

## ANALISIS PERFORMA TURBIN ANGIN VAWT (*VERTICAL AXIS WIND TURBINE*) TIPE *HYBRID SAVONIUS DARRIEUS NACA 4712*

Muhammad Trifiananto<sup>1\*</sup>, Irvan Septianto Putra<sup>1</sup>, Mochamad Edoward Ramadhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

\*Email: [trifiananto@unej.ac.id](mailto:trifiananto@unej.ac.id)

### ABSTRACT

*A wind turbine is a device that converts wind energy into mechanical energy to produce electric power. Wind turbines have a simple working principle, which is to convert wind energy into mechanical energy in the windmill, then the rotation of the turbine makes the rotor on the generator rotate and generate electricity. There are 2 types of wind turbines: vertical axis wind turbine and horizontal axis wind turbine. This study aims to determine the performance of the medium-scale VAWT hybrid savonius darrieus NACA 4712 wind turbine. The hybrid wind turbine is a combination of savonius and darrieus wind turbines to increase efficiency by utilizing the drag of the savonius turbine and lift force from the darrieus wind turbine. This study used an experimental method. The fan is used to vary the wind speed. The wind speed used ranges from 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.1, 7.2, 7.3 m/s. This savonius darrieus hybrid wind turbine can produce efficiency of 0.037 at wind speed of 5 m/s with an initial torque of 0.088 N/m. The maximum rotation in this hybrid turbine study 118 Rpm was obtained at a wind speed of 7.3 m/s.*

*Keywords: wind turbine, savonius, darrieus, VAWT, hybrid wind turbine*

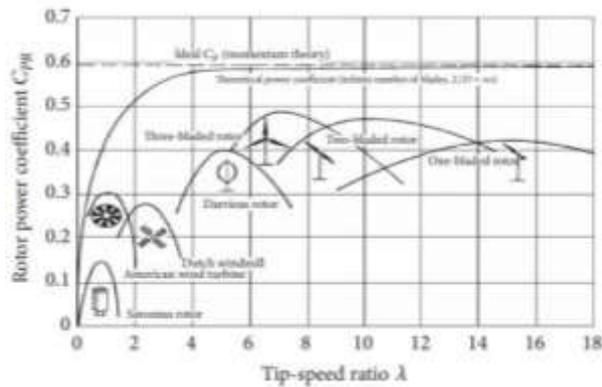
### PENDAHULUAN

Kebutuhan sumber energi pada suatu negara memang sangat dibutuhkan saat ini. Ketergantungan terhadap energi fosil saat ini dapat diatasi dengan mengembangkan energi bayu (angin) [1]. Di masa *global warming* akibat polusi dari energi yang merusak lingkungan, membuat para peneliti mencari sumber pemanfaatan energi yang lebih ramah lingkungan dan dapat digunakan [2]. Pemanfaatan energi ramah lingkungan yang banyak digunakan saat ini yaitu energi angin. Energi bayu merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi bayu dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pembangkit listrik, pemompaan air untuk irigasi, pengeringan atau pencacah hasil panen, aerasi tambak ikan/udang, dan lain sebagainya [3]. Energi ini bisa di manfaatkan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak atau energi lain yang tidak dapat diperbaharui dan berpotensi merusak lingkungan. Salah satu pemanfaatan energi bayu yang saat ini banyak di pakai yaitu turbin angin untuk pembangkit energi listrik [4]. Saat ini kebutuhan energi listrik sangat dibutuhkan, bukan hanya di daerah perkotaan saja namun di daerah desa-desa juga membutuhkan listrik, sehingga pembangunan energi listrik dilakukan hingga pelosok-pelosok desa [5].

