

Investigasi Perbandingan Numerik dan Eksperimental Turbin Savonius Bilah Konvensional dan Bilah Ellips

Sri Kurniati¹, Sudirman Syam², Nursalim³, dan Wellem F. Galla⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nua Cendana

Copresponder Author : sri_kurniati@staf.undana.ac.id

Abstract — The Savonius turbine is a type of vertical wind turbine with a simple design and is easy to manufacture. This turbine has two semicircular blades that rotate in opposite directions when exposed to wind. Savonius turbines have been proven effective in producing wind energy at low wind speeds. This research aims to compare the performance of Savonius turbines with conventional blades and elliptical blades numerically and experimentally with various variations in wind speed. Numerical simulations were carried out using Computational Fluid Dynamics (CFD) software to predict the performance of the Savonius turbine at various wind speeds. Experiments were carried out in the laboratory to validate the numerical simulation results. Savonius turbines with conventional and elliptical blades were manufactured and tested in wind tunnels with various wind speeds. Experimental results show that the elliptical blade produces higher torque and power than the conventional blade at all wind speeds, which agrees with the numerical simulation results. That is due to the more aerodynamic elliptical shape, which allows the turbine to capture more wind energy. In addition, Savonius turbines with elliptical blades have more stable torque compared to Savonius turbines with conventional blades. This research shows that the Savonius turbine with elliptical blades is a better choice for wind energy applications at low wind speeds. This turbine has better performance and more stable torque than the Savonius turbine with conventional blades.

Keyword — VAWT, Power Coefficient, Conventional Blade, Elliptical Blade, CFD, Experimental, Wind Speed

Abstrak — Turbin Savonius adalah jenis turbin angin vertikal yang memiliki desain sederhana dan mudah dibuat. Turbin ini memiliki dua bilah setengah lingkaran yang berputar dengan arah yang berlawanan saat terpapar angin. Turbin Savonius telah terbukti efektif dalam menghasilkan energi angin pada kecepatan angin yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja turbin Savonius dengan bilah konvensional dan bilah ellips secara numerik dan eksperimental dengan berbagai variasi kecepatan angin. Simulasi numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk memprediksi kinerja turbin Savonius pada berbagai kecepatan angin. Eksperimen dilakukan di laboratorium untuk memvalidasi hasil simulasi numerik. Turbin Savonius dengan bilah konvensional dan bilah ellips dibuat dan diuji pada terowongan angin dengan berbagai variasi kecepatan angin. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa bilah ellips menghasilkan torsi dan daya yang lebih

tinggi dibandingkan dengan bilah konvensional pada semua kecepatan angin, sesuai dengan hasil simulasi numerik. Hal ini disebabkan oleh bentuk ellips yang lebih aerodinamis, yang memungkinkan turbin untuk menangkap lebih banyak energi angin. Selain itu, turbin Savonius dengan bilah ellips memiliki torsi yang lebih stabil dibandingkan dengan turbin Savonius dengan bilah konvensional. Penelitian ini menunjukkan bahwa turbin Savonius dengan bilah ellips adalah pilihan yang lebih baik untuk aplikasi energi angin pada kecepatan angin yang rendah. Turbin ini memiliki kinerja yang lebih baik dan torsi yang lebih stabil dibandingkan dengan turbin Savonius dengan bilah konvensional.

KATA KUNCI — VAWT, Koefisien Daya, Bilah Konvensional, Bilah Ellips, CFD, Eksperimen, Kecepatan Angin

I. PENDAHULUAN

Krisis energi global dan perubahan iklim mendorong pencarian sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan adalah energi angin [1], [2]. Energi angin merupakan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil karena terbarukan, tersedia, tersebar luas, dan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah [3].

