Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Online) 3025-2598 |

Artikel Penelitian

Pengaruh Penambahan *Fin* Pada *Blade* Dengan Variasi Sudut Kemiringan Terhadap Kinerja Turbin Savonius

Gusriwandi[a], Uyung Gatot S. Dinata[a], Aditya Pratama[a],

[a] Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manih, Padang, 25163, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 23 Juni 2025
Revisi Akhir: 28 Juni 2025
Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2025

KATA KUNCI

Renewable energy
Wind turbine
Savonius
Fin
CFD

KORESPONDENSI

E-mail: gusriwandi@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

Renewable energy has become a primary focus in addressing climate change and reducing dependence on fossil fuels. Wind turbines, particularly the Savonius turbine type, have significant potential for harnessing low-speed wind energy, although their efficiency still requires improvement. This study aims to enhance the efficiency of Savonius turbines by adding a fin to the concave blade and varying its inclination angle (0°, 15°, 30°, 45°, and 60°). The research methods included simulations using ANSYS software and experimental testing in a wind tunnel with wind speeds ranging from 3 to 5 m/s. The performance parameters observed were the power coefficient (Cp) and tip speed ratio (TSR). The results indicate that a fin inclination angle of 15° produced optimal performance, with Cp 0.2916 and TSR 0.3928 in CFD simulations, and Cp 0.2379 and TSR 0.7434 in experimental tests at a wind speed of approximately 4.1 m/s. The addition of a fin at this angle effectively improves the efficiency of Savonius turbine.

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber-sumber terbarukan diantaranya geothermal, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran serta terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Energi terbarukan memanfaatkan sumber tenaga ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim serta pemanasan global[1]. Dalam upaya memerangi perubahan iklim dan ketergantungan kita pada bahan bakar fosil, energi terbarukan telah mendapat perhatian besar dalam beberapa dekade terakhir. Pemanfaatan teknologi turbin angin merupakan salah satu cara utama untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan energi angin. Untuk mengubah energi angin dari energi kinetik menjadi energi listrik, beberapa model turbin angin telah dikembangkan[2].

Turbin angin dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu turbin angin sumbu vertikal atau VAWT serta turbin angin sumbu horizontal atau HAWT. HAWT adalah yang paling umum dan umumnya lebih efisien daripada VAWT, setidaknya untuk angin dengan kecepatan tinggi. Namun, kinerjanya buruk dalam angin yang tidak stabil atau arah yang tidak menentu. Di sisi lain, turbin angin savonius, yang diklasifikasikan sebagai VAWT memiliki konstruksi sederhana dan mulai berputar pada kecepatan angin rendah. Turbin ini dikembangkan dan dipatenkan oleh S.J. Savonius pada tahun 1922[3].

https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.44-52.2025

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

Turbin savonius dapat menangkap energi angin dengan kecepatan rendah dan dari segala arah karena bentuk bilahnya yang mirip dengan huruf "S". Turbin jenis ini berfungsi berdasarkan prinsip perbedaan gaya hambat yang dihasilkan oleh aliran angin pada masing-masing sudu turbin, yaitu sudu cembung (*advancing blade*) dan sudu cekung (*returning blade*). Perbedaan gaya drag ini menyebabkan rotor turbin berputar karena terjadinya perbedaan torsi. Putaran rotor dari turbin menjadi energi listrik diubah oleh generator[4].

Meskipun turbin savonius memiliki beberapa keunggulan seperti kemampuan untuk beroperasi pada kecepatan angin rendah, tetapi memiliki efisiensi yang relatif rendah dibandingkan dengan turbin angin horizontal yang lebih umum. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja turbin savonius.

Untuk mencapai kinerja turbin angin savonius yang baik, para peneliti telah melakukan berbagai upaya untuk mempelajari pengaruh parameter desain dan parameter geometri. Parameter yang dikembangkan seperti *tip speed ratio*, *aspect ratio*, *overlap ratio*, jumlah sudu, *end plate*, *blockage ratio*, *Reynold number*, *gaya drag* dan *lift*[5]. Kemudian adanya penelitian dengan menambahkan *fin* pada sudu cekung tetapi masih terbatas. Penambahan *fin* pada *blade* turbin savonius berfungsi untuk mengisi ruang di bilah (untuk mengarahkan aliran angin)[6].

Penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan menambahkan *fin* pada *blade* kemudian diatur sudut kemiringannya. Jumlah *fin* yang ditambahkan sebanyak 1 buah pada masing-masing *blade* dan juga telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan memvariasikan jumlah *fin* dan didapatkan hasil bahwa dengan penambahan 1 buah *fin* pada masing-masing *blade* tersebut lebih maksimal dalam meningkatkan kinerja turbin savonius. Dengan memahami bagaimana penambahan *fin* dengan variasi sudut kemiringannya pada *returning blade* dapat mempengaruhi efisiensi dan daya hasil turbin savonius serta dapat dikembangkan desain yang lebih baik dan lebih efisien untuk turbin ini. Pada penelitian ini dilakukan simulasi komputer menggunakan *software* CFD *(Computational Fluid Dynamics)* dan eksperimental untuk mengamati pengaruh variasi sudut kemiringan *fin* terhadap efisiensi pada model turbin savonius.

Penelitian ini diharapkan memiliki potensi untuk meningkatkan penggunaan turbin savonius dalam aplikasi energi terbarukan dan juga dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi turbin angin vertikal, khususnya dalam hal meningkatkan efisiensi dan memaksimalkan pemanfaatan sumber daya energi angin. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut dalam desain turbin angin vertikal yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Turbin Angin

Turbin angin merupakan mesin fluida yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik dengan memanfaatkan energi angin. Pada awalnya, turbin angin dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan petani, seperti penggilingan padi dan irigasi. Turbin angin tradisional, yang dikenal sebagai *windmill*, banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya[7].

Prinsip dasar yang memungkinkan turbin angin berputar pada porosnya adalah interaksi antara vektor gaya angkat *(lift)* dan gaya hambat *(drag)* yang dihasilkan oleh bentuk aerodinamis penampang *blade*. Ketika angin mengenai sebuah *airfoil* dari arah depan, gaya *lift* (L) dan gaya *drag* (D) terbentuk sebagai respons aerodinamis. Besarnya gaya *lift* dan *drag* dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk geometri *blade,* kecepatan angin, dan sudut datang angin terhadap garis utama *blade*. Perubahan pada gaya *lift* dan *drag* ini secara langsung memengaruhi pergerakan dan efisiensi turbin angin[7]. Turbin angin dapat diklasifikasikan menjadi 2 kategori yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* dan *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT).*

Meskipun pembangunan turbin angin belum mampu menyaingi pembangkit listrik konvensional seperti PLTD atau PLTU, pengembangannya terus dilakukan oleh para ilmuwan. Hal ini disebabkan oleh potensi krisis sumber daya alam tak terbarukan, seperti batu bara

 https://doi.org/10.25077/ inomet.3.1.44-52.2025

dan minyak bumi, yang semakin berkurang di masa mendatang[7].

2.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

VAWT (vertical axis wind turbine) adalah turbin angin yang porosnya tegak lurus dengan arah aliran angin. Jenis turbin ini meliputi model savonius dan darrieus. Keunggulan utama turbin ini adalah kemampuannya untuk berputar pada kecepatan angin rendah berkat torsi yang tinggi, selain itu perawatannya juga lebih mudah dan biaya produksinya lebih rendah. Namun, kekurangannya dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal adalah daya yang dihasilkan dan efisiensinya yang lebih rendah[4].Turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat pada gambar 2.1

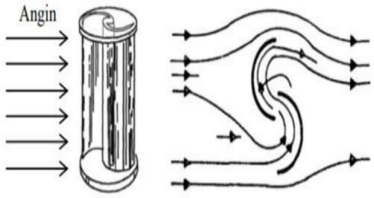


Gambar 1. Turbin Angin Sumbu Vertikal [8]

2.3. Turbin Savonius

Pada tahun 1922, ilmuwan *Fin*landia Sigurd J. Savonius menciptakan turbin angin tipe Savonius. Turbin ini termasuk dalam kategori VAWT, yang memiliki bilah berbentuk setengah silinder. Kedua bilah turbin Savonius, yang berbentuk setengah lingkaran, disusun membentuk huruf "S". Sisi cembung turbin ini disebut advancing blade, sementara sisi cekungnya disebut returning blade. Bagian dari sudu returning blade berfungsi untuk menerima dan mengubah energi dari fluida, kemudian mengubah energi tersebut menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan rotor[4].

Kelebihan utama turbin savonius terletak pada torsi awal yang sangat tinggi dan desainnya yang sederhana. Namun, kekurangannya meliputi berat material yang digunakan dan tantangan dalam merancang rotor agar mampu menahan kecepatan angin yang tinggi. Meskipun demikian, kelemahan ini dapat diatasi dengan perancangan yang tepat, asalkan efisiensi turbin cukup tinggi untuk mendukung penerapan teknik yang diperlukan[9]. Turbin savonius dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. Turbin Savonius [10]

2.4. Torsi

Torsi juga dikenal sebagai momen gaya, adalah keefektifan gaya yang bekerja pada suatu benda untuk memutarnya terhadap suatu titik poros tertentu. Torsi, yang sama dengan gaya pada gerak translasi, menunjukkan kemampuan gaya untuk membuat benda melakukan gerak rotasi[15]. Torsi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

