

Optimasi Konversi Daya Turbin Angin Melalui Pengaturan Tsr (*Tip Speed Ratio*) dan Jenis Turbin

Reynaldi Aurel Fadiilah¹, Mardi Santoso², Mohammad Abu Jami'in³, George Endri Kusuma⁴, Didik Sukoco⁵

Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*,2,4}.

Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{3,5}.

Email: reynaldiaurel@student.ppns.ac.id^{1*}; mardisantoso@ppns.ac.id^{2*}; jammy@ppns.ac.id^{3*}; kusuma.george@ppns.ac.id^{4*}; didikskc@ppns.ac.id^{5*}

Abstract - Society is very dependent on fossil fuels, and currently Indonesia does not have excess oil reserves. According to the DEN, oil reserves will be exhausted in the next nine years. As an alternative, wind turbines can be used. However, the factor hindering this deployment is the design of the wind turbines, which is lacking. MPPT is used in wind turbines to optimize performance by determining the state of the wind turbine, then calculating the power sampling algorithm, and then calculating the overall performance and efficiency of the wind turbine. State 1, V_{ci} 1 m/s, V_r 6 m/s, and V_{co} 8 m/s provide the highest power of the three. The H_Single C_p 0.47 and Tsr 4.5 turbines with a ratio of one rotor are suitable for use in several areas on the island of Java. If you want a greater output power from a wind turbine, then you can use a turbine with dual rotors, namely the HCR turbine, because it is capable of producing almost twice as much as a turbine with one rotor. The area with the most potential to generate electricity is in the Tuban area. Overall efficiency with a maglev wind generator (model WKG-1000-200r) gives a Savonius efficiency of 18.2%, an H-Darrieus efficiency of 22.1%, an HCR efficiency of 63%, and an H-Single efficiency of 42.3%.

Keywords : Power optimization, Wind Turbine, Maximum Power Point Tracking or Alogaritm Power Sampling.

Nomenclature

P_r	=	Daya Turbin (watt)
ρ	=	Kerapatan Udara (Kg/m^3), pada $15^\circ C$ dan tekanan 1 atm ($\rho=1.225$)
A	=	Luasan area turbin yang dilewati angin (m^2)
V	=	Kecepatan Angin (m/s)
C_p	=	<i>Coefficient of Power</i>
V_{ci}	=	Kecepatan Angin Cut-in (m/s)
V_r	=	Kecepatan Angin <i>rating</i> (m/s)
V_{co}	=	Kecepatan Angin <i>Cut-off</i> (m/s)
λ	=	Tip Speed Ratio (TSR)
ω	=	Putaran turbin (rad/s)
R	=	Putaran turbin (rad/s)
V	=	Kecepatan angin (m/s)

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar dari sumber daya alam fosil (minyak bumi, gas, Dsb.) Menjadi salah satu bahan baku yang sering digunakan untuk industri-industri petrokimia. Dengan tingkat produktivitas yang tinggi dengan tanpa adanya pengganti sumber daya alam tersebut, cadangan minyak bumi di Indonesia akan habis. Apabila cadangan terbukti tidak mengalami penambahan dan diasumsikan sama dengan produksi tahun 2021, maka cadangan minyak bumi akan habis dalam 9 tahun ke depan[1]. Akibat pemakaian beban listrik yang terlalu besar, sering sekali

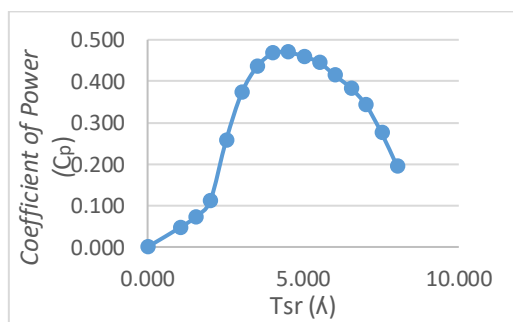
mengakibatkan pemadaman bergilir dan sering sekali terjadi gangguan yang mengakibatkan perekonomian juga terganggu[2]. Tenaga angin merupakan salah satu energi terbarukan yang berkembang sangat cepat. Salah satu pemanfaatan energi angin yaitu sebagai sumber energi untuk pembangkit energi listrik[3].