Turbin angin mempunyai prinsip kerja yang sederhana yaitu merubah energi bayu menjadi energi mekanik pada kincir, kemudian putaran pada kincir membuat rotor pada generator dapat berputar dan menghasilkan listrik [6]. Listrik yang dihasilkan dapat disimpan di baterai atau dimanfaatkan langsung ke beban seperti lampu [7]. Suatu unsur yang dapat berpengaruh pada kondisi iklim dan cuaca adalah angin. Energi bayu yang bertiup pada mulanya terjadi karena

radiasi dari matahari yang tidak merata di permukaan bumi, sehingga adanya perbedaan suhu udara [8] [9].

Turbin angin dibagi menjadi dua kategori ditinjau dari sumbu porosnya berputar yaitu *vertical axis wind turbine (VAWT)* dan *horizontal axis wind turbine (HAWT)* [10]. Dalam perkembangannya turbin tipe horizontal tiga blade memiliki koefisien daya atau *power coefficient* ( $C_p$ ) yang lebih tinggi diantara turbin-turbin tipe lain mencapai 49% di  $TSR \approx 7$  Namun tidak ada yang melebihi  $C_p$  teoritis sebesar 59% sesuai teori BetzLimit. sedangkan semua tipe turbin vertical memiliki  $C_p$  yang lebih rendah dan tipe yang terendah ada di tipe *savonius* yang memiliki koefisien daya maksimum di 0,15 di  $TSR \approx 0,8$  seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 [11]. Untuk mendapatkan energi yang cukup untuk memutar turbin angin dan menghasilkan energi listrik, turbin angin membutuhkan angin yang cukup. Berdasarkan data kecepatan angin rata-rata di Indonesia pada tahun 2016 adalah 3,5-7 m/s [12]. Turbin *savonius* dan *darrieus* termasuk kedalam turbin tipe VAWT. Meskipun  $C_p$  Turbin VAWT lebih rendah dibandingkan HAWT namun VAWT memiliki beberapa keunggulan dibandingkan HAWT. Beberapa keunggulan VAWT diantaranya mampu menerima angin dari segala arah, mampu berputar pada kecepatan angin yang rendah, tingkat kebisingan yang rendah dan konstruksi yang lebih mudah [13]. Karena kelebihan tersebut banyak peneliti yang melakukan penelitian pada VAWT. Perkembangan penelitian turbin angin tipe *darrieus* dilakukan dengan pengembangan bentuk sudu yang berupa *airfoil*.



Gambar 1. Grafik perbandingan  $C_p$  berbagai turbin angin [11]

Bagi turbin *darrieus airfoil* merupakan perangkat aerodinamika penting yang mampu menghasilkan gaya angkat sehingga mampu memutar turbin. *Airfoil* telah distandarisasi oleh NACA (National Advisory Committee for Aeronautics). *Airfoil* NACA telah diberikan kode yang merepresentasikan fisik *airfoil*. Fridayana [14] melakukan penelitian dengan simulasi CFD untuk dengan membandingkan performa tiga profil *airfoil* turbin *darrieus* yaitu *Airfoil* NACA 4312, 4512 dan 4712 hasilnya NACA 4712 memiliki keunggulan pada *coefficient power* terbaik.  $C_p$  yang mampu dicapai oleh NACA 4712 ini yaitu 0.495 di TSR 3.25. Penelitian *Airfoil* NACA 4712 ini juga dilakukan oleh Susilo [15] pada turbin angin HAWT tiga sudu dengan komparasi NACA 4412 dengan menggunakan software Qblade, hasilnya NACA 4712 memiliki nilai *coefficient lift* (Cl) yang lebih tinggi daripada NACA 4412 yaitu sebesar  $Cl = 1.696$  dibandingkan NACA 4412 yang memiliki  $Cl = 1.628$ . Dari simulasi [15] juga didapatkan pada kecepatan angin 7.66 m/s NACA 4712 memiliki  $C_p = 0.49929$  dan NACA 4412 memiliki  $C_p = 0.395365$