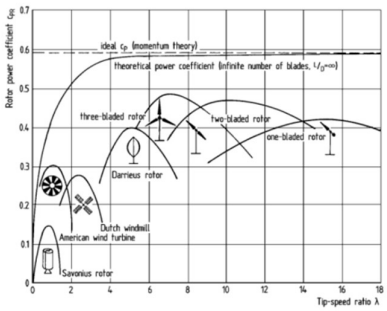
$$T = F.r \quad (1)$$

2.5. Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio (TSR) adalah perbandingan antara kecepatan ujung bilah turbin dengan kecepatan aliran fluida (seperti angin). Nilai TSR mempengaruhi kecepatan putaran turbin pada kecepatan angin tertentu. Turbin angin yang memanfaatkan gaya angkat *(lift)* umumnya memiliki nilai TSR yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin yang bergantung pada gaya hambat *(drag)*. Hal ini karena turbin yang menggunakan gaya angkat biasanya berputar lebih cepat dan lebih efisien pada kecepatan angin yang sama[10]. Nilai dari *tip speed ratio* (TSR) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$TSR = \frac{\omega.r}{U} \quad (2)$$

Karena karakteristik tiap turbin berbeda-beda maka perbandingan nilai daya terhadap nilai TSR juga berbeda sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 3. Tip Speed Ratio VS *Coefficient of power* Turbin Angin [16]

2.6. Daya Mekanik

Daya mekanik pada turbin angin adalah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin dari energi kinetik angin. Daya mekanik ini digunakan untuk memutar poros, yang kemudian dapat diubah menjadi energi listrik oleh generator. Nilai dari daya mekanik dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_m = T.\omega \quad (3)$$

2.7. Daya Angin

Daya angin adalah daya yang dihasilkan oleh angin setiap luasan. Dengan kata lain, daya angin adalah angin yang bergerak dalam satuan waktu[17]. Daya angin dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_w = \frac{1}{2}.\rho.A.U^3 \quad (4)$$

2.8. Coefficient Of Power

Coefficient of Power (Cp) adalah perbandingan antara daya mekanik yang dihasilkan oleh sudu turbin angin dengan daya yang terkandung dalam aliran angin yang mengenai sudu turbin tersebut[10]. Nilai dari *Coefficient of Power* (Cp) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_p = \frac{T\,\omega}{\frac{1}{2}.\rho.A.U^3} \quad (5)$$

$$C_p = TSR.Ct \quad (6)$$

2.9. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai komputasi dinamika fluida dibagi atas dua istilah yaitu *computational* dan *fluid dynamics*. *Fluid dynamic* menjelaskan bahwa kita membahas tentang dinamika fluida seperti sifat-sifat aliran fluida dan transfer panas, sedangkan istilah *computational* menjelaskan bahwa bahasan kita tentang dinamika fluida ini dihitung dan disimulasikan dengan perangkat komputer dengan program metode numerik. Simulasi ini menyelesaikan persamaan-persamaan fisis yang mengatur fenomena pergerakan fluida dimana geometrinya telah dimodelkan dengan bantuan komputer. Pemanfaatan CFD ini bisa mengurangi biaya untuk pembuatan prototipe yang akan diuji dan tidak memerlukan waktu yang lama dalam pengujian prototipe.

Persamaan fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan differensial parsial (PDE:*Partial Differential Equation*) yang mana mempresentasikan hukum kekekalan massa, momentum, dan energi. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

1. Persamaan konversi massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

2. Persamaan momentum

Komponen sumbu x

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r}\left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\right) \quad (8)$$

Komponen sumbu y

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r} + \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\right) \quad (9)$$

Komponen sumbu z

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r}\left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{sz}}{\partial z}\right) \quad (10)$$

Ada tiga tahapan yang harus dilakukan ketika melakukan simulasi CFD, yaitu:

a) *Pre-processing*

Pre-processing merupakan tahap pertama dalam membangun dan menganalisis model CFD, yang melibatkan beberapa langkah teknis. Langkah pertama adalah membuat model menggunakan perangkat lunak *CAD (Computer-Aided Design)*. Selanjutnya, *mesh* yang sesuai dengan geometri model dibangun untuk mendiskritisasi domain aliran fluida. Setelah *mesh* terbentuk, kondisi batas serta sifat-sifat fluida, seperti viskositas, densitas,

 https://doi.org/10.25077/ inomet.3.1.44-52.2025

dan kecepatan aliran, diterapkan pada model untuk mempersiapkan simulasi. Tahap ini sangat penting untuk memastikan bahwa analisis CFD dilakukan dengan akurat dan efisien.[18].

