

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN WINGLET TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN DARRIEUS

Muh Syukron Halimi¹. Unung Lesmanah². Nur Robbi³

¹Universitas Islam Malang

Email : 22211052074@unisma.ac.id

²Universitas Islam Malang

Email : Ununglesmanah@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang

Email : nurrobby@unisma.ac.id

Abstrak

Turbin angin Darrieus adalah turbin jenis sumbu vertikal, memiliki keunggulan dalam menangkap angin dari berbagai arah, namun sering mengalami penurunan efisiensi akibat pembentukan vortex di ujung bilah. Penambahan winglet sebagai solusi aerodinamis diharapkan dapat mengurangi efek vortex dan meningkatkan stabilitas serta efisiensi operasional turbin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan winglet terhadap performa turbin angin Darrieus. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan perbandingan antara turbin dengan dan tanpa winglet pada kondisi kecepatan angin yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan winglet secara signifikan meningkatkan kecepatan putaran dan efisiensi turbin, di mana turbin dengan winglet mencapai efisiensi tertinggi sebesar 0,948% pada kecepatan angin 3,8 m/s, sedangkan turbin tanpa winglet mencapai efisiensi maksimum 0,917% pada kecepatan 4,2 m/s. Temuan ini menunjukkan bahwa winglet tidak hanya meningkatkan performa turbin pada kecepatan angin rendah hingga menengah, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga konsistensi koefisien daya di berbagai kondisi angin.

Kata Kunci : Turbin Darrieus, Vortex, Winglet

Abstract

The Darrieus wind turbine, a type of vertical-axis wind turbine, has the advantage of capturing wind from various directions but often experiences efficiency losses due to vortex formation at the blade tips. The addition of winglets as an aerodynamic solution is expected to reduce vortex effects and enhance the stability and operational efficiency of the turbine. This study aims to analyze the effect of winglet addition on the performance of a Darrieus wind turbine. The research method used is experimental, comparing turbines with and without winglets under different wind speed conditions. The results show that the addition of winglets significantly increases the rotational speed and efficiency of the turbine, with the turbine equipped with winglets achieving a maximum efficiency of 0.948% at a wind speed of 3.8 m/s, while the turbine without winglets reached a maximum efficiency of 0.917% at a wind speed of 4.2 m/s. These findings indicate that winglets not only improve turbine performance at low to medium wind speeds but also contribute to maintaining a consistent power coefficient under varying wind conditions.

Keyword : Darrieus Wind Turbine, Vortex, Winglet

1. PENDAHULUAN

Energi angin dapat dianggap sebagai turunan energi matahari dikarenakan angin berasal dari perbedaan tekanan udara yang disebabkan oleh suhu permukaan bumi yang tidak merata (P et al., 2016). Salah satu cara untuk memanfaatkan energi angin yang ada di alam yaitu dengan mengubahnya menjadi energi listrik dengan memanfaatkan turbin angin. Salah satu jenis turbin angin yang umum digunakan akan turbin angin darrieus, Turbin angin darrieus sendiri termasuk dalam jenis turbin VAWT

Turbin VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) adalah jenis turbin angin yang memiliki poros rotor utama yang tegak lurus vertikal ke atas. Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal (HAWT), turbin VAWT tidak perlu menghadap ke arah angin untuk beroperasi, sehingga lebih fleksibel dalam kondisi angin yang berubah-ubah. Turbin ini dapat menangkap angin dari segala arah, membuatnya cocok untuk lokasi dengan turbulensi angin tinggi atau arah angin yang tidak konsisten (Aslam Bhutta et al., 2012).

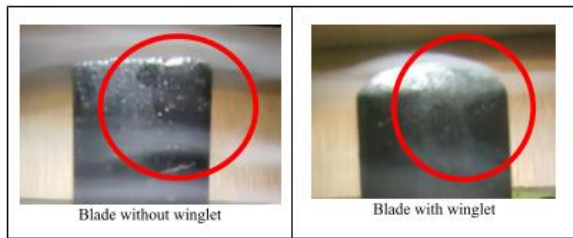
Turbin darrieus bekerja berdasarkan prinsip gaya *lift* (angkat), di mana bilah berbentuk *airfoil* (seperti sayap pesawat) memungkinkan udara mengalir lebih cepat di satu sisi bilah daripada di sisi lainnya. Perbedaan kecepatan aliran udara ini menciptakan tekanan yang lebih rendah di satu sisi bilah, sehingga menghasilkan gaya angkat yang memutar bilah. Putaran bilah ini

kemudian diubah menjadi energi mekanik dan selanjutnya menjadi energi listrik melalui generator (Islam et al., 2008). Karena bentuknya yang memiliki *airfoil* maka pada ujung bilah terjadi fenomena *vortex*, maka pada penelitian ini dilakukan pengujian pemasangan *winglet* untuk meminimalkan efek dari *vortex*.

