

$$\lambda = \frac{u}{v} = \frac{\omega R}{v} \quad \text{Persamaan 2}$$

Parameter keluaran yang akan dicantumkan pada penelitian ini adalah koefisien torsi dan koefisien daya yang akan menjadi pertimbangan dan analisis performa turbin dalam menghasilkan energi listrik untuk menyuplai berbagai kebutuhan nantinya. Persamaan matematis koefisien turbin merupakan perbandingan antara torsi yang dihasilkan oleh turbin dengan torsi maksimum yang dapat dihasilkan turbin sebagai berikut [8].

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho RAV^2} \quad \text{Persamaan 3}$$

Sama halnya dengan koefisien daya, merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan turbin pada kenyataannya dengan turbin maksimum yang dapat dihasilkan turbin sebagai berikut [9].

$$C_p = \frac{P_T}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \quad \text{Persamaan 4}$$

Dimana A adalah luas permukaan kontak yang didapat dari diameter dikalikan dengan tinggi turbin dan V adalah kecepatan *freestream* angin (kecepatan angin saat diposisi inlet dimana kecepatan angin tidak terdisturbensi oleh lingkungan)

3. Bahan dan Metode Penelitian

3.1 Pemodelan Geometri

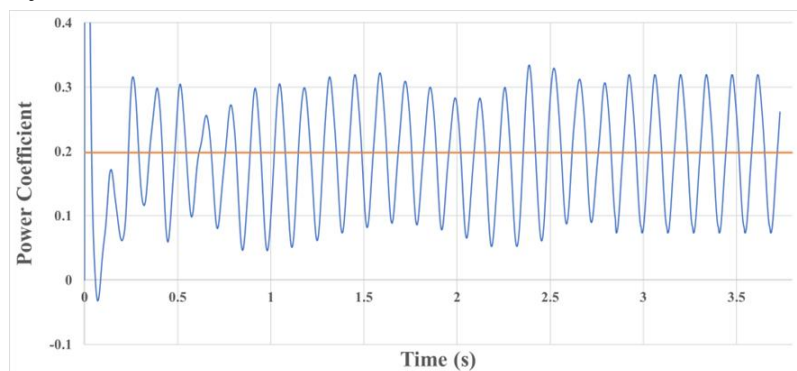
Perancangan dan simulasi sistem turbin angin Savonius dimulai dengan pemodelan 3D di SOLIDWORKS 2022, mencakup sudu, rotor serta *end disk* (*top end disk* dan *bottom end disk*). Geometri kemudian di-*export* menuju Ansys Fluent 2022 untuk dilakukan langkah selanjutnya yaitu *meshing* dan penyetelan *boundary condition*.

3.2 Pemodelan Meshing dan Boundary Condition

Pengaturan *domain* pada penelitian ini didasari oleh simulasi numerik yang dilakukan oleh Marzec, L. 2020 untuk menghindari perhitungan terpengaruh oleh *boundary condition* [10]. Dimensi *domain* adalah 20D ketinggian, 40D lebar, 20D untuk jarak *inlet* ke turbin dan 40D jarak *outlet* ke turbin. *Mesh* yang menjadi *input* pada Ansys adalah tipe Tetrahedron dan menggunakan beberapa tipe *body sizing* dan *face sizing*. *Mesh inflation* juga digunakan untuk area transisi dari fluida menuju turbin (khususnya untuk bagian ujung sudu turbin). Jumlah mesh total untuk perhitungan numerik ini adalah sekitar 15 juta. Pengaturan *boundary condition* diawali dengan pemilihan model turbulensi $k-\omega$ SST dan persamaan energi dipergunakan. Kecepatan angin diset pada fitur *inlet* dan mengubah kecepatan menjadi 8,8 m/s. Berikutnya, mengatur *cell zone condition* pada area *rotating* menjadi *mesh motion* dan mengatur kecepatan rotasi sedemikian sehingga TSR turbin adalah 0,8; 1; 1,2. *Boundary condition* sisi *turbine wall* diubah menjadi *rotating moving wall* dan mengatur *dynamic mesh* menjadi *deforming*. Langkah terakhir adalah mengubah aturan *solution method*, mengatur *output* keluaran simulasi menjadi hasil torsi dan *calculation activities*.

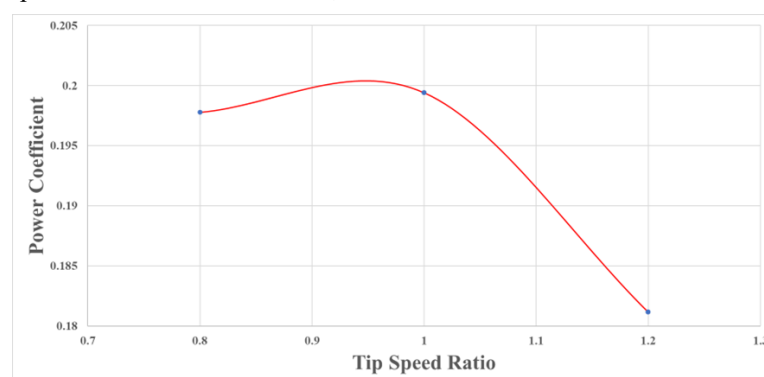
4. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini terdapat beberapa hasil simulasi menggunakan ANSYS Fluent dibandingkan dengan [1], dengan perbedaan $< 10\%$ menunjukkan simulasi ini berhasil.