b) *Processing*

Solvers dalam CFD (program inti pencari solusi) berfungsi untuk menghitung kondisi-kondisi yang telah diterapkan selama tahap *pre-processing*. Solvers ini memecahkan persamaan diferensial parsial (PDE) yang menggambarkan aliran fluida, seperti persamaan kontinuitas, momentum, dan energi, berdasarkan *mesh* dan kondisi batas yang telah ditentukan. Hasil dari perhitungan *solver* adalah distribusi variabel aliran fluida, seperti kecepatan, tekanan, dan suhu, yang menggambarkan perilaku sistem fluida yang dianalisis.

c) *Post processing*

Post-processing adalah tahap terakhir dalam analisis CFD, di mana data hasil simulasi yang diperoleh dari *solver* diorganisir dan diinterpretasikan. Langkah ini mencakup visualisasi data dalam bentuk gambar, kurva, grafik, atau animasi untuk mempermudah pemahaman tentang perilaku fluida dalam model yang dianalisis. Pada dasarnya CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga)[18].

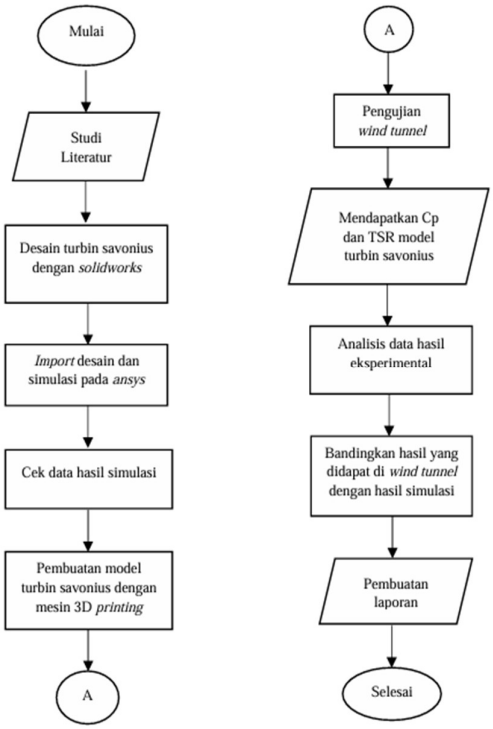
2.10. Model Turbulensi K-epsilon ((k-ε)

Model turbulensi k-epsilon (k-ε) merupakan salah satu pendekatan yang paling sering diterapkan dalam Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk mensimulasikan karakteristik aliran rata-rata pada kondisi turbulen. Model ini menggunakan dua persamaan transpor (persamaan diferensial parsial atau PDE) untuk menggambarkan fenomena turbulensi secara umum. Tujuan utama pengembangan model k-ε adalah menyempurnakan pendekatan model panjang pencampuran serta menyediakan alternatif terhadap skala panjang turbulen yang didefinisikan secara aljabar pada aliran dengan tingkat kompleksitas sedang hingga tinggi[19].

Variabel pertama yang dimodelkan adalah energi kinetik turbulen (k), sedangkan variabel kedua adalah laju disipasi energi kinetik turbulen (ε). Model k-ε menitikberatkan pada mekanisme yang memengaruhi energi kinetik turbulen, sehingga memiliki keunggulan generalisasi dibandingkan model panjang pencampuran. Asumsi utama yang digunakan dalam model ini adalah bahwa viskositas turbulen bersifat isotropik, artinya rasio antara tegangan Reynolds dan laju deformasi rata-rata dianggap seragam di semua arah[19]

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian simulasi serta eksperimental. Pertama dilakukan simulasi dengan menggunakan Computation Fluid Dynamic (CFD) dan kemudian dilakukan eksperimental dengan menggunakan terowongan angin (wind tunnel).Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4. Diagram alir penelitian

3.1. Model Turbin Angin Savonius

3.1.1. Spesifikasi Turbin Savonius

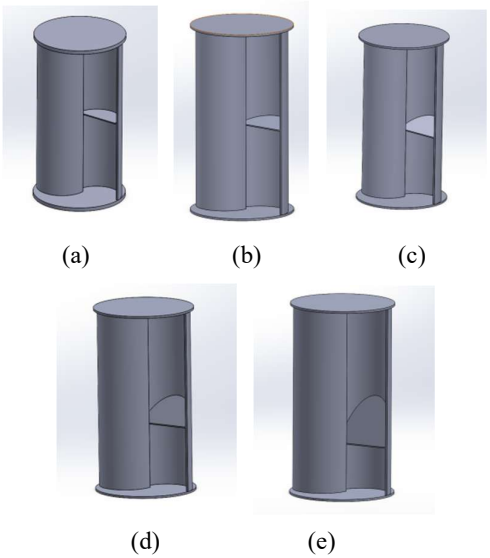
Berikut merupakan spesifikasi dari turbin savonius yang dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi Turbin Savonius

