

Pengaruh Sudut Deflektor terhadap Performa Turbin Angin Savonius Tipe Twist Dua Sudu 180°

Thimotus Pabura¹, Ramli², Aslim Muda Aziz³, M. Ilham Nur⁴, Risa B Umar⁵, Haslinda⁶
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pejuang Republik Indonesia, Indonesia

Email Author¹ : Timotiuspabura@gmail.com

Kata Kunci:

Deflektor; Efisiensi; Energi Angin; Sudut Puntir 180°; Turbin Savonius

Abstrak

Turbin angin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal yang banyak dikembangkan karena mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah dan memiliki konstruksi sederhana. Namun, performa turbin Savonius relatif rendah akibat adanya torsi negatif pada sudu returning blade. Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk meningkatkan performa turbin adalah penggunaan deflektor sebagai pengarah aliran angin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut deflektor terhadap performa turbin angin Savonius tipe twist dua sudu dengan sudut puntir 180°. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pengujian menggunakan wind tunnel. Variasi sudut deflektor yang digunakan meliputi tanpa deflektor, 30°, 45°, dan 60°. Parameter performa yang dianalisis meliputi kecepatan putar, torsi, daya turbin, tip speed ratio, dan efisiensi turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan deflektor berpengaruh signifikan terhadap peningkatan performa turbin. Sudut deflektor 60° menghasilkan performa terbaik dengan nilai efisiensi tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Hal ini disebabkan oleh kemampuan deflektor dalam mengarahkan aliran angin secara lebih optimal ke sudu advancing blade dan mengurangi torsi negatif pada returning blade.

Key Word:

Deflector; Efficiency; 180° Twist Angle; Savonius Turbine; Wind Energy;

Abstract

Savonius wind turbines are a type of vertical axis wind turbine that is widely developed because it is able to operate at low wind speeds and has a simple construction. However, the performance of the Savonius turbine is relatively low due to the negative torque in the returning blade. One method that can be applied to improve turbine performance is the use of deflectors as wind flow directors. This study aims to analyze the effect of deflector angle variations on the performance of a two-blade twist type Savonius wind turbine with a twist angle of 180°. The research method used is an experimental method with testing using a wind tunnel. The variations of deflector angles used include no deflector, 30°, 45°, and 60°. The performance parameters analyzed include rotational speed, torque, turbine power, tip speed ratio, and turbine efficiency. The results of the study show that the addition of a deflector has a significant effect on improving turbine performance. The deflector angle of 60° delivers the best performance with the highest efficiency value compared to other variations. This is due to the ability of the deflector to direct the wind flow more optimally to the advancing blade and reduce the negative torque on the returning blade.

Copyright © xxxx

This work is licensed under an Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik global terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan teknologi. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain keterbatasan sumber daya dan meningkatnya emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan menjadi solusi strategis dalam memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan (Hamdi, 2015).

Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar dan ramah lingkungan. Energi ini dapat dikonversi menjadi energi mekanik dan selanjutnya menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Berdasarkan orientasi porosnya, turbin angin dibedakan menjadi turbin angin sumbu horizontal dan sumbu vertikal. Turbin angin sumbu vertikal memiliki keunggulan utama berupa kemampuan menerima angin dari berbagai arah tanpa mekanisme yaw serta kemudahan perawatan karena komponen utama dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah (Sudirman, 2020).

Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal yang banyak dikembangkan adalah turbin Savonius. Turbin ini bekerja berdasarkan gaya hambat (drag force) dan memiliki torsi awal yang besar, sehingga cocok diaplikasikan pada daerah dengan kecepatan angin rendah. Meskipun demikian, efisiensi turbin Savonius relatif rendah akibat adanya torsi negatif yang dihasilkan oleh sudu yang bergerak berlawanan arah dengan aliran angin (Kamal, 2008). Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performa turbin Savonius, seperti pengaturan jumlah sudu, penggunaan end plate, modifikasi bentuk sudu, serta penambahan komponen tambahan berupa deflektor (Golecha et al., 2011; Sahim et al., 2015).

