

Desain dan Optimasi Turbin Angin Sumbu Vertikal Kombinasi Type Darius dan Type Savonius untuk Meningkatkan Efisiensi Pembangkit Listrik Sumber Energi Terbarukan

Witono Hardi^{1*}, Amat Umron², Rudi Hartono³, and M.Yusril Syafar⁴

*Email corresponding author: witono@unkhair.ac.id

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Khairun Jl. Jusuf Abdul Rahman, Kampus 2 Unkhair, Gambesi, Ternate Selatan, Kota Ternate, Indonesia

Article history: Received: 21 Desember 2023 | Revised: 23 Maret 2024 | Accepted: 30 Maret 2024

Abstract. *This research aims to optimize the performance of the Savonius and Darius turbines by combining the two favourable turbine properties to obtain optimum efficiency. The study was carried out by making a prototype of a Darius-Savonius vertical axis wind turbine with a height of 30 cm and a diameter of 25 cm, NACA 0020 airfoil. Testing was carried out by recording the rotation of the turbine with a tachometer and measuring the current voltage of the dynamo to obtain turbine power. Then, the turbines are combined on the same shaft, and the rotational speed and power produced are tested. The research results show that the optimum Savonius-Darrieus hybrid wind turbine design is at a Savonius blade height of 12 cm, which has a turbine power of 0.42 Watt, with a turbine shaft rotation of 550.92 rpm and a tip speed ratio of 1.18., and turbine efficiency of 2.6%. This type of turbine has a self-starting time of 4.75 seconds when blown by wind with an average speed of 7.3 m/s, and to go to constant rotation takes 18.94 seconds.*

Keywords - vertical axis wind turbine; efficienc; self-starting; renewable energy; modification

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan melakukan optimasi kinerja turbin savonius dan darius dengan menggabungkan kedua sifat turbin yang menguntungkan untuk mendapatkan efisiensi optimum. Penelitian dilakukan dengan membuat purwarupa turbin angin sumbu vertikal darius-savonius dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 25 cm, air foil NACA 0020. Pengujian dilakukan dengan mencatat putaran turbin dengan tachometer dan mengukur arus – tegangan dynamo untuk mendapatkan daya turbin. Kemudian dilakukan penggabungan turbin pada satu poros yang sama dan dilakukan pengujian kecepatan putar serta daya yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan desain turbin angin hybrid savonius-darrieus optimum adalah pada tinggi bilah savonius 12 cm, yaitu memiliki daya turbin sebesar 0,42 Watt, dengan putaran poros turbin 550,92 rpm dan rasio kecepatan ujung (tip speed ratio) sebesar 1,18, serta efisiensi turbin sebesar 2,6%. Turbin jenis ini mempunyai waktu self-starting 4,75 detik apabila tertiuap angin dengan kecepatan rata-rata 7,3 m/s dan untuk menuju ke putaran konstan memerlukan waktu 18,94 detik.*

Kata Kunci - turbin angin sumbu vertikal; efisiensi; self-starting; energi terbarukan; modifikasi

PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan pada saat ini merupakan sebuah isu yang sangat penting. PLTB atau Pembangkit Listrik Tenaga Bayu merupakan salah satu energi terbarukan yang sedang dikembangkan di Indonesia. Secara umum turbin angin dibagi atas turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal memiliki efisiensi yang tinggi tetapi membutuhkan kecepatan angin yang besar. Turbin angin sumbu vertikal cocok untuk dikembangkan di Indonesia karena bisa berputar pada hembusan angin kecepatan rendah. Namun demikian turbin angin sumbu vertikal type darius tidak memiliki kemampuan untuk berputar sendiri (*self starting*). Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi dengan menggabungkan turbin darius dan savonius. Penggabungan ini membuat turbin kombinasi bisa berputar sendiri. Namun demikian ada masalah yang dihadapi yaitu keberadaan turbin savonius membuat turbin gabungan secara umum berpotensi turun efisiensinya. Optimasi perlu dilakukan agar didapatkan kombinasi yang tepat yaitu turbin angin gabungan yang bisa *self starting* tetapi juga tidak menurunkan nilai efisiensinya. Hal inilah yang melatarbelakangi penelitian ini.