Spesifikasi	
Overlap ratio	0.2
Jarak celah antar sudu	7.5 mm
Diameter end plate (D)	100 mm
Diameter sudu (d)	50 mm
Tinggi turbin (H)	180 mm
Tebal sudu	3 mm

3.1.2. Desain Turbin Savonius

Model dari turbin angin savonius beserta *fin* ini dibuat dengan menggunakan *software Solidworks*. Kemudian dilakukan *assembly fin* pada sudu cekung turbin savonius dan nantinya *fin* tersebut akan diatur sudut kemiringannya. Model turbin angin savonius yang telah dipasangkan *fin* dapat dilihat pada gambar 5.



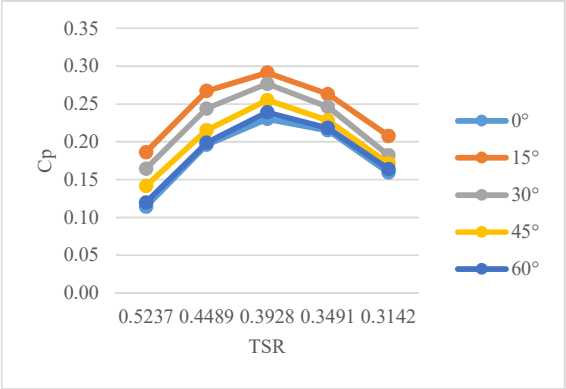
Gambar 5. *Fin* pada kedua *Blade* dengan Kemiringan Sudut (a) 0º, (b) 15º, (c) 30º, (d) 45º, (e) 60º

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Simulasi

4.1.1. Grafik Cp vs TSR

Berikut ini merupakan grafik Cp terhadap TSR pada model turbin angin savonius dengan 5 variasi sudut kemiringan *fin* yang dapat dilihat pada gambar 6.



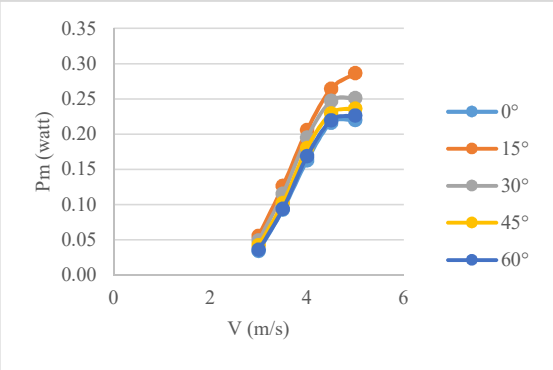
Gambar 6. Grafik Cp vs TSR Simulasi

Pada gambar diatas merupakan grafik hubungan antara Cp terhadap TSR simulasi *ansys.* Pada grafik dapat dilihat bahwa turbin savonius dengan sudut kemiringan *fin* 0º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2304 dengan TSR 0.3928. Pada sudut kemiringan *fin* 15º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2916 dengan TSR 0.3928. Pada sudut kemiringan *fin* 30º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2767 dengan TSR 0.3928. Pada sudut kemiringan *fin* 45º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2552 dengan TSR 0.3928. Pada sudut kemiringan *fin* 60º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2390 dengan TSR 0.3928. Pada sudut kemiringan 0º dan 60º memiliki nilai yang hampir mirip dikarenakan distribusi aliran di sekitar *blade* yang menyebabkan koefisien daya mendekati nilai yang sama akibat menurunnya performa aerodinamis. Penurunan nilai Cp saat TSR semakin meningkat disebabkan karena hambatan aerodinamis terlalu besar dan menurunkan nilai Cp. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Cp optimum didapatkan pada model turbin savonius dengan variasi sudut kemiringan *fin* 15°.

4.1.2. Grafik Pm vs V

Berikut ini merupakan grafik daya mekanik terhadap kecepatan pada model turbin angin savonius dengan 5 variasi sudut kemiringan *fin* yang dapat dilihat pada gambar 7.