Turbin angin secara umum diklasifikasikan menjadi dua keluarga: turbin angin sumbu horizontal atau *Horizontal Axial Wind Turbine* (HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal atau *Vertical Axial Wind Turbine* (VAWT). Klasifikasi ini mengacu pada posisi sumbu rotor relatif terhadap angin [4]. Dewasa ini, HAWT adalah konfigurasi yang paling populer karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi, namun hanya cocok untuk digunakan pada kondisi tertentu tempat dengan angin yang sangat kencang dan kencang serta daerah perkotaan [5]. Sebaliknya, VAWT bekerja dengan baik di tempat dengan kekuatan angin yang relatif rendah, dan angin yang konstan. HAWT sangat dikembangkan dan digunakan di semua pembangkit listrik tenaga angin skala besar peternakan [5].

Salah satu jenis turbin angin yang menarik adalah turbin Savonius. Turbin ini memiliki desain yang sederhana, mudah dibuat, dan dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah. Kelebihan ini membuatnya cocok untuk aplikasi di daerah dengan kecepatan angin rata-rata rendah, seperti di Indonesia. Turbin angin

Savonius, dengan desainnya yang sederhana dan mudah dibuat, menjadi salah satu pilihan yang menarik untuk memanfaatkan energi angin. Turbin angin Savonius memberikan sejumlah keuntungan, termasuk kemudahan konstruksi dan biaya rendah, tidak bergantung pada arah angin, dan torsi awal yang dapat diterima pada kecepatan angin rendah [6]–[8].

Penelitian terkait turbin Savonius terus berkembang, termasuk dalam desain bilahnya. Bilah konvensional berbentuk setengah silinder, sedangkan bilah elips memiliki bentuk yang lebih ramping. Desain bilah elips diyakini dapat meningkatkan kinerja turbin Savonius dengan mengurangi hambatan dan meningkatkan efisiensi [9]–[11]. Model blade Ellips (Elliptical) yang digunakan oleh [12] menunjukkan peningkatan koefisien daya sekitar 12,2%. Beberapa penelitian studi tentang kinerja turbin Savonius dilakukan dengan menggunakan numerik diantaranya, modifikasi turbin Savonius [13]–[16], perbandingan satu dan dua poros deflector [17], sementara dalam penelitian lain dilakukan dengan cara eksperimental [8], [18], [19].

Dalam paper ini, bertujuan untuk menyelidiki perbandingan kinerja turbin Savonius bilah konvensional dan bilah elips secara numerik dan eksperimental. Perbandingan ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang potensi bilah elips dalam meningkatkan kinerja turbin Savonius.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, kinerja turbin Savonius dengan bilah konvensional dan bilah elips dipelajari secara numerik dan eksperimental. Simulasi numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak Computational Fluid Dynamics (CFD). Eksperimen dilakukan di terowongan angin.

A. Simulasi Numerik

Simulasi numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis aliran fluida di sekitar turbin Savonius dengan bilah konvensional dan elips. Adapun tahapan simulasi numerik sebagai berikut:

a. Pre-Processing (Tahap Persiapan Awal)

Pada tahap preprocessing umumnya terdapat tiga tahapan yang harus diselesaikan adapun tiga tahapan, yaitu:

1. Pembuatan Geometry
2. Penentuan Domain
3. Pembuatan Mesh atau Grid

b. Processing (Solver)

Pada tahap processing diperlukan definisi persamaan yang akan digunakan pada simulasi, serta definisi kondisi batas (*Boundary Condition*) yang sesuai dengan kondisi aslinya. Karena model simulasi merupakan

kondisi ideal, sehingga terdapat beberapa variabel yang diasumsikan ideal.