Dalam upaya meningkatkan *power coefficient* ( $C_p$ ) turbin angin peneliti telah melakukan modifikasi berupa sudut pitch, bentuk sudu/rotor, dan melakukan kombinasi turbin. Penelitian dengan variasi sudut pitch  $0-30^\circ$  pada sudu *darrieus* untuk mengetahui performa turbin angin *savonius Type S - darrieus Type H* [16] hasilnya sudut  $30^\circ$  memiliki *Cut in speed* terendah dan memiliki *trend* semakin besar sudut *pitch* maka semakin kecil *Cut in speed* nya sehingga semakin mudah turbin untuk berputar pada kecepatan angin rendah. Penelitian untuk mengetahui daya maksimal dengan variasi kecepatan angin 2-7m/s dengan mengkombinasikan turbin angin *darrieus* dan *savonius* dengan 3 rotor *darrieus* dan 4 rotor *savonius* dilakukan oleh Akbar [17] didapatkan hasil semakin meningkat kecepatan angin maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Peningkatan daya listrik tertinggi dicapai setelah kecepatan angin melebihi 5,5m/s. Tercatat Turbin angin kombinasi *darrieus - savonius* memproduksi listrik 14% dan 75% lebih besar dibandingkan dengan turbin *darrieus* dan turbin *savonius* saja. Mizar [18] menganalisis pengaruh diameter cup pada kinerja daya turbin angin sumbu vertikal (VAWT)

tipe HC didapatkan semakin besar diameter rotor maka semakin besar koefisien torsi yang dihasilkan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui performa dari turbin angin VAWT *hybrid savonius darrieus* bersudu NACA 4712. Penelitian ini dilakukan karena peneliti sebelumnya belum ada yang melakukan penelitian eksperimental untuk mengkombinasikan turbin angin *savonius* dan *darrieus* dengan NACA 4712, kombinasi ini selanjutnya disebut *hybrid*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian secara ekperimental dilakukan pada turbin angin VAWT tipe *hybrid savonius darrieus* dengan memvariasikan kecepatan angin menggunakan kipas. Data yang diambil dalam penelitian ini yaitu rpm, torsi, tegangan generator, dan arus generator. Profil turbin ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil NACA 4712

Skema alat turbin angin yang dihubungkan ke generator dan ditempatkan pada rangka secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.



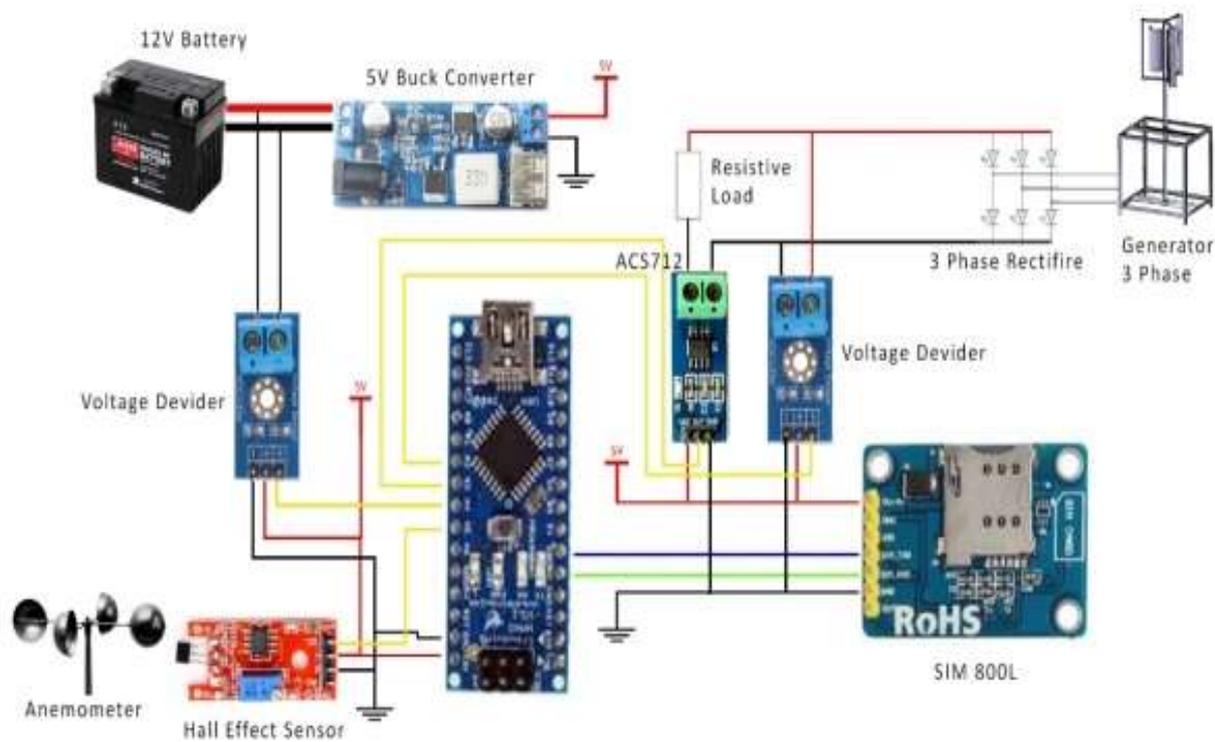
Gambar 3. Skema pengambilan data eksperimen