 https://doi.org/10.25077/ inomet.3.1.44-52.2025



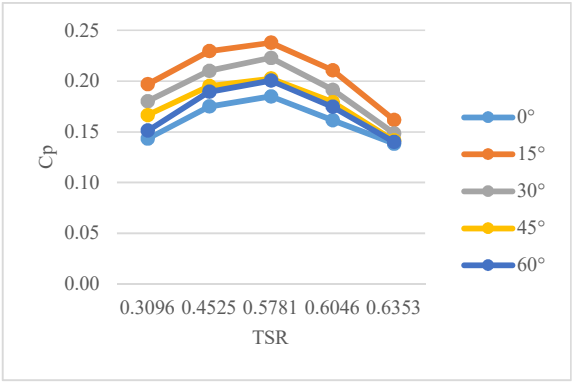
Gambar 7. Grafik Pm vs V Simulasi

Kecepatan angin akan berhubungan dengan daya mekanik. Pengaruh kecepatan angin terhadap daya mekanik ditampilkan pada gambar 4.4. Dari gambar 4.4 dapat dikatakan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan daya mekanik yang dihasilkan, artinya semakin besar kecepatan angin yang diberikan, maka semakin besar pula putaran turbin yang dihasilkan, yang kemudian diubah menjadi daya mekanik oleh turbin. Pada sudut kemiringan 15°, bilah menghasilkan gaya aerodinamis yang lebih efisien, mengoptimalkan energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga dapat dikatakan bahwa sudut 15° menghasilkan daya mekanik tertinggi dibandingkan sudut kemiringan lainnya. Pada kecepatan 5 m/s daya mekanik tidak lagi meningkat hal ini terjadi karena kerugian aerodinamis seperti *drag* atau hambatan udara yang meningkat pada kecepatan tinggi. Akibatnya, kecepatan angin yang lebih tinggi tidak sepenuhnya dikonversi menjadi daya mekanik. Pada sudut kemiringan 0º dan 60º memiliki nilai yang hampir mirip dikarenakan distribusi aliran di sekitar *blade* yang menyebabkan daya mekanik mendekati nilai yang sama akibat menurunnya performa aerodinamis.

4.2. Hasil Eksperimental

4.2.1. Grafik Cp vs TSR

Berikut merupakan grafik Cp terhadap TSR dapat dilihat pada gambar 8.

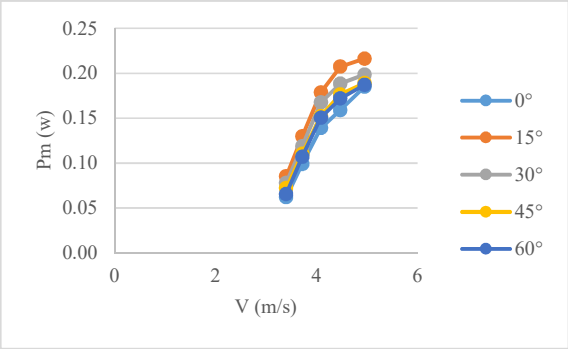


Gambar 8. Grafik Cp VS TSR Eksperimental

Pada gambar diatas merupakan grafik hubungan antara Cp terhadap TSR eksperimental. Pada grafik dapat dilihat bahwa turbin savonius dengan sudut kemiringan *fin* 0º memiliki Cp maksimum sebesar 0.1850 dengan TSR 0.5781. Pada sudut kemiringan *fin* 15º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2379 dengan TSR 0.7434. Pada sudut kemiringan *fin* 30º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2230 dengan TSR 0.6968. Pada sudut kemiringan *fin* 45º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2027 dengan TSR 0.6332. Pada sudut kemiringan *fin* 60º memiliki Cp maksimum sebesar 0.2006 dengan TSR 0.6268. Pada sudut kemiringan 0º dan 60º memiliki nilai yang hampir mirip dikarenakan distribusi aliran di sekitar *blade* yang menyebabkan koefisien daya mendekati nilai yang sama akibat menurunnya performa aerodinamis. Penurunan nilai Cp saat TSR semakin meningkat disebabkan karena hambatan aerodinamis terlalu besar dan menurunkan nilai Cp. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Cp optimum didapatkan pada model turbin savonius dengan variasi sudut kemiringan *fin* 15°.

4.2.2. Grafik Pm vs V

Berikut ini merupakan grafik daya mekanik terhadap kecepatan pada model turbin angin savonius dengan 5 variasi sudut kemiringan *fin* yang dapat dilihat pada gambar 9