Menurut (Paraschivoiu, 2002) *vortex* pada turbin Darrieus merujuk pada fenomena aerodinamis yang terjadi di sekitar bilah (blade) turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*, VAWT) jenis Darrieus. Turbin Darrieus memiliki bilah yang berbentuk *airfoil* (mirip sayap pesawat) dan berputar mengelilingi sumbu vertikal. Selama operasi, aliran udara yang melewati bilah dapat menghasilkan pusaran (*vortex*) yang memengaruhi efisiensi dan performa turbin. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Acosta-López et al., 2023) ditemukan bahwa di atas bilah dari turbin darrieus terjadi pusaran angin (*vortex*) akibat perbedaan tekanan yang disebabkan bentuk *airfoil*.

Winglet adalah perpanjangan ujung sayap yang berbentuk vertikal atau miring, berfungsi untuk mengurangi pusaran udara di ujung sayap. Dengan cara ini, *winglet* dapat menekan gaya hambat yang diakibatkan oleh *induced drag* dan meningkatkan efisiensi. Selain itu, *winglet* juga meningkatkan *aspect ratio* tanpa memberikan tambahan beban struktural yang besar, sehingga tidak secara

signifikan menambah bobot pesawat. (Ibrahim et al., 2024).



Gambar 1. 1 View of the vortex on the wind turbine blade.

Sumber : (Amir et al., 2024)

Pada pengujian turbin angin tanpa *winglet*, terlihat pada gambar 1.1 bahwa pusaran yang terjadi pada ujung balok lebih cenderung menyebabkan penghalang udara yang lebih besar, sedangkan pada turbin angin dengan *winglet* pusaran yang terjadi pada tepi bilah, dapat didistribusikan ke ujung *winglet* terkecil sehingga penghalang udara dapat diminimalkan, yang menyebabkan peningkatan putaran turbin sehingga dapat meningkatkan efisiensi turbin angin vertikal tipe Darrieus H (Amir et al., 2024).

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu dimulai dengan cara membuat desain 3d dari turbin angin Darrieus H-rotor yang memiliki 2 desain yaitu desain tanpa *winglet* dan desain dengan *winglet* 90°, desain digunakan untuk pembuatan turbin secara nyata dengan menggunakan 3d printing, kemudian dilakukan uji lapangan antara turbin dengan *winglet* dan tanpa *winglet*. Penelitian

dilakukan di 2 tempat, yaitu : Pantai Balekambang, Kab Malang dan Gedung B lantai 7 Universitas Islam Malang, Kota Malang.

Pengujian experimental dilakukan untuk mengetahui kecepatan angin dengan menggunakan alat ukur anemometer, mengetahui kecepatan putaran turbin dengan menggunakan alat ukur tachometer, dan mengetahui besar tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator dengan menggunakan multimeter. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara statistik untuk menentukan hubungan antara penambahan *winglet* dan perbedaan kecepatan angin terhadap performa turbin angin darrieus yang dihasilkan.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa perhitungan, yaitu : perhitungan daya generator, daya potensi angin, dan koefisien daya.

Untuk mengetahui daya listrik(generator) dapat diketahui dengan rumus :

$$P_g = I \times V \dots \dots \dots (\text{Marabdi Siregar \& Lubis, 2019})$$

Dimana :

P_g = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Untuk mengetahui potensi daya angin dapat diketahui dengan rumus :

$$P_a = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \dots \dots \dots (\text{Marabdi Siregar \& Lubis, 2019})$$

Dimana :

P_a = Daya angin (Watt)

v = Kecepatan angin (m/s)

A = Luas sapuan *blade* (m²)

ρ = Massa jenis angin (1,204 kg/m³)

Untuk mengetahui koefisien daya yang dihasilkan turbin angin darrieus dapat diketahui dengan rumus :

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A v^3} \dots\dots\dots (\text{Luthfi Hakim et al., 2018})$$

Dimana :

P = daya yang dihasilkan (Watt)

A = luas penampang turbin (m²)

v = kecepatan angin (m/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m³) =
1.18415 kg/m³