Deflektor berfungsi sebagai pengarah aliran angin agar lebih terfokus pada sudu advancing blade dan mengurangi pengaruh angin pada returning blade. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa deflektor satu arah mampu meningkatkan performa turbin, namun efektivitasnya menurun ketika arah angin berubah (Mosbahi et al., 2021). Oleh karena itu, variasi sudut deflektor perlu dikaji untuk mendapatkan konfigurasi yang paling optimal. Selain penggunaan deflektor, pengembangan desain sudu juga berperan penting dalam peningkatan performa turbin Savonius. Salah satu inovasi yang dikembangkan adalah turbin Savonius tipe twist, di mana sudu dipuntir sepanjang sumbu vertikal. Desain ini terbukti mampu meningkatkan kestabilan torsi dan mengurangi fluktuasi putaran dibandingkan desain Savonius konvensional (Saha & Rajkumar, 2006; Purbaya et al., 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh perubahan sudut deflektor terhadap performa turbin angin Savonius tipe twist dua sudu dengan sudut puntir 180°. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi turbin angin Savonius yang efisien dan aplikatif pada daerah berkecepatan angin rendah.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium ATI Makassar pada periode Mei 2025 hingga Juli 2025. Kegiatan penelitian meliputi tahap perancangan alat, pembuatan alat uji, serta pengambilan data eksperimen. Seluruh proses pengujian dilakukan dalam kondisi laboratorium dengan aliran angin terkontrol menggunakan wind tunnel. Adapun Alat yang digunakan dalam proses perancangan dan pembuatan alat uji meliputi spidol, mesin bor, gergaji besi, trafo las, gerinda tangan, meter gulung, mistar/penggaris, serta berbagai kunci dan perkakas pendukung.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas pipa PVC, akrilik, poros, blower, bantalan, pulley, wind tunnel beserta penyangganya, besi, elektroda, baut dan mur, serta cat. Peralatan yang digunakan dalam proses pengujian meliputi pasir sebagai beban, kertas dan pulpen untuk pencatatan data, anemometer untuk mengukur kecepatan angin, tachometer untuk mengukur kecepatan putaran poros, timbangan digital untuk menimbang beban, serta tali beban untuk mengantarkan beban pada sistem pembebanan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu melakukan pengujian secara langsung terhadap objek yang diteliti. Objek penelitian berupa turbin angin Savonius tipe twist dua sudu dengan sudut puntir 180° yang dilengkapi dengan variasi sudut deflektor. Metode eksperimen ini bertujuan untuk memperoleh data performa turbin secara aktual dan menganalisis pengaruh variasi sudut deflektor terhadap torsi dan kinerja turbin angin Savonius. Prosedur penelitian dilakukan melalui tahapan sebagai, Menyiapkan seluruh alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian, Memeriksa kondisi alat uji turbin angin Savonius tipe twist untuk memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik, Menyiapkan dan mengkalibrasi alat ukur yang digunakan dalam pengujian, Menempatkan alat uji turbin angin Savonius tipe twist pada lokasi pengujian,

Memasang wind tunnel dan blower sebagai sumber aliran angin, Mengukur kecepatan angin menggunakan anemometer, Memasang rotor turbin Savonius tipe twist dengan variasi sudut deflektor yang telah ditentukan, Memastikan seluruh sistem pengujian terpasang dengan baik sebelum pengambilan data, Menimbang pasir sebagai beban menggunakan timbangan digital, Mengukur kecepatan putaran turbin tanpa pembebanan menggunakan tachometer, Menambahkan beban secara bertahap hingga putaran turbin berhenti, Mencatat seluruh hasil pengukuran ke dalam tabel data penelitian untuk dianalisis lebih lanjut.

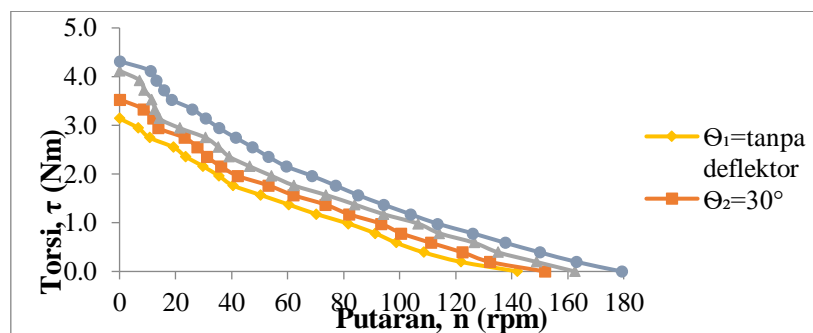
Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi anemometer untuk mengukur kecepatan angin, thermometer untuk mengukur suhu lingkungan, tachometer untuk mengukur kecepatan putaran poros, neraca digital untuk menimbang beban, tali nilon sebagai media penghubung beban, blower sebagai sumber aliran angin, mesin bor dan gerinda untuk proses fabrikasi, tali sling sebagai penghubung beban, meter gulung, mistar/penggaris, serta kunci dan perkakas pendukung lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut deflektor terhadap performa turbin angin Savonius tipe twist dua sudu dengan sudut puntir 180° . Pengujian dilakukan pada kondisi aliran angin terkontrol menggunakan wind tunnel, dengan parameter performa yang dianalisis meliputi kecepatan putar, torsi, daya turbin, tip speed ratio, dan efisiensi turbin. Variasi sudut deflektor yang digunakan adalah tanpa deflektor, 30° , 45° , dan 60° .