Telah banyak dilakukan penelitian yang berkaitan dengan turbin angin sumbu vertikal. Fokus utama penelitian adalah untuk meningkatkan efisiensi turbin. Hamsir dkk [1] melakukan penelitian tentang turbin angin savonius dengan blade membentuk sudut. Penelitian yang dilakukan telah mendapatkan sudut blade yang paling optimum dalam sebuah VAWT type savonius 3 sudu. Penelitian berikutnya membahas desain VAWT versi mikro pada daerah dengan kecepatan angin yang rendah [2]. Walaupun dalam penelitian lain disimpulkan bahwa kenaikan sudut sudu turbin savonius menurunkan unjuk kerja turbin [3]. Namun itu hanya pada kondisi tertentu saja. Untuk rumah tangga

penelitian sebelumnya dengan menggunakan variabel panjang lengan sebagai variabel yang diteliti [4]. Panjang lengan dimodifikasi dengan roda gigi untuk menghasilkan daya yang paling besar dari segala variasi yang ada. Perbandingan antara tinggi turbin dibandingkan diameter turbin disebut aspek rasio.

Muzni dkk telah melakukan penelitian tentang pengaruh aspek ratio terhadap kecepatan turbin dan pada ketinggian 15 cm pada diameter 20 cm didapatkan putaran yang paling tinggi [5]. Rasyid dkk. melakukan penelitian pengaruh jumlah stage terhadap kinerja turbin dengan keluaran yaitu torsi, putaran poros dan daya. Penelitian ini membuktikan bahwa turbin angin sumbu vertikal 2 stage memiliki efisiensi tertinggi pada sudu berbentuk L [6]. Analisa kelengkungan turbin pada sudut 90° oleh Pitriadi Peri dkk menghasilkan kesimpulan kinerja terbaik dari kincir angin sumbu vertikal tiga sudu dengan kelengkungan 90° memiliki nilai koefisien power tertinggi pada kecepatan angin = 2,2 m/s yaitu 0,4.[7].

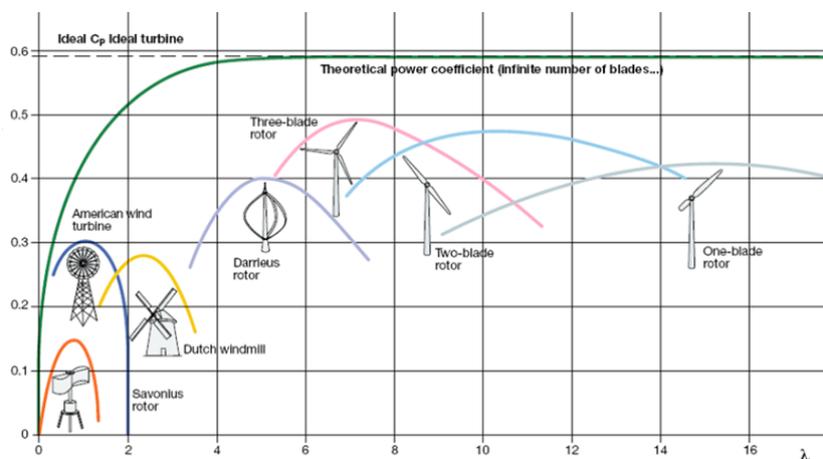
Small wind turbine merupakan turbin angin dalam bentuk kecil [8] dan mendapatkan bentuk yang lengkap berkaitan dengan kebutuhan dan ketersediaan angin pada lokasi tersebut. Sedangkan turbin angin portable telah diusulkan oleh Nakhoda dkk [9] yaitu type kecil yang bisa dibawa ke tempat yang dirasa banyak terdapat angin. Pada model ini sangat efektif dalam penggunaan yang berdaya kecil namun sangat efisien dalam mobilitas yang tinggi. Ini sangat cocok diterapkan di daerah terpencil.