ALAT PENELITIAN

1. Tachometer
2. Anemometer
3. Multimeter
4. Generator

BAHAN PENELITIAN

1. Turbin angin darrieus



Gambar 2.1 Turbin angin darrieus

Model turbin yang dibuat memiliki konfigurasi sebagai berikut :

<i>Number of blades</i>	: 4
<i>Aerofoil</i>	: NACA 0018
<i>Chord length</i> (m)	: 0,083
<i>Blade span</i> (m)	: 0,3
<i>Turbine radius</i> (m)	: 0,27
Panjang lintasan bilah (m)	: 2,355
<i>Panjang chord winglet</i> (m)	: 0,083
Panjang <i>winglet</i> (m)	: 0,103
Tinggi <i>winglet</i> (m)	: 0,096
Sudut <i>winglet</i>	: 90°
Material	: PLA+
<i>Solidity</i>	: 0,195

2. Winglet 90°

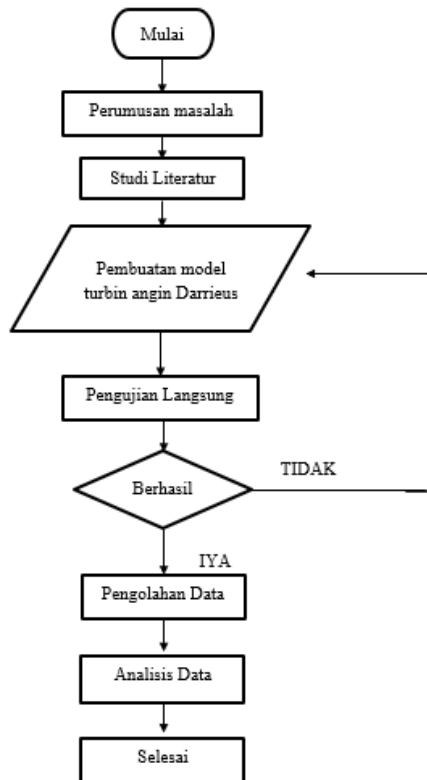


Gambar 2.2 Winglet 90°

Winglet yang digunakan memiliki konfigurasi sebagai berikut :

Kelengkungan	: 90°
<i>Aerofoil</i>	: NACA0018
Panjang <i>chord</i> (cm)	: 0,413
Panjang(cm)	: 4,37
Tinggi(cm)	: 5

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian Turbin Angin Darrieus

Tabel 3. 1 Uji self start

Konfigurasi Turbin	Kecepatan Angin (m/s)
Tanpa Winglet	4,2
Winglet 90	2,9

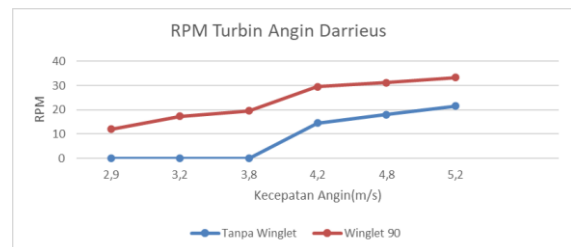
Tabel 3. 2 Hasil pengujian turbin angin darrieus tanpa winglet

N o	v(m/s)	V(vol t)	I(amper e)	RPM Turbin	RPM Generator	Daya Generator(watt)
1	2,9	0	0	0	0	0
2	2,9	0	0	0	0	0
3	3,2	0	0	0	0	0
4	3,2	0	0	0	0	0
5	4,8	0	0	0	0	0
6	4,8	0	0	0	0	0
7	4,2	0,124	0,13	6	12	0,01612
8	4,2	0,475	0,139	23	46	0,066025
9	4,8	0,374	0,105	19	38	0,03927
10	4,8	0,355	0,07	17	34	0,02485
11	5,2	0,326	0,069	16	32	0,022494
12	5,2	0,515	0,147	27	54	0,075705

Tabel 3. 3 Hasil pengujian turbin angin darrieus dengan winglet 90°

N o	v(m/s)	V(vol t)	I(amper e)	RPM Turbin	RPM Generator	Daya Generator(watt)
1	2,9	0,105	0,035	9	18	0,003675
2	2,9	0,299	0,071	15	30	0,021229
3	3,2	0,352	0,086	18	36	0,030272
4	3,2	0,327	0,107	16,5	33	0,034989
5	3,8	0,34	0,191	18	36	0,06494
6	3,8	0,4	0,13	21	42	0,052
7	4,2	0,709	0,082	34	68	0,058138
8	4,2	0,492	0,037	25	50	0,06396
9	4,8	0,709	0,032	35	70	0,09926
10	4,8	0,542	0,041	27,5	55	0,07046
11	5,2	0,602	0,082	31	62	0,0903
12	5,2	0,716	0,123	35,5	71	0,10024
13	6	0,846	0,089	42	84	0,075294
14	6,2	0,733	0,083	36	72	0,060839
15	6,3	0,52	0,105	25	50	0,0546
16	6,5	0,548	0,124	26	52	0,067952
17	7	0,886	0,269	44	88	0,238334