Pengaruh Sudut Deflektor terhadap Kecepatan Putar Turbin

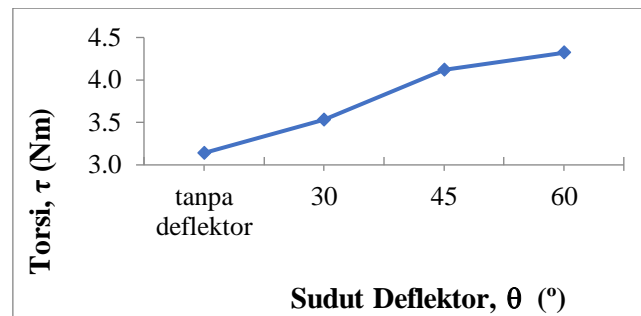
Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan deflektor memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan kecepatan putar turbin angin Savonius tipe twist. Turbin tanpa deflektor menghasilkan kecepatan putar paling rendah dibandingkan dengan turbin yang menggunakan deflektor. Peningkatan kecepatan putar terjadi seiring bertambahnya sudut deflektor, dengan nilai tertinggi diperoleh pada sudut deflektor 60° .



Gambar1. Grafik pengaruh putaran (rpm) terhadap torsi (τ) dengan variasi sudut deflektor

Pada gambar 1, dapat dilihat dan dianalisa bahwa untuk mencapai putaran 0 rpm pada turbin Savonius dua sudu dengan sudut deflektor 60° membutuhkan beban lebih besar dari pada sudut deflektor 45° , 30° , dan sudut tanpa deflektor sehingga sudut deflektor 60° menghasilkan torsi maksimum sebesar 4,32 Nm, 60° pada beban 22 kg, kemudian pada sudut deflektor 45° menghasilkan torsi maksimum sebesar 4,12 Nm, pada beban 21 kg, kemudian pada sudut deflektor 30° menghasilkan torsi maksimum sebesar 3,53 Nm, pada beban 18 kg, kemudian tanpa deflektor menghasilkan torsi maksimum sebesar 3,14 Nm, pada beban 16 kg.

Fenomena ini menunjukkan bahwa deflektor berperan efektif dalam mengarahkan aliran angin agar lebih dominan mengenai sudu advancing blade. Aliran angin yang lebih terfokus meningkatkan gaya hambat pada sudu tersebut, sehingga energi kinetik angin yang dikonversi menjadi energi mekanik semakin besar. Hasil ini sejalan dengan penelitian Golecha et al. (2011) yang menyatakan bahwa deflektor mampu meningkatkan kecepatan putar turbin Savonius dengan cara mengurangi gangguan aliran pada sudu returning blade.



Gambar 2. Grafik pengaruh sudut deflektor (°) terhadap torsi maksimum (Nm)

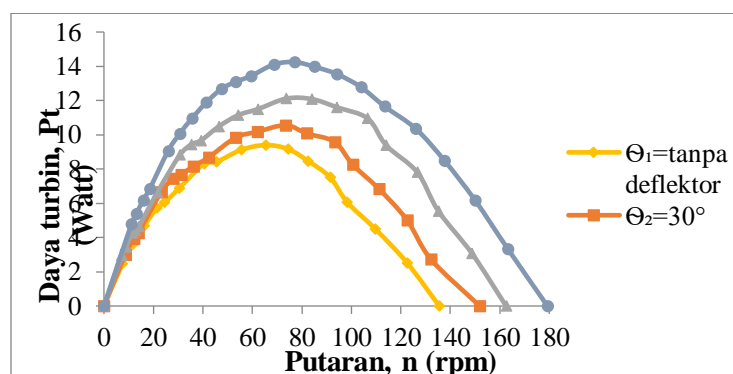
Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pada turbin Savonius dua sudu dengan tanpa deflektor torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 3,14 Nm, kemudian pada sudut deflektor 30° torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 3,53 Nm, kemudian sudut deflektor 45° torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 4,12 Nm, kemudian sudut deflektor 60° torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 4,32 Nm.