Turbin angin dirancang untuk menghasilkan daya yang dirancang pada kecepatan angin tertentu. Turbin juga dirancang supaya memiliki kecepatan *Start-up* dan *Cut-in* serendah mungkin supaya turbin dapat menghasilkan listrik pada kecepatan angin yang relative rendah. Salah satu faktor penghambat dalam pemanfaatan energi angin menjadi listrik adalah kurang optimalnya rancangan sistem pembangkit listrik tenaga angin yang dikarenakan kecepatan angin di Indonesia relative berubah-ubah dengan cepat sedangkan respond dari pembangkit listrik yang relative lambat[4]. Maka dari itu, penelitian ini akan membahas tentang pengoptimalan Konversi daya turbin angin melalui pengaturan *tip speed ratio* dan jenis turbin angin. Analisa pengoptimalan daya turbin dilakukan dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), dengan pengambilan sampling daya pada titik maksimum pada empat turbin yng berbeda dan dengan variasi kecepatan

angin yang berbeda dengan asumsi pengambilan data kecepatan angin di lima tempat yang berbeda. Makalah ini menyajikan metode untuk mendapatkan Turbin angin yang sesuai dengan daerah pengoperasiannya, mengetahui daya yang dihasilkan dari turbin angina dengan menggunakan MPPT.

1.1 Turbin Angin Horizontal Axis Wind Turbine

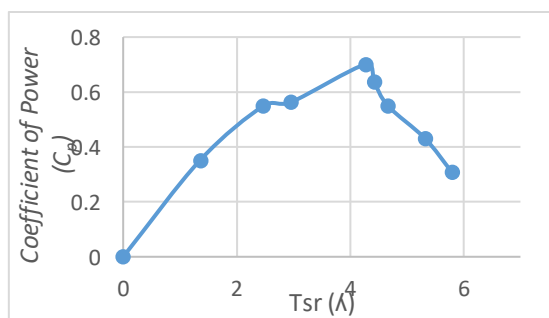
Turbin Angin Sumbu Horizontal merupakan jenis turbin dengan poros utama yang berputar sesuai dengan arah angin. Agar putaran rotor dapat berputar dengan baik, poros turbin harus sejajar dengan angin dan tegak lurus dengan arah putaran rotor. Turbin Angin Horizontal adalah turbin angin yang memiliki poros *horizontal* seperti bali-baling pesawat, turbin angin jenis ini harus diarahkan sesuai dengan arah kecepatan angin dengan kecepatan angin paling tinggi^[5].



Gambar 1 Grafik Karakteristik Turbin Horizontal Single airfoil S2091

Dari Gambar 1 nilai C_p Maksimum yang didapatkan oleh turbin *Horizontal single airfoil S2091* adalah 0.470 dan Tsr optimum yang didapatkan adalah 4.500.

Turbin angin *Contra Rotating* rotor memiliki putaran dua arah yang saling berlawanan dengan sumbu yang sama saling memberi dan menerima daya. Prinsip kerja dari turbin angin ini dengan mengubah energy mekanis dari angin menjadi energy putar pada rotor, kemudian putaran rotor akan memutar generator yang nantinya akan menghasilkan daya listrik^[6].



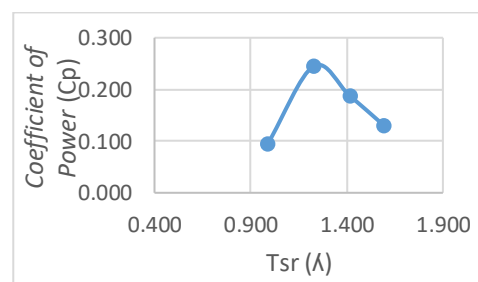
Gambar 2 Grafik Karakteristik Turbin Horizontal Contra-Rotating

Dari Gambar 2 nilai C_p Maksimum yang didapatkan oleh turbin *Horizontal Contra-*

Rotating adalah 0.701 dan Tsr optimum yang didapatkan adalah 4.275.