Beberapa tahap pada solver meliputi;

• Set Up

Tahap dimana user perlu mendefinisikan kondisi batas dan jenis aliran dari simulasi. Pada tahap ini user perlu memahami fenomena dan kondisi fisika dari model simulasi yang digunakan. Beberapa pertimbangan yang perlu dilakukan oleh user pada tahap set up yaitu;

1. Model simulasi *compressible* atau *incompressible flow*
2. Jenis model simulasi (aliran fluida biasa, multifasa, pembakaran, heat transfer atau model yang lain)
3. Jenis aliran pada simulasi
4. Detail data yang akan diproses
5. Input material yang akan disimulasikan
6. Penentuan kondisi batas (Boundary Condition)

• Solution

Pada tahap ini, user perlu memahami beberapa case studi pada skema analisis CFD. Persamaan differential parsial (PDE) akan ditransformasi menjadi sekumpulan persamaan aljabar bergantung dari skema diskritisasi ruang (finite difference atau finite volume method) serta high/low order approximations. Skema diskritisasi waktu (explicit atau implisit), stabilitas, time-step control dan kriteria konvergensi.

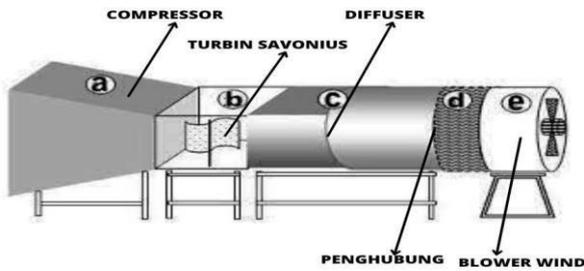
c. Post-processing. (Tahapan terakhir dalam CFD).

Mengeluarkan informasi yang diinginkan dari hasil simulasi dilakukan pada tahap ini. Hal-hal yang dapat dikeluarkan adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan properti turunan (fungsi aliran, vortisitas, dan lain-lain)
2. Perhitungan parameter integral (gaya, total massa, dan lain-lain)
3. Visualisasi (**1D data**: plot garis. **2D data**: streamlines atau kontur. **3D data**: isosurface, isovolumes, particle tracing, dan animasi.)
4. Data analisis (error).
5. Verifikasi dan validasi dari model CFD.

B. Pengujian Eksperimental

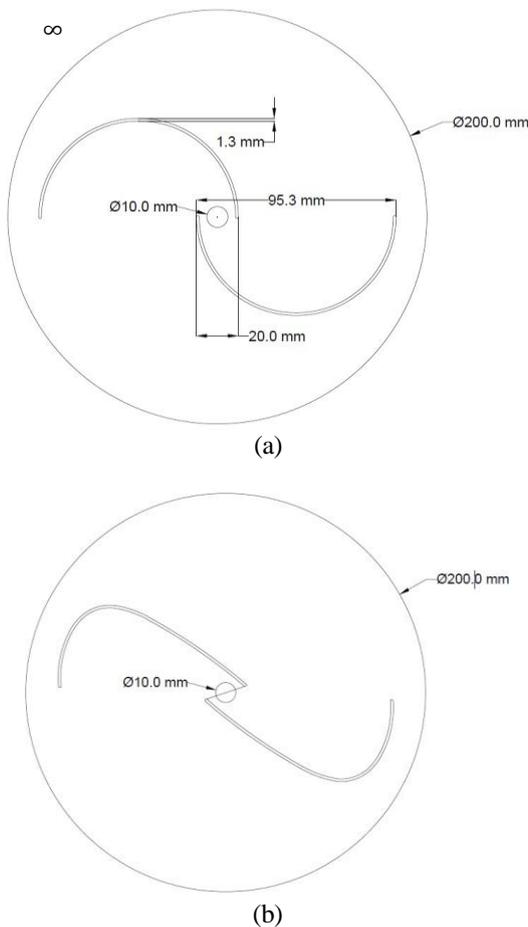
Pengujian eksperimental dilakukan untuk memvalidasi hasil simulasi numerik. Turbin Savonius dengan bilah konvensional dan elips diuji di terowongan angin (*Wind Tunnel*) untuk mengukur kinerja kedua turbin. Gambar 1. memperlihatkan prototipe pengujian *Wind Tunnel*.