Pada turbin ini dialirkan udara dengan menggunakan kipas dengan variasi kecepatan 5m/s, 5.5m/s, 6m/s, 6.5 m/s, 7 m/s, 7.1 m/s, 7.2m/s, dan 7.3 m/s. Untuk mendapatkan data berupa kecepatan angin, tegangan dan arus digunakan perangkat Arduino Nano dan output data ditransmisi dengan menggunakan SIM800L. Sensor *voltage divider*

digunakan sebagai pengukur tegangan generator, Sensor ACS712 dan beban resistor 7 ohm digunakan untuk mengukur arus generator. Pada rangkaian alat ukur Gambar 4, alat ini mampu mengukur kecepatan angin, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator secara real time yang nantinya hasil pengukuran tersebut dapat dibaca melalui web dan otomatis tersimpan. Pengukuran putaran poros turbin diukur dengan tachometer digital dan pengukuran torsi menggunakan prinsip pembebanan pada poros menggunakan *turnbuckle* dan besarnya pembebanan diukur dengan timbangan digital. Gambar 5 adalah skema dari pengukuran torsi menggunakan timbangan digital dan *tunbuckle*. Diameter *pulley* pada pengereman ini 60 mm.



Gambar 5. Skema pembebanan poros pada turbin angin



Gambar 4. Skema alat ukur kecepatan angin, tegangan dan arus

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

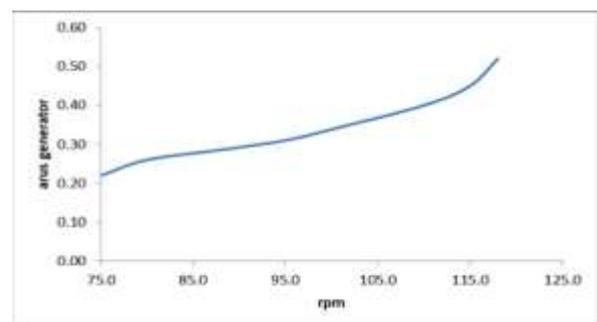
Tabel 1 merupakan hasil data yang diperoleh saat penelitian di laboratorium.