Penggunaan metode numerik pada penelitian turbin angin telah dilakukan oleh Brusca dan menyimpulkan bahwa makin besar Reynold Number unjuk kerja turbin makin meningkat [10]. Dengan simulasi komputer menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamic) dilakukan oleh A. Alaimo dkk dengan meneliti turbin angin vertikal type helix dan straight dalam pemodelan 2 dimensi dan 3 dimensi. Dari pemodelan 3 dimensi terlihat turbin angin type helix memiliki torsi rata rata sebesar 8.75% dibanding type *straight* [11].

Turbin angin sumbu vertikal bisa dikenakan angin dari arah mana saja. Selain itu turbin angin sumbu vertikal memiliki self starting yang rendah, khususnya turbin angin savonius. Rangga dkk telah memodifikasi sudut sudu turbin angin vertikal type savonius bertingkat yang sudunya berbentuk setengah lingkaran [12]. Jika turbin angin sumbu vertikal Savonius bekerja berdasarkan drag maka turbin angin darius bekerja berdasarkan lift. Penampang turbin angin darius adalah airfoil dengan kode NACA tertentu [13]–[17].

Secara umum turbin angin darius memiliki efisiensi yang lebih besar daripada turbin angin savonius. Namun demikian turbin angin darius tidak bisa berputar sendiri. Harus ada bantuan putaran pada saat memulai putaran. Penelitian yang berkaitan dengan kombinasi savonius – darius telah dilakukan [14]. Akan tetapi hasil yang didapat sangat dipengaruhi oleh jenis darius dan savonius yang dipakai. Penelitian ini akan mengungkap lebih jauh tentang optimasi kombinasi turbin savonius – darius agar mendapatkan desain turbin yang optimum.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, grafik TSR (Tip Speed Ratio) dengan C_p (Coeffisien of Power) adalah sebagai berikut:

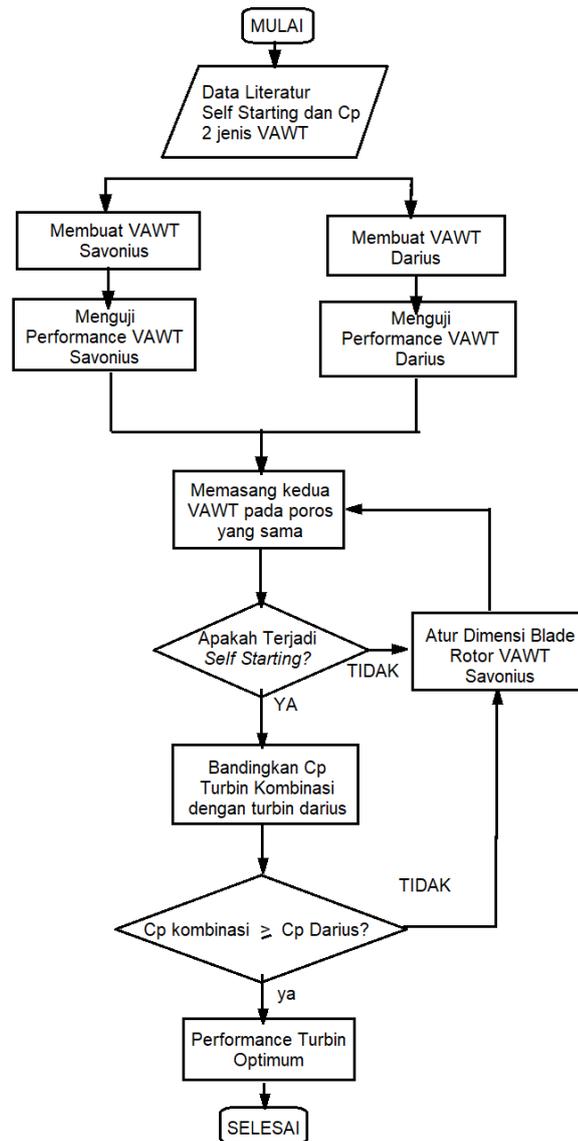


Gambar 1. C_p sebagai fungsi TSR pada beberapa jenis turbin angin [18]

Pada gambar 1 terlihat Turbin savonius memiliki TSR dan C_p paling kecil sedangkan Turbin darius memiliki TSR dan C_p lebih tinggi tetapi turbin darius tidak bisa terjadi *self starting*.