Pola yang serupa juga ditunjukkan pada hasil pengukuran torsi turbin. Turbin tanpa deflektor menghasilkan nilai torsi paling kecil, sedangkan penggunaan deflektor meningkatkan torsi secara signifikan. Nilai torsi tertinggi diperoleh pada sudut deflektor 60°, yang menunjukkan bahwa konfigurasi ini mampu menghasilkan gaya putar maksimum pada poros turbin.

Peningkatan torsi ini terjadi karena deflektor mampu mengurangi pengaruh angin terhadap sudu returning blade yang biasanya menghasilkan torsi negatif. Dengan berkurangnya torsi negatif, resultan torsi pada poros meningkat sehingga performa turbin menjadi lebih optimal. Kondisi ini mendukung pernyataan Sahim et al. (2015) yang menjelaskan bahwa deflektor berfungsi sebagai pelindung sudu returning blade dari aliran angin langsung.

Daya Turbin dan Tip Speed Ratio

Daya merupakan suatu kemampuan untuk melakukan kinerja sedangkan putaran (rpm) merupakan jumlah atau banyaknya putaran yang terjadi dalam satu (1) hasil daya maksimum yang dihasilkan uji karakteristik turbin angin Savonius tipe twist dengan pengaruh sudut deflektor 180° dengan deflektor 30°, 45° dan 60°.

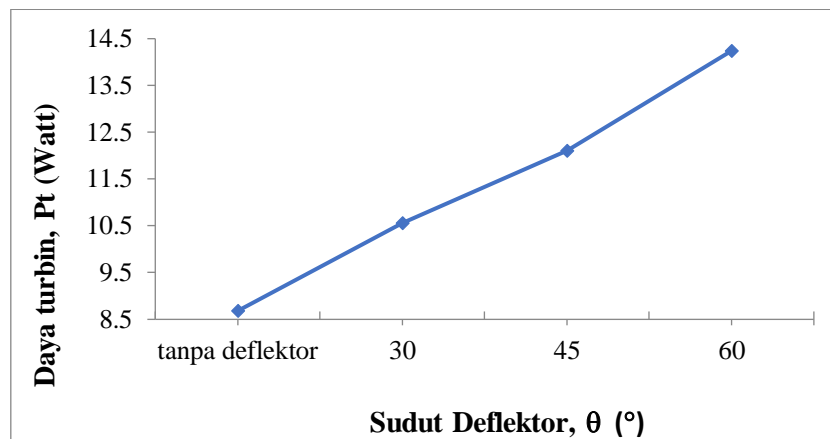


Gambar 3. Grafik pengaruh putaran (rpm) terhadap daya (Watt) dengan variasi sudut deflektor

Hasil ini menunjukkan bahwa nilai daya turbin meningkat seiring dengan bertambahnya sudut deflektor. Daya turbin merupakan hasil perkalian antara torsi dan kecepatan sudu, sehingga peningkatan torsi akibat kemampuan deflektor dalam mengarahkan aliran angin ke sudu advancing blade secara langsung berdampak pada peningkatan daya keluaran. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sudut deflektor yang lebih besar mampu mengurangi pengaruh torsi negatif pada sudu returning blade dan meningkatkan pemanfaatan energi kinetik angin secara lebih efektif.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Golecha et al. (2011) yang menyatakan bahwa penggunaan deflektor pada turbin Savonius dapat meningkatkan daya keluaran secara signifikan karena aliran angin lebih terfokus pada sudu yang menghasilkan torsi positif. Selain itu, Mosbahi et al. (2021) melaporkan bahwa peningkatan sudut deflektor berkontribusi terhadap kenaikan torsi dan daya turbin hingga lebih dari 30% dibandingkan konfigurasi tanpa deflektor. Penelitian lain oleh Sharma dan Biswas (2019) juga menunjukkan bahwa sudut deflektor yang lebih besar mampu meningkatkan daya turbin Savonius dengan memperbaiki distribusi tekanan di sekitar rotor. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa penggunaan deflektor dengan sudut yang optimal, khususnya 60° , merupakan konfigurasi yang efektif dalam meningkatkan daya turbin angin Savonius tipe twist pada kondisi kecepatan angin rendah