Tabel 1. Data hasil pengujian

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (rpm)	Torsi N/m	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)
5	75	0.088	1.65	0.22	0.363
5.5	80	0.131	1.77	0.26	0.460
6	88	0.227	2.00	0.29	0.571
6.5	95	0.296	2.20	0.31	0.682
7	100	0.393	2.37	0.34	0.802
7.1	110	0.400	2.45	0.40	0.980
7.2	115	0.413	2.50	0.45	1.125
7.3	118	0.456	2.60	0.52	1.352

**1. RPM terhadap arus**

Dari Gambar 6, pengujian turbin angin VAWT *hybrid* didapatkan data arus generator yang mana pada pengujian tersebut sudah diberi hambatan berupa *resistor 7 ohm*.

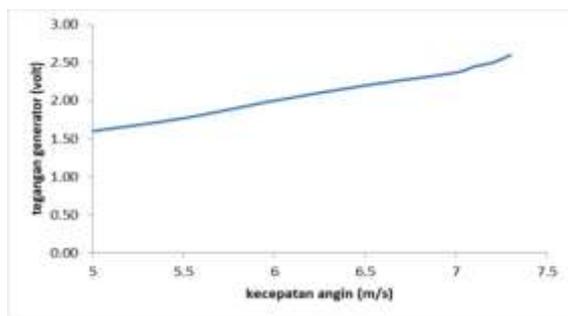


Gambar 6. Grafik Rpm terhadap arus

Semakin tinggi kecepatan angin maka poros turbin akan semakin kencang berputar sehingga arus keluaran generator juga akan semakin tinggi. Putaran tertinggi dari turbin *hybrid* sebesar 118 Rpm pada kecepatan angin 7,3m/s dan menghasilkan arus sebesar 0,52A. Dari gambar 6 dan 8 menunjukkan karakter turbin VAWT *hybrid* beroperasi pada kecepatan rendah, hal ini karena penambahan turbin savonius. Keuntungannya turbin VAWT *hybrid* mampu berputar pada kecepatan angin rendah

**2. Kecepatan angin terhadap tegangan generator**

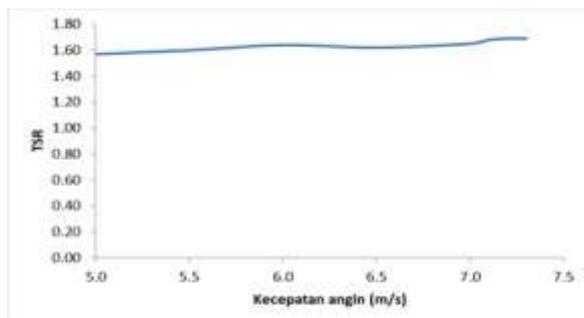
Pada Gambar 7 menunjukkan hasil tegangan generator maksimal sebesar 2.60 volt pada kecepatan angin 7,3m/s. Nilai tegangan tersebut tidak mengalami kenaikan lagi karena pengujian menggunakan kipas angin pada putaran maksimalnya.



Gambar 7. Grafik kecepatan angin terhadap tegangan generator

**3. Kecepatan angin terhadap TSR**

Gambar 8 menunjukkan perbandingan kecepatan angin terhadap Tip Speed Ratio. Nilai maksimum *Tip Speed Ratio* (TSR) pada Gambar tersebut menunjukkan 1,69 pada kecepatan angin 7,3 m/s.



Gambar 8. Grafik kecepatan angin terhadap TSR

Pada turbin angin kombinasi *hybrid* ini nilai TSR *savonius* dan *darrieus* dijumlah sehingga didapatkan nilai TSR total. Nilai TSR didapatkan dari persamaan (1) dan (2)

$$\lambda = \omega \times R / v \tag{1}$$

$$\omega: 2 \times \pi \times n / 60 \tag{2}$$

Keterangan:

$\omega$ : kecepatan sudut (radian/s)