1.2 Turbin Angin Vertical Axis Wind Turbine

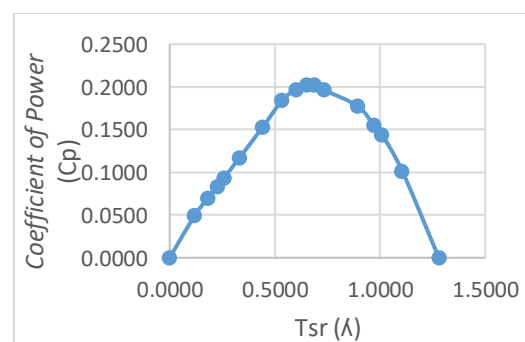
Turbin Angin Sumbu Vertikal merupakan turbin angin sumbu tegas poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada segala arah angin. H-Darrieus merupakan sebuah turbin dengan bilah sudu lurus yang dihubungkan dengan satu atau lebih lengan poros rotor. Putaran dari turbin darrieus ini dipengaruhi oleh lift driven atau gaya angkat. Lift driven pada turbin H-Darrieus adalah gaya yang dihasilkan ketika suatu benda bergerak melalui fluida atau fluida yang mengalir melewati suatu benda^[7].



Gambar 3 Grafik Karakteristik Turbin H-Darrieus airfoil Naca 4415

Dari Gambar 3 nilai C_p Maksimum yang didapatkan oleh turbin H-Darrieus airfoil Naca 4415 adalah 0.245 dan Tsr optimum yang didapatkan adalah 1.2278.

Savonius merupakan turbin angin dengan bentuk konstruksi yang sederhana sehingga dalam proses pembuatannya tidak memerlukan biaya yang terlalu besar. Turbin angin Savonius memiliki konfigurasi turbin angin yang berputar pada sumbu vertical^[8].



Gambar 4 Grafik Karakteristik Turbin Savonius

Dari Gambar 4 nilai C_p Maksimum yang didapatkan oleh turbin Savonius adalah 0.2026 dan Tsr optimum yang didapatkan adalah 0.6879.

1.3 Daya Turbin Angin

Angin merupakan suatu udara yang bergerak dari suatu tekanan yang lebih tinggi ke udara yang bertekanan rendah. . Karena itulah, angin

memiliki energi kinetik, dari energi tersebut angin dapat dikoversikan kedalam suatu bentuk energi lain seperti energi listrik atau energi mekanik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin.

Model statis turbin angin yang paling utama dapat dicirikan oleh kecepatan angin V dan *Coefficient of power* (C_p). Energi dari angin yang ditangkap oleh luas bilah permukaan (A) kemudian dikonversi menjadi energi mekanik[3], sebagai berikut :

$$Pr = \frac{1}{2} \rho AV^3 C_p$$

1.4 Pemodelan Daya Turbin Angin

Daya keluaran turbin merupakan suatu fungsi persamaan dari kecepatan angin, kurva daya turbin menyatakan hubungan antara

$$P(v) = f(x) = \begin{cases} 0 & , \text{for } V < V_{ci}, \\ (A_0 + A_1V + A_2V^2) x Pr & , \text{for } V_{ci} < V \leq V_r, \\ Pr & , \text{for } V_r < V \leq V_{co}, \\ 0 & , \text{for } V > V_{co} \end{cases}$$

Dimana koefisien A_2 , A_1 , dan A_0 mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$A_2 = \frac{1}{(V_{ci}-V_r)^2} \left[2 - 4 \left(\frac{V_{ci}+V_r}{2 V_r} \right)^3 \right],$$

$$A_1 = \frac{1}{(V_{ci}-V_r)^2} \left[2(V_{ci} + V_r) \left(\frac{V_{ci}+V_r}{2 V_r} \right)^3 - 3(V_{ci} + V_r) \right],$$