Selain itu, nilai tip speed ratio juga meningkat pada turbin yang menggunakan deflektor. Tip speed ratio yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kecepatan ujung sudu semakin mendekati kondisi optimal untuk konversi energi angin. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan deflektor tidak hanya meningkatkan torsi, tetapi juga memperbaiki karakteristik dinamis putaran turbin. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Mosbahi et al. (2021) yang melaporkan adanya peningkatan tip speed ratio pada turbin Savonius dengan penambahan deflektor.



Gambar 4. Grafik pengaruh sudut deflektor ($^\circ$) terhadap daya maksimum (Watt)

Berdasarkan grafik hasil pengujian, dapat dilihat bahwa turbin angin Savonius dua sudu tanpa deflektor menghasilkan daya maksimum sebesar 8,68 W. Penggunaan deflektor terbukti meningkatkan daya keluaran turbin, di mana pada sudut deflektor 30° daya maksimum meningkat menjadi 10,56 W, pada sudut deflektor 45° mencapai 12,11 W, dan nilai daya tertinggi diperoleh pada sudut deflektor 60° sebesar 14,24 W. Hasil ini menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan daya seiring dengan bertambahnya sudut deflektor.

Peningkatan daya tersebut terjadi karena deflektor berfungsi mengarahkan aliran angin secara lebih efektif menuju sudu advancing blade serta mengurangi pengaruh aliran angin terhadap sudu returning blade. Kondisi ini menyebabkan peningkatan gaya hambat yang bekerja pada sudu penggerak dan penurunan torsi negatif, sehingga torsi total pada poros meningkat. Mengingat daya turbin merupakan hasil perkalian antara torsi dan kecepatan sudut, maka peningkatan kedua parameter tersebut secara langsung berdampak pada peningkatan daya keluaran turbin.

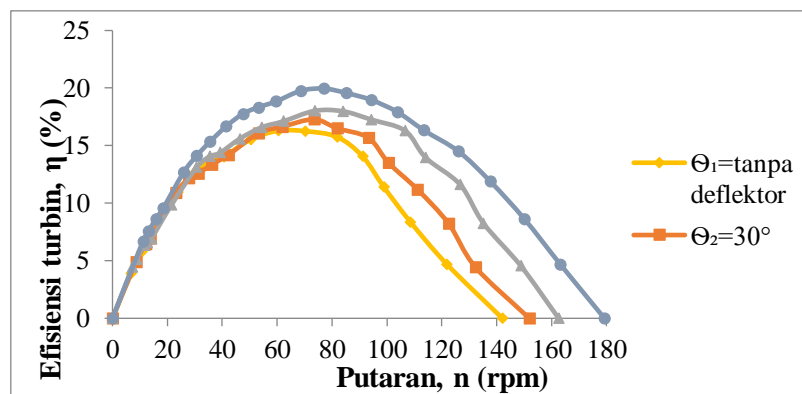
Hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian Zhang et al. (2024) yang melaporkan bahwa penggunaan deflektor pada turbin Savonius mampu meningkatkan koefisien daya secara signifikan dibandingkan konfigurasi tanpa deflektor. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa deflektor dengan sudut dan bentuk yang optimal dapat meningkatkan pemanfaatan energi kinetik angin melalui pengaturan distribusi tekanan di sekitar rotor. Selain itu, penelitian Kumar dan Saha (2023) menyatakan bahwa peningkatan sudut deflektor menyebabkan aliran angin lebih terfokus pada sudu penggerak, sehingga daya keluaran turbin meningkat hingga lebih dari 25% dibandingkan kondisi tanpa deflektor.

Penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Irani et al. (2023) pada turbin Savonius tipe U dengan variasi sudut guide vane juga menunjukkan tren serupa, di mana peningkatan sudut pengarah aliran menghasilkan peningkatan putaran, torsi, dan daya turbin. Sementara itu, Mosbahi et al. (2021) menegaskan bahwa penggunaan deflektor mampu mengurangi torsi negatif secara signifikan dan meningkatkan stabilitas performa turbin Savonius pada kecepatan angin rendah.

Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat temuan penelitian terdahulu bahwa optimasi sudut deflektor merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan daya turbin angin Savonius. Pada penelitian ini, sudut deflektor 60° menjadi konfigurasi paling optimal dalam meningkatkan daya keluaran turbin Savonius tipe twist dua sudu dengan sudut puntir 180° pada kondisi aliran angin terkontrol.

Efisiensi Turbin Angin Savonius

Efisiensi turbin merupakan parameter utama dalam menilai kinerja turbin angin. Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi turbin meningkat secara signifikan dengan penggunaan deflektor. Turbin tanpa deflektor memiliki efisiensi paling rendah, sedangkan efisiensi tertinggi dicapai pada sudut deflektor 60° .



Gambar 5. Grafik pengaruh putaran (rpm) terhadap efisiensi (%) dengan variasi sudut deflektor.

Pada Gambar 5, dapat dianalisis bahwa untuk mencapai putaran 77,05 rpm, turbin angin Savonius tipe twist dua sudu dengan sudut deflektor 60° memerlukan beban yang lebih besar dibandingkan sudut deflektor 45° , 30° , dan kondisi tanpa deflektor. Kondisi ini menunjukkan bahwa konfigurasi sudut deflektor 60° mampu menghasilkan torsi yang lebih besar sehingga turbin tetap berputar stabil meskipun diberikan beban yang lebih tinggi. Pada sudut deflektor 60° , efisiensi maksimum yang dihasilkan mencapai 19,95% pada beban 9 kg. Sementara itu, pada sudut deflektor 45° efisiensi maksimum tercatat sebesar 18,03% pada beban 8 kg, pada sudut deflektor 30° sebesar 17,28% pada beban 7 kg, dan pada kondisi tanpa deflektor efisiensi maksimum hanya mencapai 16,29% pada beban 7 kg.

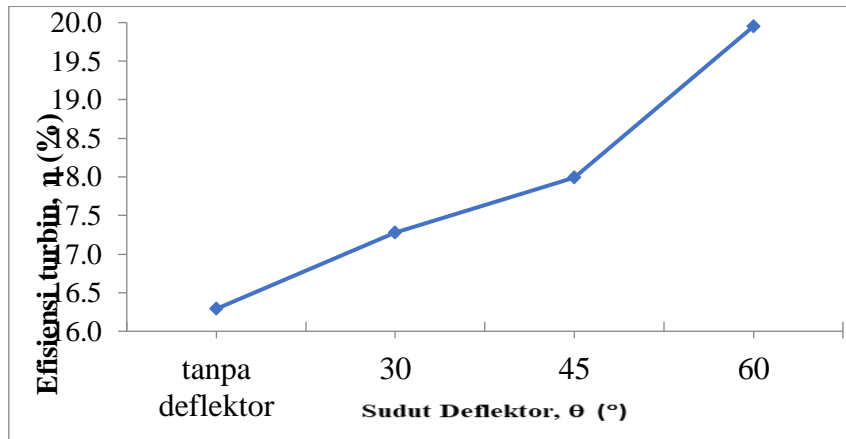
Peningkatan efisiensi seiring dengan bertambahnya sudut deflektor menunjukkan bahwa deflektor berperan penting dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi angin yang tersedia. Deflektor mampu mengarahkan aliran angin secara lebih efektif ke sudu advancing blade dan sekaligus mengurangi tekanan aliran pada sudu returning blade. Mekanisme ini menyebabkan peningkatan selisih gaya hambat antar sudu, sehingga torsi bersih yang dihasilkan meningkat dan berdampak langsung pada peningkatan efisiensi turbin.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Zhang et al. (2024) yang melaporkan bahwa penggunaan deflektor pada turbin Savonius mampu meningkatkan efisiensi hingga lebih dari 20% dibandingkan konfigurasi tanpa deflektor. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa deflektor efektif dalam memodifikasi pola aliran dan distribusi tekanan di sekitar rotor, sehingga energi angin dapat dimanfaatkan secara lebih optimal. Selain itu, Kumar dan Saha (2023) menyatakan bahwa peningkatan sudut deflektor menyebabkan penurunan torsi negatif secara signifikan, yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan efisiensi aerodinamis turbin Savonius.