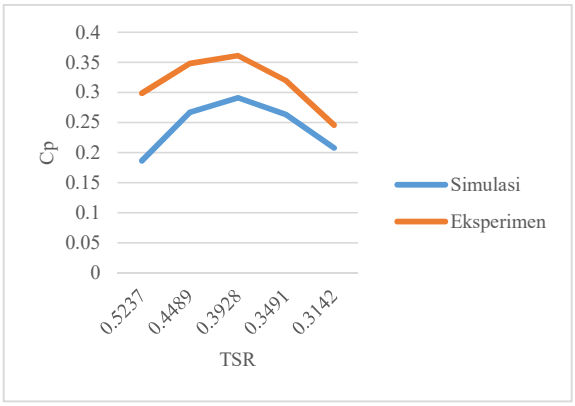
Gambar 9. Grafik Pm VS V Eksperimental

Kecepatan angin akan berhubungan dengan daya mekanik. Pengaruh kecepatan angin terhadap daya mekanik ditampilkan pada gambar 4.6. Dari gambar 4.6 dapat dikatakan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan daya mekanik yang dihasilkan, artinya semakin besar kecepatan angin yang diberikan, maka semakin besar pula putaran turbin yang dihasilkan, yang kemudian diubah menjadi daya mekanik oleh turbin. Pada sudut kemiringan 15°, bilah menghasilkan gaya aerodinamis yang lebih efisien, mengoptimalkan energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga dapat dikatakan bahwa sudut 15° menghasilkan daya mekanik tertinggi dibandingkan sudut kemiringan lainnya. Pada kecepatan 5 m/s daya mekanik tidak lagi meningkat hal ini terjadi karena kerugian aerodinamis seperti *drag* atau hambatan udara yang meningkat pada kecepatan tinggi. Akibatnya, kecepatan angin yang lebih tinggi tidak sepenuhnya dikonversi menjadi daya mekanik. Pada sudut kemiringan 0º dan 60º memiliki nilai yang hampir mirip dikarenakan distribusi aliran di sekitar *blade* yang menyebabkan daya mekanik mendekati nilai yang sama akibat menurunnya performa aerodinamis.

4.3. Grafik Simulasi vs Eksperimental

4.3.1. Grafik Cp vs TSR

Berikut merupakan grafik Cp vs TSR sudut kemiringan 15º yang dapat dilihat pada gambar 10

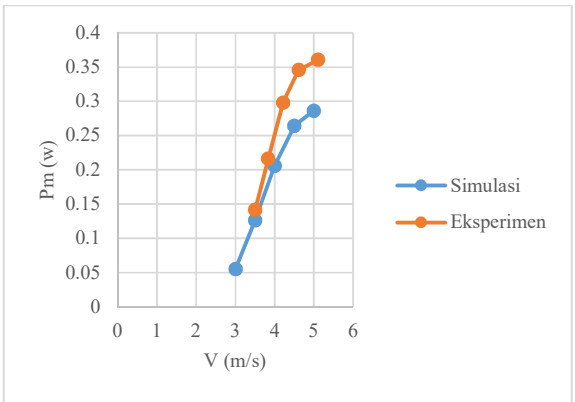


Gambar 10. Grafik Cp vs TSR Simulasi dan Eksperimental

Pada gambar di atas merupakan grafik perbandingan antara Cp VS TSR sudut kemiringan 15º baik pada simulasi maupun eksperimental, kurva menunjukkan pola puncak (peak) di tengah. Ini menandakan adanya TSR optimal di mana Cp mencapai nilai maksimum. Setelah mencapai puncak, nilai Cp menurun seiring dengan penurunan TSR. Pada eksperimental, nilai Cp maksimum lebih tinggi dibandingkan simulasi. Pada simulasi didapatkan Cp 0.2916 dengan TSR 0.3928 sedangkan pada eksperimental didapatkan Cp 0.2379 dengan TSR 0.7434. Perbedaan Cp antara simulasi dan eksperimental dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti model matematis, asumsi dalam simulasi, atau kondisi lingkungan yang tidak dimasukkan dalam simulasi. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa hasil simulasi tidak berbeda jauh dibandingkan dengan hasil eksperimental.

4.3.2. Grafik Pm vs V

Berikut merupakan grafik Pm vs V sudut kemiringan 15º yang dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 11. Grafik Pm vs V Simulasi dan Eksperimental

Pada gambar di atas merupakan grafik perbandingan antara Pm vs V sudut kemiringan 15º

 https://doi.org/10.25077/ inomet.3.1.44-52.2025

baik pada simulasi maupun eksperimental. Kecepatan angin akan berhubungan dengan daya mekanik. Pengaruh kecepatan angin terhadap daya mekanik ditampilkan pada gambar 4.6. Dari gambar 4.6 dapat dikatakan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan daya mekanik yang dihasilkan, artinya semakin besar kecepatan angin yang diberikan, maka semakin besar pula putaran turbin yang dihasilkan, yang kemudian diubah menjadi daya mekanik oleh turbin. Pada hasil simulasi didapatkan daya mekanik tertinggi sebesar 0.2863 watt sedangkan pada eksperimental daya mekanik tertinggi sebesar 0.2164 watt. Perbedaan daya mekanik antara simulasi dan eksperimental dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti model matematis, asumsi dalam simulasi, atau kondisi lingkungan yang tidak dimasukkan dalam simulasi. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa hasil simulasi tidak berbeda jauh dibandingkan dengan hasil eksperimental.