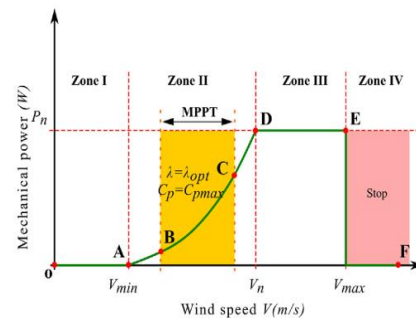
$$A_0 = \frac{1}{(V_{ci} - V_r)^2} \left[V_{ci}(V_{ci} + V_r) - 4V_{ci} \left(\frac{V_{ci} + V_r}{2 V_r} \right)^3 \right]$$

Persamaan diatas menyatakan nilai sesaat daya output listrik sebagai fungsi dari kecepatan angin sesaat.

1.5 Maximum Power Point Tracking

Keluaran pada turbin angin merupakan suatu daya yang mengalami naik dan turun sesuai dengan perubahan kecepatan angina MPPT merupakan suatu metode yang digunakan dalam mengoptimalkan daya keluaran dalam berbagai pembangkit listrik. Penggunaan dalam pembangkit listrik bertenaga angin, MPPT digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran dari generator dengan menggunakan *converter* daya elektronik^[10].

kecepatan angin dengan daya keluaran listrik. Kurva turbin angina dapat ditentukan dengan tiga kecepatan, yaitu kecepatan *cut-in* kecepatan rating dan kecepatan *cut-off*. Dimana turbin angin akan mulai menghasilkan daya tenaga pada kecepatan yang melebihi kecepatan *cut-in* (V_{ci}). Daya output akan meningkat pada kecepatan angin, antara kecepatan *cut-in* dengan kecepatan rating (V_r). Setelah itu daya outout akan konstant pada daya rating (P_r). Kecepatan angin *cut-off* (V_{co}) merupakan kecepatan angin maksimum dimana turbin dapat membangkitkan listrik, yang biasanya disebut dengan batasan keamanan (*Safety constraints*). Turbin angin yang berbeda memiliki kinerja daya keluaran yang berbeda, maka model yang digunakan untuk menggambarkan kinerja juga berbeda. Survei literatur, daya output listrik dari turbin angin dapat dimodelkan dengan menggunakan model kuadrat [9].



Gambar 5 Daya output turbin berdasarkan kecepatan angina

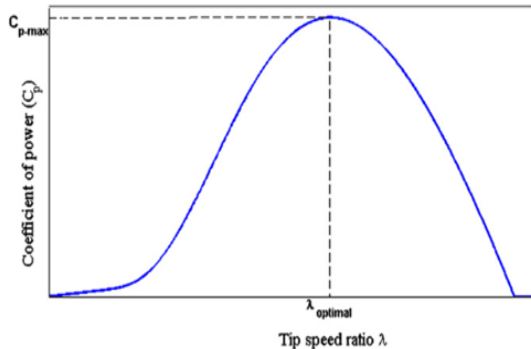
Tip speed ratio (TSR) merupakan rasio antara suatu kecepatan mekanik dari turbin terhadap kecepatan angin.

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

MPPT berperan untuk mempertahankan C_p pada nilai maksimum ($C_p=C_{pmax}$) dengan mengatur *Rpm* dari rotor dengan perubahan kecepatan angin, sehingga nilai TSR akan tetap menjaga nilai

optimalnya ($\lambda = \lambda_{opt}$). Pengontrolan TSR pada alogaritma MPPT yang paling sering digunakan, dikarenakan efisiensinya dan khususnya pada kesederhanaan implementasi.

Metode ini supaya memaksa sistem konversi energi untuk tetap pada titik optimum dengan membandingkan dengan nilai aktualnya. Titik optimal TSR dapat dicari dengan cara *eksperimental* atau *theoretical* dan disimpan sebagai referensi. Meskipun metode ini tampak sederhana dikarenakan kecepatan angin dapat diukur secara langsung dan terus menerus.