Penelitian eksperimental oleh Hassan et al. (2022) juga menunjukkan bahwa turbin Savonius dengan sistem pengarah aliran atau flow guide mampu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi pada kondisi

kecepatan angin rendah. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya stabilitas putaran dan berkurangnya fluktuasi torsi selama satu siklus putaran rotor. Temuan tersebut mendukung hasil penelitian ini, di mana kombinasi desain sudu tipe twist dan sudut deflektor yang lebih besar menghasilkan efisiensi tertinggi.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa sudut deflektor 60° merupakan konfigurasi paling optimal dalam meningkatkan efisiensi turbin angin Savonius tipe twist dua sudu dengan sudut puntir 180° . Peningkatan efisiensi ini menunjukkan potensi besar penerapan turbin Savonius dengan deflektor pada sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil, khususnya di daerah dengan kecepatan angin rendah..



Gambar 6. Grafik pengaruh sudut deflektor ($^\circ$) terhadap efisiensi (%) maksimum

Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa efisiensi maksimum turbin angin Savonius dua sudu meningkat seiring dengan bertambahnya sudut deflektor. Pada kondisi tanpa deflektor, efisiensi maksimum yang dihasilkan sebesar 6,29%. Penggunaan deflektor dengan sudut 30° meningkatkan efisiensi menjadi 17,28%, kemudian meningkat kembali pada sudut 45° sebesar 18,03%, dan mencapai nilai tertinggi pada sudut 60° dengan efisiensi maksimum 19,95%. Tren peningkatan ini menunjukkan bahwa sudut deflektor berperan penting dalam meningkatkan kinerja aerodinamis turbin.

Peningkatan efisiensi tersebut mengindikasikan bahwa keberadaan deflektor mampu mengarahkan aliran angin secara lebih efektif ke sudu *advancing blade* dan mengurangi pengaruh aliran pada sudu *returning blade*. Kondisi ini menyebabkan berkurangnya torsi negatif dan meningkatnya torsi bersih yang bekerja pada poros turbin, sehingga energi angin dapat dikonversi secara lebih optimal.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Purbaya, Putra, dan Wibowo (2021) yang melaporkan bahwa penggunaan deflektor pada turbin angin Savonius mampu meningkatkan efisiensi dan kestabilan putaran, terutama pada kecepatan angin rendah. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sudut deflektor yang lebih besar menghasilkan distribusi tekanan yang lebih merata pada sudu dan mengurangi kehilangan energi akibat turbulensi.

Penelitian lain oleh Ramadhan, Nugroho, dan Hidayat (2022) juga menyatakan bahwa peningkatan sudut deflektor berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi turbin Savonius hingga lebih dari 15% dibandingkan konfigurasi tanpa deflektor. Mereka menjelaskan bahwa deflektor berfungsi sebagai pengarah aliran yang mampu meningkatkan gaya hambat efektif pada sudu aktif, sehingga performa turbin meningkat secara signifikan. Selain itu, Sutrisno dan Pratama (2023) dalam penelitian eksperimental mereka menemukan bahwa kombinasi desain sudu tipe twist dengan perangkat pengarah aliran seperti deflektor mampu meningkatkan efisiensi dan menurunkan fluktuasi torsi. Hal ini mendukung hasil penelitian ini, di mana desain sudu tipe twist yang dikombinasikan dengan sudut deflektor 60° menghasilkan efisiensi tertinggi.