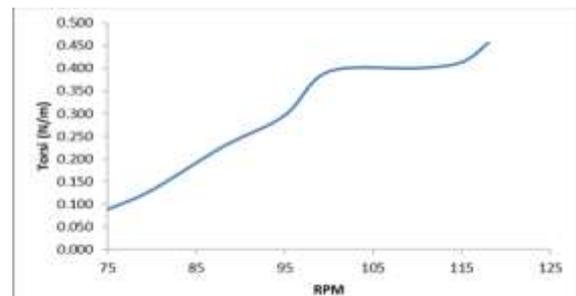
R: radius rotor (m)

v: kecepatan angin (m/s)

n: putaran turbin (rpm)

**4. Putaran terhadap torsi**

Pada Gambar 9 nilai torsi semakin meningkat seiring bertambahnya putaran. Peningkatan torsi pada putaran diatas 100 Rpm tidak setinggi saat 75-100 Rpm.



Gambar 9. Grafik arus terhadap torsi

Nilai torsi terbesar didapatkan sebesar 0.456 N/m pada Rpm 118. Nilai torsi didapatkan dari perhitungan sesuai rumus (3), (4), dan pengambilan data pembebanan pada timbangan digital.

$$T = F_t \times R_p \tag{3}$$

$$F_t = m \times g \tag{4}$$

Keterangan:

T: torsi (N/m)

$F_t$ : gaya turbin

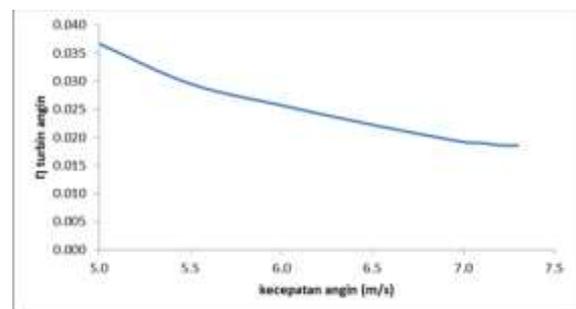
$R_p$ : radius pulley

m: massa (kg)

g: percepatan gravitasi (m/s)

**5. Kecepatan angin terhadap efisiensi turbin angin**

Pada Gambar 10 menunjukkan Grafik hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi turbin angin *hybrid*. Nilai efisiensi turbin tersebut tidak mengalami kenaikan karena semakin tinggi daya angin maka efisiensi yang dihasilkan pun semakin kecil [6].



Gambar 10. Grafik kecepatan angin terhadap efisiensi turbin angin

Hal ini dikarenakan kenaikan daya generator jauh lebih kecil daripada kenaikan kecepatan angin. Pada Gambar 10 garis grafik mengalami penurunan

cukup drastis setelah mencapai efisiensi maksimumnya yaitu 0.037, setelah itu grafik turun seiring bertambahnya kecepatan angin. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa turbin ini sangat optimal saat berputar pada kecepatan angin 5 m/s Karena dapat menghasilkan efisiensi 0.037. Efisiensi turbin didapatkan dengan rumus (5) (6) (7)

$$\eta = P_{generator} / P_{angin} \times 100\% \quad (5)$$

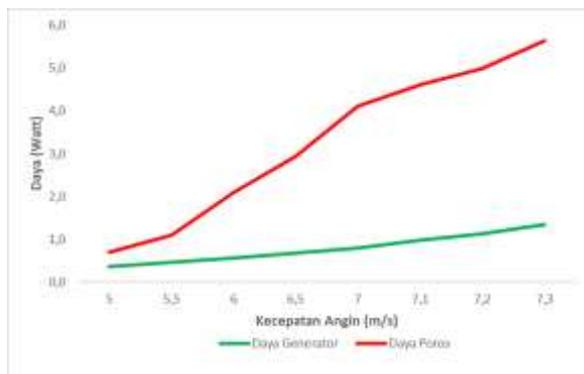
$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (6)$$

$$P_{generator} = VI \quad (7)$$

Keterangan:

- $P_{generator}$  : output generator (watt)
- $P_{angin}$  : daya angin (watt)
- $V$  : tegangan listrik (Volt)
- $I$  : arus listrik (ampere)
- $P_{angin}$  : Daya angin
- $\rho$  : massa jenis udara
- $A$  : luas penampang sudu
- $V$  : kecepatan angin

Dari Gambar 11 menunjukkan terdapat selisih yang cukup besar antara daya poros dan daya generator. Daya poros turbin *hybrid* sesuai rumus (8) tertinggi mencapai 5.63W pada kecepatan angin 7,3m/s sedangkan daya generator hanya mencapai 1,352 W.