Analisis Kecepatan Putaran Turbin

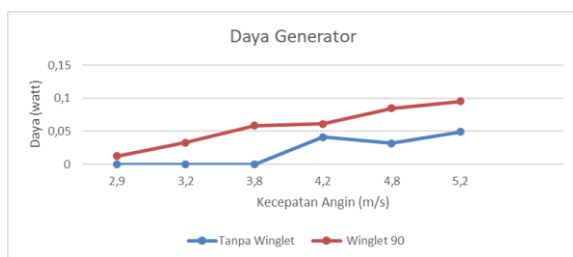


Gambar 3. 1 Grafik hasil pengujian RPM turbin angin darrieus

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa perbedaan kecepatan angin dan penambahan winglet sangat berpengaruh terhadap kecepatan putaran turbin. Pada kecepatan angin (2,9–3,2 m/s), turbin tanpa winglet tidak berputar, sementara turbin dengan winglet sudah mencapai 12–17,25 RPM. Pada kecepatan (3,8–4,8 m/s), turbin tanpa winglet mencapai 18 RPM, sedangkan turbin

dengan *winglet* mencapai 29,5–31,25 RPM. Pada kecepatan (5,2 m/s), turbin tanpa *winglet* hanya mencapai 21,5 RPM, sedangkan dengan *winglet* mencapai 33,25 RPM. Peningkatan ini terjadi karena meningkatnya gaya angkat akibat penambahan *winglet*, yang meningkatkan stabilitas aerodinamika dan efisiensi rotasi turbin.

Analisis Daya

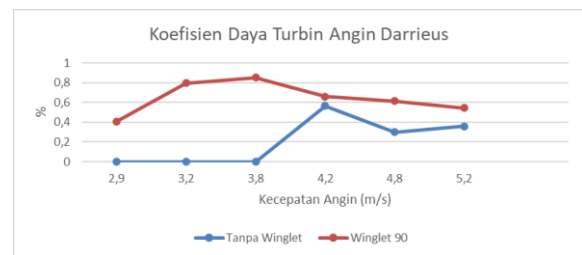


Gambar 3. 2 Grafik hasil pengujian daya generator turbin angin darrieus

Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka daya yang dihasilkan semakin besar pula dan dari grafik di atas dapat di lihat bahwa turbin yang ditambahkan *winglet* cenderung menghasilkan daya yang lebih tinggi. Pada kecepatan (2,9–3,2 m/s), turbin dengan *winglet* menghasilkan daya 0,012452–0,0326305 watt, lebih tinggi dibandingkan tanpa *winglet*. Pada kecepatan (3,8–4,2 m/s), turbin dengan *winglet* mencapai daya 0,05847 watt pada 3,8 m/s dan 0,061049 watt pada 4,2 m/s, sementara turbin tanpa *winglet* menghasilkan daya lebih rendah atau bahkan nol. Pada kecepatan (4,8–5,2 m/s), turbin dengan *winglet* mencapai daya maksimum 0,09527 watt pada 5,2 m/s, sedangkan tanpa

winglet hanya 0,0490995 watt. Secara keseluruhan, *winglet* meningkatkan efisiensi konversi energi dan daya turbin pada berbagai kecepatan angin.

Analisis Koefisien Daya



Gambar 3. 3 Grafik hasil pengujian koefisien daya turbin darrieus

Turbin dengan *winglet* menunjukkan performa lebih baik dibandingkan tanpa *winglet*. Pada kecepatan angin (2,9–3,8 m/s), turbin tanpa *winglet* tidak menghasilkan daya ($C_p = 0$), sedangkan turbin dengan *winglet* memiliki C_p tinggi hingga 0,854, menunjukkan peningkatan gaya angkat dan efisiensi aerodinamika. Pada kecepatan (4,2–4,8 m/s), turbin tanpa *winglet* mulai menghasilkan daya dengan C_p maksimal 0,395, tetapi masih lebih rendah dibandingkan turbin dengan *winglet* yang mencapai 0,66. Penurunan performa *winglet* pada kecepatan menengah disebabkan oleh resistensi aerodinamika tambahan. Pada kecepatan (5,2 m/s), perbedaan C_p semakin kecil, tetapi turbin dengan *winglet* tetap lebih efisien ($C_p = 0,543$). Secara keseluruhan, *winglet* meningkatkan efisiensi dan stabilitas

turbin angin Darrieus pada berbagai kecepatan angin.