Secara teoritis, hasil ini juga memperkuat penelitian Saha dan Rajkumar (2006) yang menyatakan bahwa sudu tipe twist mampu meningkatkan kestabilan performa turbin Savonius. Dengan penambahan deflektor, efek positif dari desain sudu tipe twist menjadi lebih optimal, khususnya dalam meningkatkan efisiensi konversi energi angin.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sudut deflektor memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa turbin angin Savonius tipe twist. Sudut deflektor 60° merupakan konfigurasi paling optimal dalam penelitian ini. Meskipun demikian, hasil penelitian ini diperoleh pada kondisi laboratorium dengan aliran angin terkontrol, sehingga penerapan pada kondisi lapangan memerlukan kajian lebih lanjut. Hasil yang diperoleh memberikan implikasi bahwa pengembangan turbin Savonius untuk daerah berkecepatan angin rendah dapat ditingkatkan melalui optimasi sudut deflektor. Penelitian ini juga membuka peluang untuk kajian lanjutan terkait pengaruh arah angin, variasi kecepatan angin, serta kombinasi deflektor dengan desain sudu lainnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi sudut deflektor berpengaruh signifikan terhadap performa turbin angin Savonius tipe twist dua sudu dengan sudut puntir 180° . Penggunaan deflektor mampu meningkatkan kecepatan putar, torsi, daya, tip speed ratio, dan efisiensi turbin dibandingkan dengan kondisi tanpa deflektor. Peningkatan performa terjadi seiring bertambahnya sudut deflektor, di mana sudut deflektor 60° menghasilkan kinerja paling optimal dengan nilai efisiensi tertinggi. Hasil penelitian membuktikan bahwa deflektor berperan efektif dalam mengarahkan aliran angin ke sudu yang menghasilkan torsi positif serta mengurangi torsi negatif pada sudu returning blade. Kombinasi desain sudu tipe twist dan sudut deflektor yang tepat mampu meningkatkan kestabilan putaran dan pemanfaatan energi angin secara lebih optimal. Secara aplikatif, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa turbin angin Savonius tipe twist dengan deflektor berpotensi dikembangkan sebagai pembangkit listrik skala kecil, khususnya di daerah dengan kecepatan angin rendah. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian pada variasi kecepatan dan arah angin yang lebih beragam serta pengembangan desain deflektor adaptif guna meningkatkan performa turbin pada kondisi lingkungan yang dinamis..

Ucapan Terimakasih (jika ada)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium ATI Makassar yang telah menyediakan fasilitas dan sarana pendukung selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses perancangan alat, pengujian, serta pengambilan data sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- Golecha, K., Eldho, T. I., & Prabhu, S. V. (2011). Influence of the deflector on the performance of modified Savonius water turbine. *Applied Energy*, 88(9), 3207–3217.
- Hamdi. (2015). Energi angin dan pemanfaatannya sebagai sumber energi terbarukan. Jakarta: Erlangga.
- Hassan, G. E., El-Askary, W. A., & Nasef, M. H. (2022). Experimental performance evaluation of a modified Savonius wind turbine using flow guiding devices. *Energy Conversion and Management*, 268, 115997.
- Irani, C., Rudiyanto, B., & Rachmanita, R. E. (2023). Uji performa turbin angin Savonius tipe U berdasarkan variasi sudut guide vane. *Jurnal Sains Terapan*, 9(1), 22–29.
- Kamal, S. (2008). Performance characteristics of Savonius vertical axis wind turbine. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(2), 45–52.
- Kumar, A., & Saha, U. K. (2023). Aerodynamic performance improvement of Savonius wind turbine through passive flow control using grooved deflector. *Ocean Engineering*, 284, 115282.
- Mosbahi, M., Ayadi, A., Driss, Z., & Abid, M. S. (2021). Experimental and numerical investigation of a Savonius wind turbine with a deflector plate. *Energy Reports*, 7, 185–196.
- Purbaya, A., Putra, R. M., & Wibowo, A. S. (2021). Studi eksperimental pengaruh deflektor terhadap kinerja turbin angin Savonius pada kecepatan angin rendah. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(3), 327–336.
- Purbaya, T., Nugroho, G., & Yohana, E. (2021). Performance analysis of twisted blade Savonius wind turbine. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 5(2), 85–93.
- Ramadhan, A., Nugroho, Y. S., & Hidayat, T. (2022). Analisis peningkatan efisiensi turbin angin Savonius menggunakan deflektor pasif. *Jurnal Energi Terbarukan*, 11(2), 85–94.
- Saha, U. K., & Rajkumar, M. J. (2006). On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades.



Renewable Energy, 31(11), 1776–1791.

Sahim, K., Santoso, D., & Purnomo, A. (2015). Performance improvement of Savonius wind turbine using wind shielding technique. *Energy Procedia*, 68, 297–304.

Sharma, S., & Biswas, A. (2019). Performance investigation of Savonius rotor with multiple deflectors. *Renewable Energy*, 134, 194–205.

Sudirman, S. (2020). *Turbin angin sumbu vertikal dan aplikasinya*. Yogyakarta: Deepublish.

Sutrisno, B., & Pratama, D. A. (2023). Pengaruh desain sudu tipe twist dan deflektor terhadap performa turbin angin Savonius. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 18(1), 41–50.

Zhang, Y., Liu, H., Wang, J., & Chen, Z. (2024). Performance assessment of Savonius wind turbine: Impact of cylindrical deflectors with natural shapes. *Ocean Engineering*, 315, 119900.