Gambar 1. Grafik koefisien daya terhadap waktu turbin Savonius kondisi TSR 0,8

Simulasi turbin angin Savonius pada TSR 0,8; 1; dan 1,2 dengan kecepatan angin konstan menunjukkan tren yang konsisten dengan data numerik untuk hasil koefisien daya. Saat kondisi TSR 0,8 turbin memiliki koefisien turbin dengan jangkauan nilai 0,073 sampai 0,313 dengan nilai rata-rata di 0,197. Kondisi TSR 1 turbin memiliki nilai 0,05 sampai 0,34 dengan rata-rata nilai 0,2 dan terakhir pada kondisi TSR 1,2 menghasilkan nilai minimum 0,0013 dan nilai maksimum 0,361 serta rata-rata di 0,151. Terdapat penyimpangan besar di awal grafik dimana hal ini terjadi karena di awal putaran turbin masih dalam keadaan unsteady. Tren hasil rata-rata koefisien daya di atas menunjukkan nilai paling tinggi berada di TSR 1 dan mengalami penurunan drastis saat TSR 1,2.



Gambar 2. Grafik koefisien daya *output* terhadap variasi TSR turbin Savonius

Meski nilai daya yang dihasilkan masih rendah tetapi hasil ini sesuai dengan kondisi lapangan turbin Savonius yang sudah dimanfaatkan. Dimana turbin Savonius baik bekerja pada kecepatan rendah dan menghasilkan daya paling optimal di angka TSR 0,6 – 1. Penyebab utama daya yang dihasilkan pada simulasi ini sangat kecil adalah karena *input* kecepatan angin 8,8 m/s yang sangat kecil dan ini merupakan kecepatan angin rata-rata maksimum selama 1 tahun pada 2023. Faktor-faktor lain seperti karakteristik aerodinamis Savonius, dan keterbatasan simulasi turut memengaruhi hasil. Namun, berdasar penelitian ini mengindikasikan bahwa TSR 1 merupakan konfigurasi optimal, dan penelitian lebih lanjut disarankan untuk fokus pada pengembangan desain bilah dan dimensi yang lebih sesuai guna meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dipaparkan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut untuk menjawab rumusan masalah penelitian:

1. Simulasi turbin Savonius ($H=0,6$ m; $D=0,6$ m) pada kondisi TSR 1 menunjukkan performa paling optimal dalam menghasilkan daya yaitu di angka 29,96 Watt dibanding pada TSR 0,8 dengan daya 29,72 dan TSR 1,2 dengan daya 27,22. Ini menjadikannya konfigurasi optimal untuk kondisi angin rendah hingga sedang, seperti di Semarang.
2. Pemodelan sistem divalidasi dengan data Marzec (2020) menunjukkan tren kinerja yang sesuai, meskipun terdapat error pada nilai torsi. Kesesuaian tren TSR dan torsi output mengindikasikan bahwa pendekatan pemodelan cukup akurat untuk menganalisis pengaruh variasi *tip speed ratio*.

6. Daftar Pustaka

- [1] G. M. C. M. H. T. Ruben Maychel, "Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Likupang," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 1, pp. 15–17, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekthankom/article/download/23650/23302/48238>.
- [2] R. Putri *et al.*, "Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai Sumber Alternatif pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.30596/rele.v5i1.10788.
- [3] S. Mathew and G. S. Philip, *2.05 - Wind Turbines: Evolution, Basic Principles, and Classifications*, vol. 2. Elsevier Ltd., 2012.
- [4] M. Ó. Óskarsdóttir, M. M. Moh Saad, N. Asmuin, and M. Ó. Óskarsdóttir, "A general description and comparison of horizontal axis wind turbines and vertical axis wind turbines," *IOSR J. Eng. www.iosrjen.org ISSN*, vol. 04, no. 08, pp. 2250–3021, 2014, [Online]. Available: [https://skemman.is/bitstream/1946/19859/1/Margrét Óskarsdóttir.pdf%0Ahttp://www.iosrjen.org/Papers/vol4_issue8\(part-2\)/E04822730.pdf](https://skemman.is/bitstream/1946/19859/1/Margrét%20Óskarsdóttir.pdf%0Ahttp://www.iosrjen.org/Papers/vol4_issue8(part-2)/E04822730.pdf).
- [5] A. Tummala, R. K. Velamati, D. K. Sinha, V. Indrajaya, and V. H. Krishna, "A review on small scale wind turbines," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 1351–1371, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.027.
- [6] Y. Wu, W. Guang, R. Tao, J. Liu, and R. Xiao, "Dynamic mode structure analysis of the near-wake region of a Savonius-type hydrokinetic turbine," *Ocean Eng.*, vol. 282, no. March, p. 114965, 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.114965.
- [7] P. Breeze, "The Anatomy of a Wind Turbine," *Wind Power Gener.*, pp. 19–27, 2016, doi: 10.1016/b978-0-12-804038-6.00003-7.
- [8] M. Amiri, M. Kahrom, and A. R. Teymourtash, "Aerodynamic analysis of a three-bladed pivoted savonius wind turbine: Wind tunnel testing and numerical simulation," *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 12, no. 3, pp. 819–829, 2019, doi: 10.29252/JAFM.12.03.29324.
- [9] M. H. Pranta, M. S. Rabbi, and M. M. Roshid, "A computational study on the aerodynamic performance of modified savonius wind turbine," *Results Eng.*, vol. 10, no. February, p. 100237, 2021, doi: 10.1016/j.rineng.2021.100237.
- [10] Ł. Marzec, Z. Buliński, and T. Krysiński, "Fluid structure interaction analysis of the operating Savonius wind turbine," *Renew. Energy*, vol. 164, pp. 272–284, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.08.145.