Analisis ANOVA Dua Arah RPM Turbin

Tabel 3. 4 Hasil hitung uji ANOVA

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Drajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F Hitung
Rata-rata Baris	1729,1	5	345,8	12,29
Rata-rata Kolom	1312,7	1	1312,7	46,7
Interaksi	47,775	5	9,5	0,33
Error	309,375	11	28,12	
Total	3398,95	11		

Setelah dilakukan uji anova dua arah dan diketahui F_{Hitung} maka dapat ditarik kesimpulan:

- a. $F1_{hitung} > F1_{tabel}$, yaitu $12,29 > 3,11$ maka H_0 ditolak :

Jadi terdapat perbedaan yang signifikan pada perbedaan kecepatan angin terhadap RPM yang dihasilkan.

- b. $F2_{hitung} > F2_{tabel}$, yaitu $46,7 > 4,75$ maka H_0 ditolak :

Jadi terdapat perbedaan yang signifikan pada penambahan *winglet* terhadap RPM yang dihasilkan.

- c. $F3_{hitung} \leq F3_{tabel}$, yaitu $0,33 \leq 3,11$ maka H_0 diterima :

Jadi tidak terdapat interaksi antara perbedaan kecepatan angin dan penambahan *winglet* dalam mempengaruhi RPM yang dihasilkan oleh turbin angin darrieus.

Analisis ANOVA Dua Arah Daya Generator

Tabel 3. 5 Hasil hitung ANOVA

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Drajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F Hitung
Rata-rata Baris	0,06281788	5	0,012563576	39,5429
Rata-rata Kolom	0,008251005	1	0,008251005	25,9694
Interaksi	-0,047874029	5	-0,009574806	-30,136
Error	0,003494916	11	0,00031772	
Total	0,026689772	11		

Setelah dilakukan uji anova dua arah dan diketahui F_{Hitung} maka dapat ditarik kesimpulan:

- a. $F1_{hitung} > F1_{tabel}$, yaitu $29,5429 > 3,11$ maka H_0 ditolak :

Jadi terdapat perbedaan yang signifikan pada perbedaan kecepatan angin terhadap daya generator yang dihasilkan.

- b. $F2_{hitung} > F2_{tabel}$, yaitu $25,9694 > 4,75$ maka H_0 ditolak :

Jadi terdapat perbedaan yang signifikan pada penambahan *winglet* terhadap daya generator yang dihasilkan.

- c. $F3_{hitung} \leq F3_{tabel}$, yaitu $-30,1359 \leq 3,11$ maka H_0 diterima :

Jadi tidak terdapat interaksi antara perbedaan kecepatan angin dan penambahan *winglet* dalam mempengaruhi daya generator yang dihasilkan oleh turbin angin darrieus.

Analisis ANOVA Dua Arah Koefisien Daya

Tabel 3. 6 Hasil hitung ANOVA

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Drajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F Hitung
Rata-rata Baris	5,04711608	5	1,00942322	20,5135
Rata-rata Kolom	1,17296781	1	1,17296781	23,837
Interaksi	-4,1943984	5	-0,83887968	-17,048
Error	0,54128556	11	0,04920778	
Total	2,56697105	11		

Setelah dilakukan uji anova dua arah dan diketahui F_{Hitung} maka dapat ditarik kesimpulan:

- a. $F1_{hitung} > F1_{tabel}$, yaitu $20,5135 > 3,11$ maka H_0 ditolak :

Jadi terdapat perbedaan yang signifikan pada perbedaan kecepatan angin terhadap RPM yang dihasilkan.

- b. $F2_{hitung} > F2_{tabel}$, yaitu 23,8370 > 4,75 maka H_0 ditolak :

Jadi terdapat perbedaan yang signifikan pada penambahan *winglet* terhadap daya generator yang dihasilkan.