Gambar 6 Tipe Kurva Coefficient of Power

Terdapat nilai λ optimal pada saat C_p berada pada nilai maksimum. C_{pmax} dan λ_{opt} ditetapkan untuk desain turbin tertentu.

Efisiensi Generator Turbin Angin

Didalam generator arus searah terdapat tiga macam daya, yaitu daya masukan (P_{in}), daya pada jangkar atau daya dalam (P_a), dan daya keluaran (P_{out}).

Efisiensi turbin angin dan generator sebagai berikut :

$$\eta_{Turbin\ Generator} = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\%$$

$$\eta_{keseluruhan} = C_p \times \eta_G$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan di 5 daerah di pulau jawa, yaitu Gresik, Karimun jawa, Malang, Semarang dan Tuban.

3.1 Pengaturan State Turbin Angin

Terdapat tiga state yang akan digunakan pada perhitungan daya tenaga turbin angin, yaitu State 1, State 2, dan State 3.

Tabel 1 Tabel State turbin angin

State	V_{ci} (m/s)	V_r (m/s)	V_{co} (m/s)
State 1	1	6	8
State 2	1.5	6	8
State 3	2	6	8

3.2 Algoritma Sampling Daya

Pada tahap ini, metode *Maximum Power Point Tracking* dimana pada setiap turbin pada kondisi kecepatan angin *Cut-in* (V_{ci}) hingga kecepatan angin *Rating* (V_r) menggunakan Tsr optimum atau dalam kata lain Tsr nya konstan dan kecepatan angin yang berubah-ubah maka putaran turbin angin tetap.

Pada Tabel 2 merupakan hasil dari algoritma sampling daya dimana menggunakan kecepatan angina pengenal 1m/s hingga 8m/s .

Tabel 2 Alogaritma Sampling Daya

Kecepatan Angin	Tsr				W (rad/s)			
	Savonius	Darrieus	Turbin HCR	H-single	Savonius	Darrieus	Turbin HCR	H-single
1	0.688	1.228	4.275	4.500	0.688	1.228	4.275	4.50
2	0.688	1.228	4.275	4.500	1.376	2.456	8.550	9.00
3	0.688	1.228	4.275	4.500	2.064	3.684	12.825	13.50
4	0.688	1.228	4.275	4.500	2.752	4.912	17.100	18.00
5	0.688	1.228	4.275	4.500	3.440	6.140	21.375	22.50
6	0.688	1.228	4.275	4.500	4.127	7.368	25.650	27.00
7	0.688	1.053	3.664	3.857	4.127	7.368	25.650	27.00
8	0.688	0.921	3.206	3.375	4.127	7.368	25.650	27.00

3.3 Pemodelan Daya Turbin Angin

Pemodelan daya turbin angin membutuhkan nilai koefisien A2, A1 dan A0 supaya mendapatkan nilai daya keluaran turbin angina. Dari nilai state 1 didapatkan nilai koefisien A2, A1 dan A0, sebagai berikut :

Tabel 3 Nilai koefisien A2, A1 dan A0

State	A0	A1	A2
State 1	0.0894	-0.1377	0.0482
State 2	0.1215	-0.1568	0.0505

State 3	0.1111	-0.1574	0.0509
---------	--------	---------	--------

Pada persamaan kuadrat dalam pemodelan daya keluaran turbin angina dimana kondisi $V_{ci} < V_r \leq V_{co}$ diperlukan nilai daya rating (P_r), berikut:

Tabel 4 Daya rating (P_r) turbin angina

Turbin Angin	P_r (Watt)
Savonius	26.803
H-Darrieus	32.414
HCR	92.742

H Single Rotating	62.181
-------------------	--------

Setelah didapatkan daya koefisien (A2, A1 dan A0) dan daya rating pemodelan daya turbin

angin dapat dilakukan dengan memasukkan hasil koefisien dan daya rating pada table (4.5) dan (4.6) kedalam persamaan kudratik dengan menggunakan kecepatan pengenal (0 m/s hingga 8 m/s), sebagai berikut :