METODE

Penelitian ini menggunakan metodologi sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Sebagaimana pada gambar 2, diagram alir percobaan dimulai dengan mendapatkan referensi dari literatur tentang data kedua jenis turbin yang akan dikombinasi. Kedua jenis turbin dibuat dan diuji performansinya. Setelah itu dilanjutkan melakukan penggabungan kedua rotor dan diuji pertama kali adalah kemampuan self starting. Jika belum terjadi self starting maka blade savonius perlu didesain ulang. Jika self starting sudah terjadi maka perlu dilihat Cp maksimum turbin kombinasi apakah minimal sama dengan Cp darius sebelumnya. Jika kondisi ini sudah tercapai maka penelitian sudah berhasil mendapatkan jawaban atas state of the art. Jika belum tercapai maka perlu dilakukan optimasi baik pada rotor darius maupun savonius. Cp (*Coefficient of Power*) didapat dengan membandingkan daya turbin dengan daya angin. Dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{angin}} \quad (1)$$



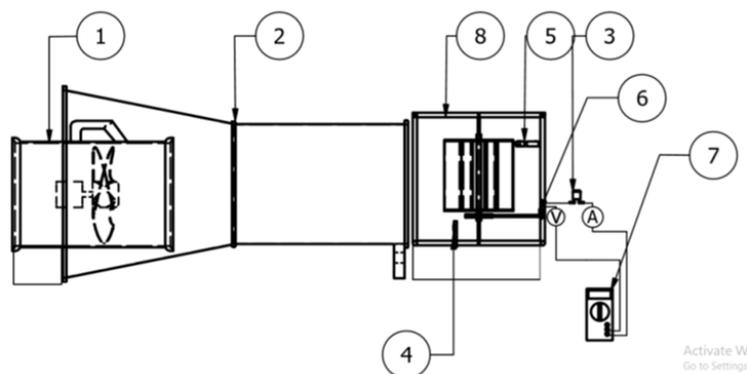
Gambar 3. Turbin Angin Hibrid Savonius – Darius

Turbin angin hibrid Savonius – Darius seperti ditunjukkan pada gambar 3 merupakan gabungan antara kedua jenis turbin. Turbin savonius diletakkan pada bagian dalam dengan panjang bervariasi antara 12 cm sampai dengan 20 cm berselang 2 cm. Turbin darius murni juga diuji sebagai pembandingan.



Gambar 4. Terowongan Angin

Terowongan angin pada gambar 4 berfungsi menaikkan kecepatan angin dengan menurunkan luasan terowongan menjadi 25 cm x 25 cm sesuai bentuk turbin hibrid yang diuji.



Gambar 5. Bagian-bagian alat pengujian

Keterangan:

1. Blower
2. Terowongan angin
3. Resistor 100 ohm
4. Anemometer
5. Tachometer
6. Dinamo 12 Volt
7. Multitester
8. Rumah turbin

Gambar 5 merupakan bagian-bagian terowongan angin secara lengkap dimulai dari *blower* sampai dengan peralatan yang diperlukan pada pengujian. Daya yang dihasilkan turbin dihitung dari daya listrik yang dihasilkan oleh dinamo. Kemudian dengan memperhitungkan efisiensi dinamo dan efisiensi sistem mekanis didapatkan daya turbin. Daya turbin ini dibandingkan dengan daya ideal angin pada luasan tertentu sehingga didapatkan C_p atau *Coefficient of Power*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