5. KESIMPULAN

1. Dari hasil penelitian, didapatkan sudut kemiringan 15° optimal pada *blade* yang menghasilkan nilai *Coefficient of Power* (Cp) tertinggi. Sudut ini menunjukkan pengaruh aliran udara pada *blade* lebih stabil dan mengurangi gaya hambat (*drag)* sehingga menghasilkan performa terbaik pada turbin savonius.
2. Variasi sudut kemiringan *fin* memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai *Coefficient of Power* (Cp). Penambahan *fin* dengan variasi sudut kemiringan dapat membuat aliran udara pada *blade* lebih stabil yang mana dapat mengoptimalkan kinerja dan mengurangi hambatan, sehingga meningkatnya performa turbin savonius. Pada hasil simulasi didapatkan Cp 0.296 sedangkan pada hasil eksperimental didapatkan Cp 0.2379.
3. Hasil simulasi dan pengujian eksperimental menunjukkan pola yang konsisten dengan perbedaan yang masih berada dalam batas wajar. Hal ini disebabkan karena pada saat simulasi faktor-faktor seperti model matematis, asumsi dalam simulasi, atau kondisi lingkungan yang tidak dimasukkan dalam simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] P. H. Lumbangaol, “Energi Terbarukan Untuk Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia,” *Fak. Tek. Univ. HKBP Nommensen*, vol. 1, no. 4, pp. 1–14, 2007.

[2] I. O. Silla, A. Sanusi, and Y. M. Pell, “ENERGI ALTERNATIF,” vol. 7, no. 1, pp. 64–68, 2022.

[3] M. Zemamou, M. Aggour, and A. Toumi, “Review of savonius wind turbine design and performance,” *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 383–388, 2017.

[4] B. R. Ananto and T. Y. Yuwono, “Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius dengan Penempatan Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Turbin pada S/D =1,2,” *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, pp. 1–6, 2021.

[5] Y. Kurniawan, I. B. Dharmawan, and W. Anhar, “Studi Eksperimental Pengaruh Kombinasi Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius,” pp. 2–7, 2021.

[6] M. R. Shouman, M. M. Helal, and A. A. El-Haroun, “Numerical prediction of improvement of a Savonius rotor performance with curtaining and fin addition on blade,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 12, pp. 10689–10699, 2022.

[7] M. T. Maryanti, D. Pembimbing, P. Studi, D. T. Instrumentasi, D. T. Instrumentasi, and F. Vokasi, *Desain Struktur Baling-Baling Pada Sistem*. 2020.

[8] P. Collins, “Savonius Wind Turbine,” *Netzero Guide*, 2024. https://netzeroguide.com/savonius-wind-turbine/.

[9] N. D. Lestari, H. Nasbey, and S. Sunaryo, “Desain Turbin Angin Savonius Sumbu Horizontal Tipe-U Untuk Kecepatan Angin Rendah,” vol. XI, pp. 13–20, 2023.

[10] Saputra, “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Sudut Silinder Pengganggu Di Depan Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan

Penambahan Fin," 2022.

[11] 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.

[12] E. S. Wijianti and Saparin, "The effect of blade type variations on savonius wind turbine performance," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 353, no. 1, pp. 9–10, 2019.

[13] A. ZULHAN, "Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Terhadap Performa Turbin Angin Savonius," 2018.

[14] K. S. Gandhini and T. Y. Yuwono, "Studi Eksperimen Kinerja Turbin Angin Savonius Yang Terintegrasi dengan Gedung dengan Rasio G/D = 1,4558," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 1–6, 2021.

[15] S. Jumini and L. Muhlisoh, "Pengaruh Perbedaan Panjang Poros Suatu Benda terhadap Kecepatan Sudut Putar," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Pendidik. Sains VIII*, vol. 4, no. 1, pp. 133–138, 2013.

[16] Bambang Sulaksono, "Perancangan Sudu Tangkap Terhadap Variasi Kecepatan Angin Pada Turbin Angin," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 1–7, 2019.

[17] Wardoyo, "Hubungan Daya Turbin Angin Berbentuk Propeller 5 Blade Terhadap Beban Tower Penyangganya," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2016.

[18] J. Jamal, "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Performansi Kincir Angin Vertikal Savonius Tipe-U," *Politek. Negeri Ujung Pandang*, vol. 6, no. 1, pp. 64–68, 2018.

[19] F. Of and M. Technology, "Tugas akhir - me184834," 2020.

[20] O. D. S. Hasan, R. Hantoro, and G. Nugroho, "Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah Fin pada Sudu," *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 2, pp. 350–355, 2013.

[21] S. F. Pamungkas, D. S. Wijayanto, H. Saputro, and I. Widiastuti, "Performance 'S' Type Savonius Wind Turbine with Variation of Fin Addition on Blade," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 288, no. 1, 2018.