Gambar 1. Desain Terowongan Angin (Wind Tunnel)

C. Desain Penelitian

Gambar 2 memperlihatkan desain turbin konvensional (klasik) dan turbin elips.



Gambar 2. Turbin Elips; (a) 2 sudu (b) 3 sudu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi numerik

Perangkat lunak ANSYS Fluent versi 15 digunakan untuk memecahkan persamaan Reynolds- Navier-Stokes tidak stabil (URAN). Penggabungan algoritma digunakan untuk menyelesaikan kecepatan tekanan kopling berbasis tekanan dengan menggunakan ANSYS Fluent. Diskritisasi spasial terhadap angin untuk algoritma orde kedua digunakan untuk semua

persamaan tekanan, momentum, dan turbulensi, sedangkan algoritma berbasis sel kuadrat terkecil digunakan gradien untuk mencapai akurasi tinggi. *Sliding mesh* digunakan untuk memodelkan putaran turbin terhadap waktu. Nilai moment (M) yang diperoleh digunakan untuk menghitung momen koefisien (Cm) sebagai berikut:

$$C_m = \frac{\text{Momen Pitching}}{\text{Momen Dinamik}} = \frac{M}{\frac{1}{4} \rho A_s d V^2} \quad (1)$$

Dimana:

C_m = moment koefisien

ρ = densitas udara (Kg/m³)

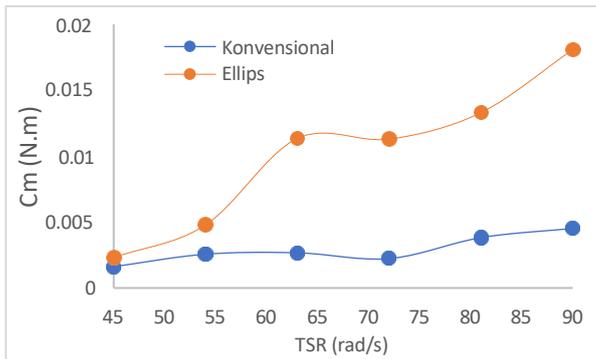
M = moment gaya pada blade (Nm)

A_s = Penampang swept Area (m²)

dV^2 = kecepatan fluida udara (m/s)

Koefisien momen (CM) merupakan parameter penting dalam memahami kinerja turbin angin Savonius. CM menandakan kemampuan turbin dalam menghasilkan torsi, yang pada akhirnya menentukan daya yang dihasilkan. CM didefinisikan sebagai rasio antara momen yang dihasilkan oleh turbin angin (*Momen pitching*) dan momen dinamik, seperti yang dirumuskan dalam Pers. 1. CM dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: TSR, kecepatan angin, bentuk, desain sudu, dan jumlah sudu. TSR yang lebih tinggi umumnya menghasilkan CM yang lebih tinggi dan meningkat seiring dengan kecepatan angin. Selain itu, jumlah sudu yang lebih banyak umumnya menghasilkan CM yang lebih tinggi, namun dapat meningkatkan biaya dan kompleksitas.