Gambar 11. Grafik perbandingan daya poros dan daya generator

Dari hasil diatas menunjukkan efisiensi yang buruk dari generator dan juga turbin. Ini disebabkan karena kerugian yang cukup banyak pada turbin. Berdasarkan teorema Betz koefisien daya teoritis yang bisa diharapkan hanya 59,3%. Namun pada kenyataannya nilai tersebut akan terus berkurang seiring dengan banyaknya kerugian yang terjadi pada turbin angin [19].

$$BHP = \omega T \quad (8)$$

Keterangan:

- $BHP$  : Brake Horse Power
- $\Omega$  : kecepatan keliling sudu
- $T$  : torsi

Menurut Piggott [19] ada beberapa faktor penyebab kerugian pada turbin angin, seperti pada Gambar 12. yaitu:

1. Gaya drag (dorong), gaya ini mendorong bilah kebelakang sehingga membuang beberapa tenaga yang seharusnya ditangkap oleh bilah.
2. Gesekan mekanik, ini disebabkan oleh gesekan berlebih yang terjadi pada transmisi.
3. Kerugian tembaga, ini disebabkan gesekan material tembaga yang menghasilkan panas berlebih.
4. Kerugian tembaga, ini disebabkan gesekan material tembaga yang menghasilkan panas berlebih.
5. Kerugian pada besi (*iron loss*), ini disebabkan resistansi pada kumparan generator yang membuang beberapa daya menjadi panas.



Gambar 12 Kerugian Pada Turbin Angin [19]

### KESIMPULAN

1. Pada pengujian di laboratorium turbin angin hybrid ini memiliki performa terbaik pada kecepatan angin 5 m/s dengan efisiensi 0.037.
2. Turbin ini mampu berputar pada kecepatan angin 5 m/s dengan torsi awal 0.088 N/m.
3. Putaran maksimum yang dapat dicapai turbin angin *hybrid* ini yaitu 118 rpm di kecepatan angin 7.3 m/s. Pada pengujian di laboratorium turbin angin hybrid ini memiliki performa terbaik pada kecepatan angin 5 m/s dengan efisiensi 0.037.
4. Terdapat perbedaan nilai daya poros dan daya generator. Daya poros turbin *hybrid* sesuai rumus (8) tertinggi mencapai 5.63W pada kecepatan angin 7,3m/s sedangkan daya generator hanya mencapai 1,352 W.