- c. $F3_{hitung} \leq F3_{tabel}$, yaitu -17,0477 $\leq 3,11$ maka H_0 diterima :

Jadi tidak terdapat interaksi antara perbedaan kecepatan angin dan penambahan *winglet* dalam mempengaruhi koefisien daya yang dihasilkan oleh turbin angin darrieus.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, mulai dari tahap proses penelitian, pengambilan data, hingga pengolahan data, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- a. Perbedaan kecepatan angin sangat mempengaruhi daya dan rpm yang dihasilkan turbin angin darrieus baik menggunakan *winglet* dan tanpa menggunakan *winglet*, semakin besar kecepatan angin yang dihasilkan maka semakin besar pula daya dan rpm yang dihasilkan oleh turbin angin. Perbedaan kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap efisiensi turbin angin darrieus, pada turbin darrieus dengan *winglet*

efisiensi tertinggi berada pada kecepatan angin 3,8 m/s sedangkan turbin angin darrieus tanpa *winglet* memiliki efisiensi tertinggi pada kecepatan angin 4,2 m/s.

- b. Penambahan *winglet* pada turbin angin darrieus berpengaruh terhadap karakteristik turbin angin, hal ini terjadi karena terjadi pemindahan peningkatan gaya angkat pada bilah turbin yang disebabkan oleh pemindahan *vortex* angin menjauhi ujung bilah. Turbin angin darrieus dengan *winglet* memiliki efisiensi tertinggi yaitu 0,948% pada kecepatan angin 3,8 m/s. Turbin angin darrieus tanpa *winglet* memiliki efisiensi tertinggi yaitu 0,917% pada kecepatan angin 4,2 m/s.

Secara keseluruhan, turbin dengan *winglet* memiliki kinerja yang lebih konsisten dalam mempertahankan koefisien daya di berbagai kecepatan angin, terutama pada kecepatan rendah dan menengah. Sementara itu, turbin tanpa *winglet* hanya menunjukkan lonjakan singkat pada kecepatan tertentu tetapi tidak mampu mempertahankan performa secara stabil. Penggunaan *winglet* terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi aerodinamis turbin angin Darrieus, terutama di kecepatan angin yang bervariasi.

SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai pengaruh *winglet* pada turbin angin Darrieus mencakup:

1. Optimasi desain *winglet* untuk meminimalkan resistensi aerodinamika,
2. Analisis pengaruh variasi sudut serang dalam kondisi turbulensi untuk meningkatkan efisiensi, dan
3. Eksplorasi material ringan dan tahan lama guna meningkatkan daya tahan serta efisiensi turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- Acosta-López, J. G., Blasetti, A. P., Lopez-Zamora, S., & de Lasa, H. (2023). CFD Modeling of an H-Type Darrieus VAWT under High Winds: The Vorticity Index and the Imminent Vortex Separation Condition. *Processes*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/pr11020644>
- Amir, A. I., Soenoko, R., Wijayanti, W., & Setiadhi, D. (2024). Advanced Turbine Working: Impact Of *Winglet* On Vertical Wind Turbine Darrieus Tipe H. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 5(1), 73–86. <https://doi.org/10.21776/mehta.2024.05.01.8>
- Aslam Bhutta, M. M., Hayat, N., Farooq, A. U., Ali, Z., Jamil, S. R., & Hussain, Z. (2012). Vertical axis wind turbine - A review of various configurations and design techniques. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 4, pp. 1926–1939). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.004>
- Ibrahim, M., Hasan Fauzi, A., & Wahyudi, H. (2024). *Analisis Computational Fluid Dynamics (CFD) Winglet Pesawat Hercules C-130J TNI AU* (Vol. 26, Issue 2).
- Islam, M., Ting, D. S. K., & Fartaj, A. (2008). Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 12, Issue 4, pp. 1087–1109). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.023>
- Luthfi Hakim, Rijano, A., & Muzaki, M. (2018). *Analisis Regresi Kecepatan Angin Terhadap Daya Turbin Angin Jenis VAWT Tipe Darrieus-Savonius*. <http://jetm.polinema.ac.id/>
- Marabdi Siregar, A., & Lubis, F. (2019). Uji Keandalan Prototipe Turbin Angin Savonius Tipe-U Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif. In *Teknik Mesin ITM* (Vol. 5, Issue 1).
- P Dida, H., Suparman, S., & Widhiyanuriyawan, D. (2016). Pemetaan Potensi Energi Angin di Perairan Indonesia Berdasarkan Data Satelit QuikScat dan WindSat. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(2), 95–101. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2016.07.02.7>
- Paraschivoiu, I. (2002). *Wind Turbine Design With Emphasis on Darrieus Concept*.