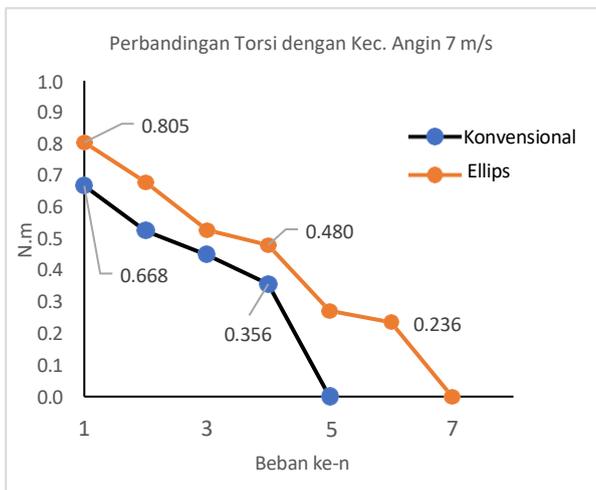
Selanjutnya, CM merupakan parameter penting dalam memprediksi kinerja turbin angin Savonius: CM dapat digunakan untuk memprediksi torsi dan daya yang dihasilkan turbin pada kondisi angin tertentu. CM dapat juga digunakan untuk mengoptimalkan desain turbin angin Savonius dengan memodifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya. Beberapa pengaruh CM pada kinerja turbin angin, diantaranya dapat menghasilkan daya dan efisiensi yang lebih tinggi. Dengan demikian, untuk memaksimalkan CM pada berbagai kondisi operasi, maka desain turbin angin Savonius harus dibuat seoptimal mungkin. Gambar 3 memperlihatkan hasil simulasi numerik perbandingan nilai CM berdasarkan variasi TSR terhadap variasi kecepatan angin antara turbin konvensional dengan turbin elips. Terlihat bahwa kedua gambar tersebut memperlihatkan perbandingan nilai Cm terhadap variasi TSR dan kecepatan menunjukkan bahwa turbin elips lebih tinggi dibanding dengan turbin klasik.



Gambar 3. Nilai Cm berdasarkan variasi TSR

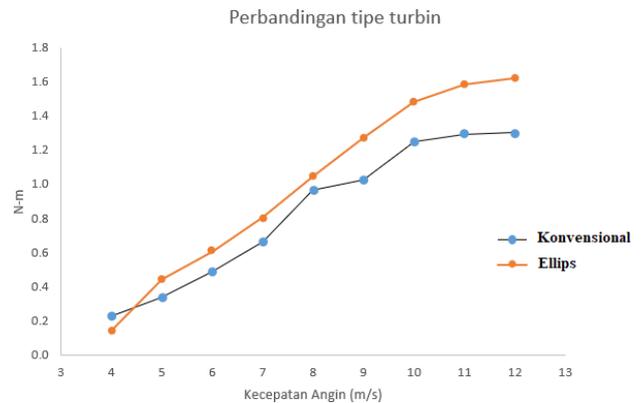
B. Pengujian Eksperimental

Gambar 4 memperlihatkan hasil pengujian torsi secara eksperimental untuk kedua turbin dalam kondisi beban yang bervariasi. Dalam pengujian ini diambil sampel pada kecepatan angin 7 m/s. Terlihat bahwa turbin ellips mempunyai torsi sebesar 0.805 N-m lebih tinggi dibanding dengan turbin konvensional sebesar 0.668. Demikian sebaliknya, pada beban yang sama (beban ke-4) diperoleh torsi terendah 0.480 N-m untuk turbin ellips, dan 0.356 N-m turbin Savonius. Selain itu, turbin ellips dapat mengangkat beban yang lebih tinggi dibanding dengan turbin konvensional pada kecepatan angin 7 m/s dengan torsi sebesar 0,24 pada beban ke-7.



Gambar 4. Perbandingan nilai torsi antara turbin Savonius dan Turbin Ellips dengan beban bervariasi

Selanjutnya, Gambar 5 memperlihatkan perbandingan torsi kedua turbin pada kecepatan yang bervariasi antara 4 – 12 m/s. Terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan angin, turbin ellips mengalami peningkatan torsi yang cukup signifikan dibanding dengan turbin konvensional. Hasil ini menunjukkan bahwa pengujian secara eksperimental sejalan dengan pengujian simulasi secara numerik seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 3, 4, dan 5.