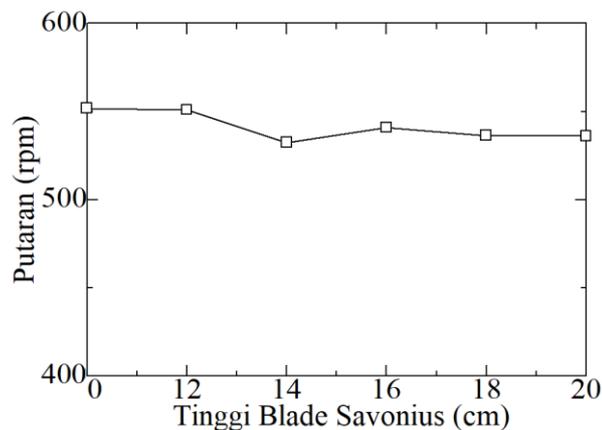
Tabel 1. Data Hasil Pengujian

Modifikasi	Waktu Awal Putaran (s)	Waktu Putaran Konstan (s)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran poros (rpm)	Arus (A)	Suhu ($^{\circ}$ C)	Tegangan (V)	Daya Turbin (watt)	Tips Speed Rasio (TSR)	C_p
Tanpa Modifikasi	-	-	7,26	551,72	0,0586	28,9	5,794	0,4335	1,193	0,0282
Penambahan Savonius 12 cm	4,75	23,69	7,33	550,92	0,0570	28,9	5,729	0,4171	1,180	0,0263
Penambahan Savonius 14 cm	3,01	21,22	7,31	532,42	0,0546	29,1	5,460	0,3806	1,143	0,0242
Penambahan Savonius 16 cm	2,66	19,81	7,31	540,82	0,0547	29,5	5,510	0,3846	1,161	0,0245
Penambahan Savonius 18 cm	2,60	19,76	7,42	536,35	0,0534	29,7	5,370	0,3660	1,134	0,0223
Penambahan Savonius 20 cm	2,54	17,80	7,45	536,07	0,0531	29,8	5,380	0,3649	1,129	0,0219

Tabel 1 merupakan hasil pengujian di laboratorium. Pengambilan data dilakukan sesuai dengan desain eksperimen yang telah ditetapkan.

B. Pengaruh Penambahan Blade Savonius pada Turbin terhadap putaran.

Pengujian putaran dilakukan dengan menggunakan tachometer yang ditembakkan pada poros turbin yang sudah diberi reflektor. Pengaruh pemasangan blade savonius pada turbin angin terhadap putaran turbin bisa dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Penambahan Blade Savonius terhadap putaran turbin

Penambahan blade savonius mulai dari nol (tanpa penambahan), 12 cm sampai dengan 20 cm menunjukkan terjadi penurunan kecepatan putar dari sebelumnya 551 rpm menjadi 536 rpm (penambahan 20cm). Hal ini disebabkan turbin savonius yang bekerja secara drag justru akan menurunkan kecepatan putar secara umum. Ketika turbin darius yang

bekerja secara lift meningkat kecepatan putarnya, gaya drag dari savonius menyebabkan putaran turun. Semakin besar dimensi savonius semakin turun putaran porosnya.

C. Pengaruh Penambahan Blade Savonius pada Turbin terhadap *Tips Speed Ratio*

Tips Speed Ratio merupakan perbandingan kecepatan antara ujung turbin dan kecepatan angin yang berhembus. Jika kecepatan angin sama dan kecepatan putar berubah maka TSR juga berubah. Penurunan kecepatan putar akibat adanya turbin savonius menyebabkan TSR juga berubah.

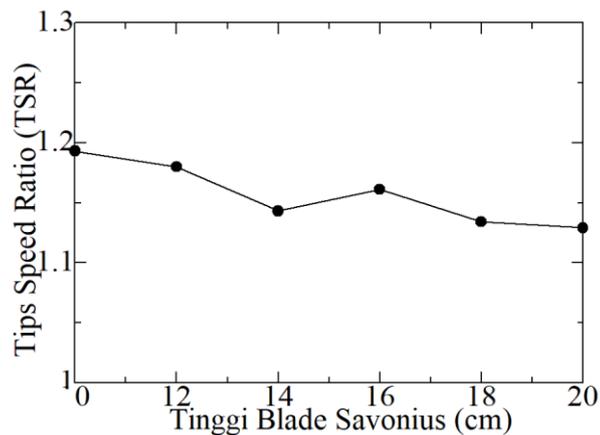
$$TSR = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot v} \quad (2)$$