Tabel 5 Hasil Pemodelan daya turbin angin di setiap state nya

Kecepatan angin	Power (w)											
	Savonius			Darrieus			HCR			H_Single		
	state 1	State 2	State 3	state 1	State 2	State 3	state 1	State 2	State 3	state 1	State 2	State 3
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.19	0.27	0.00	0.23	0.33	0.00	0.65	0.93	0.00	0.44	0.62	0.00
3	2.96	2.84	2.61	3.58	3.43	3.15	10.25	9.82	9.02	6.87	6.59	6.05
4	8.32	8.12	7.94	10.07	9.82	9.60	28.80	28.09	27.48	19.31	18.83	18.42
5	16.27	16.11	16.01	19.68	19.48	19.36	56.30	55.73	55.39	37.75	37.36	37.14
6	26.80	26.80	26.80	32.41	32.41	32.41	92.74	92.74	92.74	62.18	62.18	62.18
7	26.80	26.80	40.33	32.41	32.41	32.41	92.74	92.74	92.74	62.18	62.18	62.18
8	26.80	26.80	56.59	32.41	32.41	32.41	92.74	92.74	92.74	62.18	62.18	62.18

3.4 Daya Turbin Angin untuk Beberapa Daerah di Pulau Jawa

Perhitungan daya turbin angin di daerah Gresik, Karimunjawa, Malang, Semarang dan Tuban dilakukan dengan menggunakan software Matlab, daya keluaran turbin angin diringkas dalam 3 tahun yaitu tahun pertama September 2019 s/d Agustus 2020, tahun kedua September 2020 s/d Agustus 2021 dan tahun ketiga September 2021 s/d Agustus 2022.

Tabel 6 Rata-rata daya keluaran Turbin Angin pertahun pada kondisi State 1

Daerah	Output power (watt)			
	Savonius	H-Darrieus	HCR	H_single
Gresik	7361.19	8901.74	25469.87	17076.80
Karimunjawa	8561.83	10353.64	29624.09	19862.09
Malang	16269.76	19674.68	56293.68	37743.26
Semarang	8367.13	10118.20	28950.45	19410.43
Tuban	16400.83	19833.19	56747.20	38047.34

Dari Tabel 6 daerah tuban berpotensi menghasilkan daya keluaran tubin angin paling besar, Dari tabel diatas juga untuk perbandingan turbin angin satu rotor pada turbin *Horizontal Single* dengan 3 blade dan C_p 0.47 dan Tsr 4.5 menghasilkan daya lebih besar dibandingkan turbin satu rotor lainnya (turbin Savonius dan Darrieus), akan tetapi apabila menginginkan daya yang lebih besar maka Turbin *Horizontal Contra-Rotating* dengan data karakteristik C_p 0.701 dan Tsr 4.275 dengan dual rotor-nya mampu menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan turbin angin satu rotor setiap daerahnya.

3.5 Efisiensi Keseluruhan

Dalam tahap ini dalam menentukan efisiensi keseluruhan menggunakan generator *Disc Coreless Maglev Wind Generator* (Model.

WKG-1000-200r), dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Spesifikasi Generator

Spesification	
Rated Output Power	1000 W
Rated Voltage	28V/56V
Rated Speed	200 RPM
Phase	3-Phase
Stator	Coreless
Start Torque	< 0.3 n/m
Maximum power	2100 W
Rated Frequency	50 Hz
Efficiency	90 %
Weight	35 Kg
Housing material	Aluminum (Alloy)