VI. PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin Savonius dengan bilah elips memiliki kinerja yang lebih baik dari pada turbin Savonius dengan bilah konvensional. Hal ini disebabkan bilah elips memiliki profil aerodinamis yang lebih baik, sehingga dapat menghasilkan lebih banyak daya. Peningkatan kinerja turbin Savonius dengan bilah elips disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

- **Profil aerodinamis yang lebih baik:** Bilah elips memiliki profil aerodinamis yang lebih ramping daripada bilah konvensional. Hal ini memungkinkan bilah elips untuk menghasilkan lebih banyak lift dan lebih sedikit drag, sehingga menghasilkan lebih banyak daya.
- **Area permukaan yang lebih besar:** Bilah elips memiliki area permukaan yang lebih besar daripada bilah konvensional. Hal ini memungkinkan bilah elips untuk menangkap lebih banyak angin, sehingga menghasilkan lebih banyak daya.
- **Distribusi tekanan yang lebih merata:** Distribusi tekanan pada permukaan bilah elips lebih merata daripada pada bilah konvensional. Hal ini memungkinkan bilah elips untuk menghasilkan lebih banyak daya dan mengurangi getaran.

Selain itu, turbin elips memiliki beberapa kelebihan dibandingkan turbin konvensional, termasuk efisiensi yang lebih tinggi pada kecepatan angin rendah, kesederhanaan desain dan konstruksi, kemampuan bekerja pada berbagai kondisi angin, ketahanan terhadap gangguan, dan ramah lingkungan. Hal ini telah diungkapkan oleh peneliti sebelumnya melalui studi komputasi dan eksperimental. Menurut [9] berdasarkan karakteristik aliran kinerja turbin ellips lebih baik dibandingkan dengan desain turbin konvensional. Hal ini terutama disebabkan oleh hilangnya daya ujung bawah dan tertundanya pemisahan aliran yang memungkinkan turbin elips memperoleh kecepatan putaran lebih tinggi daripada turbin konvensional pada beban angin tertentu.

Sebelumnya, paper [12] juga telah melaporkan secara numerik bahwa turbin elips memiliki koefisien yang lebih tinggi dibandingkan turbin konvensional. Dengan demikian, kelebihan-kelebihan ini membuat turbin elips menjadi pilihan yang menarik untuk pembangkit listrik tenaga angin, terutama di daerah dengan angin yang tidak konsisten atau di daerah yang ingin menggunakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.

VII. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa turbin Savonius dengan bilah elips memiliki kinerja yang lebih baik dari pada turbin Savonius dengan bilah konvensional. Turbin elips memiliki beberapa kelebihan dibandingkan turbin konvensional, seperti efisiensi yang lebih tinggi pada kecepatan angin rendah, torsi yang lebih tinggi, ketahanan yang lebih baik terhadap angin kencang. Hal ini menjadikan turbin Savonius dengan bilah elips sebagai pilihan yang lebih baik untuk aplikasi energi terbarukan khususnya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan FST atas terlaksananya kegiatan penelitian ini berupa DANA DIPA PNBPN, dengan Perjanjian Kontrak No. No. SP-DIPA 023.17.2.677528/2023 Tanggal 30 November 2022, Tahun Anggaran 2023 dengan Kode Kegiatan 4471.DBA.004.051.B MAK 52511 Tahun Anggaran 2023