TSR = Tip speed ratio (rad/s)

D = Diameter Turbin (m)

n = Putaran Poros (rpm)

v = Kecepatan Angin (m/s)

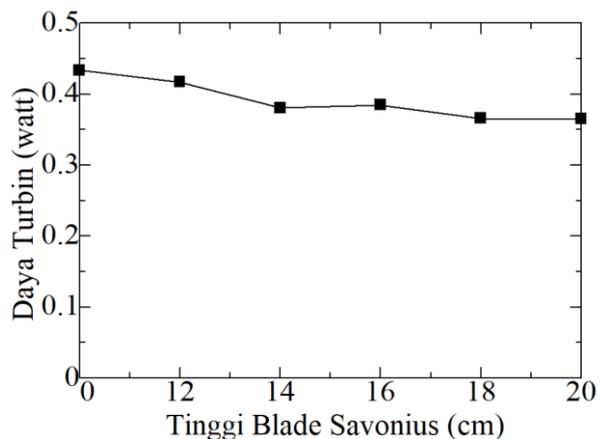


Gambar 7. Pengaruh Penambahan Blade Savonius terhadap TSR

Gambar 7 menunjukkan TSR tertinggi terjadi pada turbin tanpa penambahan savonius sebesar 1.193 dan terendah pada penambahan bilah savonius 20 cm sebesar 1.129.

D. Pengaruh Penambahan Blade Savonius terhadap Daya Turbin

Daya turbin pada penelitian ini dihitung dari daya listrik yang dihasilkan oleh dinamo. Dengan memerhitungkan efisiensi dinamo dan efisiensi mekanis dari sistem puli maka didapatkan daya turbin. Bisa dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh Penambahan Blade Savonius terhadap Daya Turbin

Gambar 8 menunjukkan daya turbin tanpa savonius mula-mula adalah sebesar 0.434-watt berangsur turun pada penambahan blade 20 cm sebesar 0.365 watt. Pada prinsipnya penurunan putaran poros berakibat penurunan daya turbin pada kondisi kecepatan angin yang sama.

E. Pengaruh Penambahan Blade Savonius terhadap Cp

C_p (*Coeffisien of Power*) didefinisikan sebagai daya turbin dibandingkan dengan daya angin pada luasan turbin yang dilalui angin. Dirumuskan dalam

$$C_p = \frac{P_t}{P_a} = \frac{P_t}{\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot v^3} \quad (3)$$

Dimana: C_p = Coefisien Power

P_t = Daya turbin (Watt)

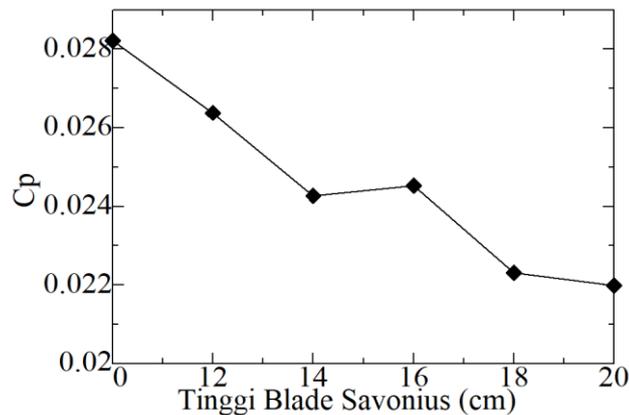
P_a = Daya angin (Watt)

ρ = Massa jenis angin (Kg/m^3)

A = Luas penampang pelintang aliran (m^2)

v = Kecepatan angin (m/s)

Pada penelitian ini hubungan penambahan bilah savonius dapat dilihat pada gambar 9.