Efisiensi keseluruhan didapatkan dengan mengalikan C_{pmaks} dengan efisiensi Generator, dimana efisiensi yang didapatkan turbin savonius sebesar 18.2%, turbin H-Darrieus sebesar 22.1%, turbin *Horizontal Contra-Rotating* sebesar 63.1%, dan Turbin *Horizontal Single airfoil S2901* 42.3.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan turbin angin dengan satu rotor yakni *Horizontal Single airfoil S2091* dengan data karakteristik C_{pmaks} 0.47 dan Tsr_{opt} 4.50 sesuai untuk digunakan di beberapa daerah di pulau jawa dengan menghasilkan daya paling besar, apabila ingin mendapatkan daya yang lebih besar bias menggunakan turbin dul rotor yakni turbin *Horizontal Contra-Rotating*

yag dapat menghasilkan daya dua kali lipat dibandingkan dengan daya yang dihasilkan oleh turbin satu rotor. Pada penelitian ini pula di daerah Tuban berpotensi menghasilkan daya lebih besar dibandingkan daerah Gresik, Karimunjawa, dan Semarang. Efisiensi keseluruhan dari turbin angina dengan *Disc Coreless Maglev Wind Generator* (Model. WKG-1000-200r) mendapatkan efisiensi untuk Turbin Savonius 18.2%, Turbin H-Darrieus sebesar 22.1%, dan Turbin HCR 63.1% dan turbin H_Single 42.3%.

SARAN

- Bagi ilmu pengetahuan dan teknologi dalam memanfaatkan energi terbarukan yang tersedia dengan mudah dan lebih ramah lingkungan, maka penulis menyarankan agar adanya pengembangan dan penelitian lebih lanjut pada pengoptimalan daya turbin angin.
- Bagi penelitian berikutnya, pada variasi kecepatan State angin lebih mempertimbangkan dimensi dan jenis material turbin angin.
- .bagi penelitian berikutnya, perlunya melakukan perbandingan aspek ekonomi apabila menggunakan turbin angin sebagai sumber energy listrik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, "Laporan Analisis Nerasa Energi Nasional," *Sekr. Jenderal Dewan Energi Nas.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–108, 2022.
- [2] A. Bachtiar and W. Hayyatul, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 34–45, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133706.
- [3] D. Zouheyr, B. Lotfi, and B. Abdelmadjid, "Improved hardware implementation of a TSR based MPPT algorithm for a low cost connected wind turbine emulator under unbalanced wind speeds," *Energy*, vol. 232, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121039.
- [4] M. Otong and R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 5, no. 2, p. 103, 2017, doi: 10.36055/setrum.v5i2.1563.
- [5] I. I. Cahyadi and R. D. Anjani, "Analisa Performa Bilah Taperless Dengan Airfoil S2091 Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal," *J. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 64–69, 2021, doi: 10.30630/jtm.14.2.567.
- [6] L. Nogur, V. A. Koehuan, J. Ut Jasron, and J. Teknik Mesin, "Pengaruh Sudut Blade Turbin Angin Poros Horizontal model Contra Rotating terhadap Daya dan Efisiensi dengan Posisi Rotor Blade saling Berseberangan," no. 1, pp. 1–10, 2014.
- [7] A. R. Fachrudin, "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H Naca 3412 Dengan Sudut Pitch 00," *Info-Teknik*, vol. 19, no. 2, p. 195, 2018, doi: 10.20527/jit.v19i2.153.
- [8] T. Yuwono, G. Sakti, F. Nur Aulia, and A. Chandra Wijaya, "Improving the performance of Savonius wind turbine by installation of a circular cylinder upstream of returning turbine blade: Improving the Performance of Savonius Wind Turbine," *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, no. 6, pp. 4923–4932, 2020, doi: 10.1016/j.aej.2020.09.009.
- [9] C. Nemeş and F. Munteanu, "Operational parameters evaluation for optimal wind energy systems development," *UPB Sci. Bull. Ser. C Electr. Eng.*, vol. 74, no. 1, pp. 223–230, 2012.
- [10] N. A. Hidayatullah and H. N. K. Ningrum, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker," *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, vol. 1, no. 1, pp. 6–12, 2016, doi: 10.32486/jeecae.v1i1.5.