DAFTAR ACUAN

- [1] Mukhrijal, Teuku Zufadli, Andi Mulkan, "Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk Menggerakkan Pompa Air Di Areal Persawahan Desa Blang Krueng Kecamatan Baitussalam," *J. Ilm. Tek. Unida*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: 10.55616/jitu.v2i1.167.
- [2] Andi Mulkan, "Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik," *J. Ilm. Tek. Unida*, vol. 3, no. 1, pp. 74–83, 2022, doi: 10.55616/jitu.v3i1.308.
- [3] M. Hadi Ali, "Experimental Comparison Study for Savonius Wind Turbine of Two & Three Blades At Low Wind Speed," *Int. J. Mod. Eng. Res. www.ijmer.com*, vol. 3, no. 5, pp. 2978–2986, 2013.
- [4] I. Dobrev and F. Massouh, "Exploring the Flow around a Savonius Wind Turbine," *16th Int Symp Appl. Laser Tech. to Fluid Mech.*, no. July 2012, 2012.
- [5] R. Dr Gupta and K. K Sharma, "Flow Physics of a Three-Bucket Savonius Rotor using Computational Fluid Dynamics (CFD)," *Int. J. Res. Mech. Eng. Technol. www.ijrmet.com*, vol. 1, no. 1, pp. 46–51, 2011.
- [6] M. Zemamou, M. Aggour, and A. Toumi, "Review of savonius wind turbine design and performance," *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 383–388, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.047.
- [7] S. Subagyo and B. Basir, "Performance Analysis of Savonius Wind Turbine Without and With Vertical Stator Assembly," no. March, pp. 57–69, 2019, doi: 10.30536/p.siptekgan.2019.v23.07.
- [8] K. H. Wong *et al.*, "Experimental and simulation investigation into the effects of a flat plate deflector on vertical axis wind turbine," *Energy Convers. Manag.*, vol. 160, no. October 2017, pp. 109–125, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.01.029.
- [9] U. K. S. A. Banerjee, R. Sukanta, P. Mukherjee, "Unsteady Flow Analysis Around an Elliptic-Bladed Savonius-Style Wind Turbine," *Proc. ASME 2014 Gas Turbine India Conf. GTINDIA2014*, pp. 1–7, 2014.
- [10] P. K. Talukdar and V. Kulkarni, "Aerodynamic Performance Characterization of A Drag-Based Elliptical-Bladed Savonius Wind Turbine Rotor," *Proc. ASME 2021 Gas Turbine India Conf. GTINDIA 2021*, p. 164766, 2021, doi: 10.1115/GTINDIA2021-76001.
- [11] N. Alom, S. C. Kolaparthi, S. C. Gadde, and U. K. Saha, "Aerodynamic design optimization of elliptical-bladed savonius-style wind turbine by numerical simulations," *Proc. Int. Conf. Offshore Mech. Arct. Eng. - OMAE*, vol. 6, 2016, doi: 10.1115/OMAE2016-55095.
- [12] K. Kacprzak, G. Liskiewicz, and K. Sobczak, "Numerical investigation of conventional and modified Savonius wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 60, pp. 578–585, 2013, doi: 10.1016/j.renene.2013.06.009.
- [13] 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.
- [14] M. H. Pranta, M. S. Rabbi, and M. M. Roshid, "Results in Engineering 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.
- [15] O. S. Olaoye and O. Adeoye, "Numerical Investigation and Improvement of Aerodynamic Performance of Savonius Wind Turbine," *J. Energy Technol. Policy*, vol. 6, no. 6, pp. 34–43, 2016.
- [16] I. Marinić-Kragić, D. Vučina, and Z. Milas, "Computational analysis of Savonius wind turbine modifications including novel scooplet-based design attained via smart numerical optimization," *J. Clean. Prod.*, vol. 262, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121310.
- [17] M. M. H. Saikot, M. Rahman, M. A. Hosen, W. Ajwad, M. F. Jamil, and M. Q. Islam, "Savonius Wind Turbine Performance Comparison with One and Two Porous Deflectors: A CFD Study," *Flow, Turbul. Combust.*, vol. 111, no. 4, pp. 1227–1251, 2023, doi: 10.1007/s10494-023-00459-6.
- [18] S. A. Al-shammari, S. A. Al-shammari, S. Aljabair, and A. A. Karamallah, "Optimization and Experimental Investigation of Savonius Wind Turbine Performance at Low Wind Speed Condition," no. October, 2020.
- [19] K. A. H. Al-Gburi, B. A. J. Al-quraishi, F. B. Ismail Alnaimi, E. S. Tan, and A. H. S. Al-Safi, "Experimental and Simulation Investigation of Performance of Scaled Model for a Rotor of a Savonius Wind Turbine," *Energies*, vol. 15, no. 23, 2022, doi: 10.3390/en15238808