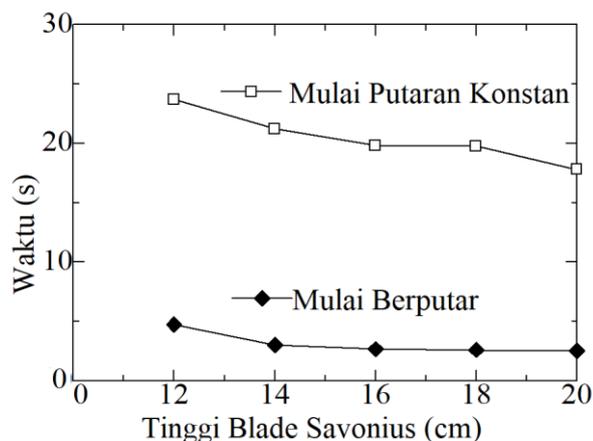


Gambar 9. Pengaruh Penambahan Blade Savonius terhadap Cp

Dari gambar 9 terlihat bahwa penambahan blade savonius menurunkan nilai Cp. Dari sebelumnya 0.028 tanpa penambahan menjadi 0.022 pada penambahan 20 cm blade savonius. Penurunan Cp ini terjadi akibat penurunan daya, penurunan kecepatan putar dengan adanya penambahan blade savonius yang bekerja berdasarkan drag.

F. Pengaruh Penambahan Blade Savonius terhadap Kemampuan Self Starting

Hal terpenting dari penambahan savonius adalah memberikan turbin darius kemampuan melakukan self-starting. Tanpa adanya savonius tidak ada kemampuan self-starting walaupun mendapatkan angin yang kencang.



Gambar 10. Pengaruh Penambahan Blade Savonius terhadap Kemampuan Self Starting

Pada gambar 10 terlihat bahwa tanpa penambahan blade savonius (nilai nol) tidak ada kemampuan berputar sendiri. Walaupun ditunggu seberapa pun tidak ada putaran yang terjadi. Penambahan blade savonius memberikan efek gaya drag yang memberi kemampuan turbin untuk berputar sendiri tanpa ada torsi awal.

Pada penambahan blade 12 cm, turbin mulai berputar setelah 4.75 detik dan berputar pada kecepatan konstan setelah 23.69 detik. Pada penambahan blade 20 cm turbin mulai berputar setelah 2.54 detik dan berputar konstan setelah 17.80 detik.

KESIMPULAN

Turbin angin HIBRID atau gabungan savonius dan darius terbukti bisa meningkatkan kemampuan secara umum. Penambahan bilah savonius pada turbin bisa memberikan efek kemampuan berputar sendiri ketika tertiuip angin. Memang penambahan bilah savonius ini bisa menurunkan kemampuan putaran dan efisiensi namun perlu dipertimbangkan bilah yang paling kecil menurunkan efisiensi.

Turbin angin sumbu vertikal hybrid savonius-darrieus yang telah dibuat memiliki kemampuan self starting yang cukup baik jika tertiuip angin dengan kecepatan rata-rata 7,3 m/s pada semua jenis variasi tinggi bilah savonius. Variasi turbin angin sumbu vertikal hybrid savonius-darrieus yang paling optimum dan memiliki kemampuan self starting adalah variasi dengan tinggi bilah savonius 12 cm, yaitu memiliki daya turbin sebesar 0,42 Watt, dengan putaran poros turbin 550,92 rpm dan rasio kecepatan ujung (tip speed ratio) sebesar 1,18, serta efisiensi turbin sebesar 2,6%. Variasi jenis ini mempunyai waktu self starting 4,75 detik apabila tertiuip angin dengan kecepatan rata-rata 7,3 m/s dan untuk menuju ke putaran konstan memerlukan waktu 18,94 detik..

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih saya persembahkan kepada LPPM dan Fakultas Teknik yang telah mengalokasikan dana PKPUT Fakultas 2023 kepada tim peneliti sehingga penelitian ini bisa dilakukan dengan baik.