### SARAN

Adapun saran yang diharapkan bisa berguna untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menyempurnakan desain turbin kombinasi *savonius darrieus* agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
2. Menggunakan material rotor dan poros yang lebih ringan.
3. Memodifikasi desain rotor *savonius* dan *darrieus* untuk mendapatkan putaran yang lebih baik.
4. Mencoba di kecepatan angin yang lebih tinggi lagi.
5. Untuk penelitian selanjutnya, dapat diuji mulai dari kecepatan angin 5 m/s.
6. Upaya agar turbin dapat berputar diputar rendah yaitu mendesain ulang rotor, poros, dan transmisi turbin angin.
7. Melakukan simulasi CFD.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] N. H. Sari and W. G. Laksamana, 2019. Perancangan bilah tipe taperless pada kincir angin: Studi kasus di PT. Lentera Bumi Nusantara Tasikmalaya, *Din. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, doi: 10.29303/dtm.v9i2.286.
- [2] A. Deskabelly and S. Nuryadi, 2019. Analisis Pengaruh Karakteristik Turbin Terhadap Kinerja Turbin Angin Tipe Propeller, *EBT, Wind*.
- [3] A. Fadila and I. Zakaria, 2020. Rancang Bangun Turbin Angin Tipe *darrieus* Tiga Sudu Rangkap Tiga dengan Profil NACA 0006, *Eksergi*, vol. 15, no. 3, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1785.
- [4] D. S. Bayu Mahendra, Rudy Soenoko, 2013, Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L. *J. Petrol.*, vol. 369, no. 1.
- [5] F. Aryanto, M. Mara, and M. Nuarsa, 2013, Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, doi: 10.29303/d.v3i1.88.
- [6] A. Kusbiantoro, R. Soenoko, and D. Sutikno, 2015, Pengaruh panjang lengkung sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertikal *savonius*, *J. Rekayasa Mesin*, vol. 1, no. 1.
- [7] R. Sumiati and A. Zamri, 2013, Rancang Bangun Miniatur Turbin Angin Pembangkit Listrik Untuk Media Pembelajaran.
- [8] M. N. Habibie, A. Sasmito, and R. Kurniawan. Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku. *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 12, no. 2, 2011, doi: 10.31172/jmg.v12i2.99.
- [9] A. Bachtiar and W. Hayattul, 2018. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras.
- [10] Sulaiman, A. Yanto, and I. Febryan, 2020. Efficiency Analysis of NACA 4412 Semi-Inverse Taper Wind Turbine For Power Plant, *Jurnal Teknik Mesin (JTM) 10.1*, <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/tmesin/article/view/1255/876> (accessed Jun. 08, 2022).
- [11] K. Sahim, D. Santoso, and D. Puspitasari, 2018. Investigations on the Effect of Radius Rotor in Combined *darrieus-savonius* Wind Turbine, *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2018, doi: 10.1155/2018/3568542.
- [12] M. Saputra, Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah, *Mekanova*, vol. 2, no. 1, 2016.
- [13] M. Hadi Ali, 2013. Experimental Comparison Study for *savonius* Wind Turbine of Two & Three Blades At Low Wind Speed, *Int. J. Mod. Eng. Res.* [www.ijmer.com](http://www.ijmer.com)
- [14] W. Wardhana and E. N. Fridayana, 2020. Aerodynamic Performance Analysis of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) *darrieus* Type H-Rotor using Computational Fluid Dynamics (CFD) Approach, pp. 5–11, doi: 10.5220/0008542700050011.
- [15] B. D. Susilo, G. Jatisukamto, and M. N. Kustanto, 2019. Characteristic Analysis of Horizontal Axis Wind Turbine Using *Airfoil* NACA 4712, *J. Mech. Eng. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 96–108, Nov. doi: 10.17977/um016v3i22019p096.
- [16] H. Ibadi, A. Sangidzun, D. S. Wijayanto, H. Saputro, Soenarto, and M. B. Triyono, 2021. Effect of Adding of Pitch on the *darrieus* Blade against the Cut in Speed of the *savonius* Type S - *darrieus* Type H hybrid Turbine, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1808, no. 1, doi: 10.1088/1742-6596/1808/1/012003.
- [17] F. M. Akbar and C. Rangkuti, 2018. Pengujian Kinerja Turbin Angin Kombinasi *darrieus*, in *Jurnal Teknik Mesin Universitas Trisakti*, vol. 1, no. 1.
- [18] M. A. Mizar, P. Puspitasari, A. Taufiq, M. Trifiananto, and Aripriharta, 2020. An experimental test of the effect of cup diameter on the power performance of novel design HC-type vawt, *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 18, no. 4, doi: 10.5937/jaes0-25010.
- [19] H. Piggott, 2011. *Windpower workshop: building your own wind turbine*, 4th Revised edition. Centre for Alternative Technology.