REFERENSI

- [1] I. hamsir Ayub Wahab, "Optimization of the Vertical Axis Wind Turbine as a Renewable Energy Plant in North Maluku," in *International Conference on Innovation in Science, Health and Technology*, 2020.
- [2] D. Nongdhar, B. Goswami, P. Gogoi, and S. Borkataky, "Design of Horizontal Axis Micro Wind Turbine for Low Wind Speed Areas," *ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*, vol. 2, no. 2, pp. 39–47, 2018, [Online]. Available: www.tinyurl.com/ajeee-adbu
- [3] I. B. Alit, N. Nurchayati, and S. H. Pamuji, "Turbin angin poros vertikal tipe Savonius bertingkat dengan variasi posisi sudut," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 107–112, 2016, doi: 10.29303/d.v6i2.13.
- [4] A. Putranto, A. Prasetyo, and A. Zاتمiko, *Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga*. 2011.
- [5] M. M. Herbalubun, W. Hardi, and R. Hartono, "Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan Optimasi Panjang Turbin," *Dinamika*, vol. 6, pp. 58–62, 2021, [Online]. Available: <http://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/Dinamik/article/view/4107%0Ahttp://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/Dinamik/article/view/4107/2647>
- [6] K. S. Rasyid, S. Sudarno, and W. T. Putra, "PENGARUH VARIASI JUMLAH STAGE TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL SAVONIUS TIPE- L," *KOMPUTEK*, 2018, doi: 10.24269/jkt.v2i1.62.
- [7] P. Pitriadi, R. Bachmid, and I. M. Susanto, "ANALISIS PERFORMANCE KINCIR ANGIN SUMBU VERTIKAL TIGA SUDUT DENGAN KELENGKUNGAN 90°," *Jurnal Poli-Teknologi*, 2018, doi: 10.32722/pt.v17i2.1234.
- [8] J. Castillo, "Small-Scale Vertical Axis Wind Turbine Design," *Ieee*, 2011, doi: 10.1002/2014JC010017.
- [9] Y. I. Nakhoda and C. Saleh, "Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen," *Jurnal Inovatif*, 2015.
- [10] S. Brusca, R. Lanzafame, and M. Messina, "Design of a vertical-axis wind turbine: how the aspect ratio affects the turbine's performance," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 5, no. 4, pp. 333–340, 2014, doi: 10.1007/s40095-014-0129-x.
- [11] A. Alaimo, A. Esposito, A. Messineo, C. Orlando, and D. Tumino, "3D CFD analysis of a vertical axis wind turbine," *Energies (Basel)*, vol. 8, no. 4, pp. 3013–3033, 2015, doi: 10.3390/en8043013.
- [12] R. Pangestu and P. N. Bandung, "Turbin Angin Vertikal Savonius Bertingkat Membentuk Helix SAVONIUS BERTINGKAT DENGAN VARIASI BLADE ' SAVONIUS HELICAL L ROTOR ' Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu tugas Operasi Sistem Energi II Program Studi Diploma III Teknik Konversi Energi D," no. June, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.14852.73600.
- [13] A. Tools, "Airfoil database search (NACA 4 digit)," Airfoil Tools.

- [14] F. M. Akbar and C. Rangkuti, "Pengujian Kinerja Turbin Angin Kombinasi Darrieus," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Trisakti*, vol. 1, no. 1, pp. 173–178, 2018.
- [15] S. W. Wasianti, F. A. Augusta, V. R. P. Purwanto, P. Wulandari, and A. Syahrirar, "Darrieus type vertical axis wind turbine (VAWT) design," *J Phys Conf Ser*, vol. 1517, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1517/1/012064.
- [16] A. Fadila and I. Zakaria, "Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga dengan Profil NACA 0006," *Eksergi*, vol. 15, no. 3, p. 102, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1785.
- [17] D. N. Ramadhani, "Design and Simulation of Vertical Sumbu Wind Turbines With Balance Rotor Sudu 0021 Desain Dan Simulasi Turbin Angin Sumbu Vertikal Dengan Sudu Rotor Naca 0021," *Procedia of Engineering and Life Science*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [18] "Figure 3. Cp to TSR in different types of wind turbines [5] : Review of Recent Advances of Wind Energy : Science and Education Publishing." Accessed: Feb. 09, 2023. [Online]. Available: <http://pubs.sciepub.com/rse/8/1/3/figure/3>