

## ANALISIS POTENSI DAN PEMETAAN TEKNOLOGI TURBIN ANGIN DI SELURUH INDONESIA

Yeni Putri Andriyani<sup>1</sup>, Ketut Abimanyu Munastha\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana  
Jl. PHH. Mustofa No. 68, Bandung 40124

### Abstrak

Setiap aktivitas manusia dari aktivitas sehari-hari hingga usaha ekonomi dan pembangunan membutuhkan energi untuk berfungsi. Pada 2010, banyak negara menyadari betapa pentingnya menggunakan sumber energi terbarukan daripada sumber energi tak terbarukan yang kurang ramah lingkungan. Hadley, Walker, dan sirkulasi lokal bertemu di wilayah Indonesia sekitar khatulistiwa. Akibatnya, Indonesia memiliki potensi untuk menghasilkan energi angin yang dapat digunakan untuk mengembangkan energi terbarukan. Koefisien kinerja dan daya per satuan panjang harus dihitung saat melakukan analisis kajian potensi energi angin dan teknologi pembandingan turbin angin. Temuan menunjukkan bahwa wilayah Nusa Tenggara Timur mengalami kecepatan angin rata-rata tertinggi, yaitu 3,23 m/s, sedangkan wilayah lain di Indonesia rata-rata antara 2 dan 3 m/s. Jenis turbin angin dengan diffuser shroud adalah salah satu yang paling cocok digunakan pada kecepatan angin rendah..

**Kata kunci :** Angin, performa koefisiensi, energi terbarukan, kekuatan tiap panjang unit, turbin angin

### Abstract

**[POTENTIAL ANALYSIS AND MAPPING OF WIND TURBINE TECHNOLOGY AROUND INDONESIA]** Every human activity from day-to-day activities to economic and development endeavors requires energy to function. In 2010, many nations realized how important it was to use renewable energy sources instead of less environmentally friendly non-renewable energy sources. Hadley, Walker, and local circulations meet in the Indonesian territory around the equator. As a result, Indonesia has the potential to produce wind energy that could be used to develop renewable energy. The coefficient of performance and power per unit length must be calculated when conducting analysis studies on the potential of wind energy and comparing wind turbine technology. The findings indicate that the East Nusa Tenggara region experiences the highest average wind speed, at 3.23 m/s, while other parts of Indonesia average between 2 and 3 m/s. The type of wind turbine with a diffuser shroud is one of the most suitable for use at low wind speeds.

**Keywords:** Wind, coefficient of performance, renewable energy, power per unit length, wind turbines

### 1. Pendahuluan

Pada tahun 2010, banyak negara mulai menyadari pentingnya pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan (*Renewable Energy*) sebagai pengganti sumber energi tidak terbarukan (*Non-renewable Energy*) yang tidak ramah lingkungan. Indonesia yang berada di sekitar daerah ekuator merupakan daerah pertemuan sirkulasi Hadley, Walker dan lokal. Karena itu Indonesia memiliki potensi angin yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan energi terbarukan (Bachtiar and Hayyatul 2018). Dengan karakteristik kecepatan angin berkisar antara 2 m/s

hingga 6 m/s Indonesia dinilai cocok untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil (10 kW) dan menengah (10-100 kW).

Pada tahun 2018, produksi pembangkit listrik di Indonesia mencapai 283,8 TWh sebagian besar dihasilkan dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara sebesar 56,4%, pembangkit listrik berbahan bakar gas sebesar 20,2% dan BBM 6,3%, sementara 17,1% berasal dari energi terbarukan BBB. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan untuk ketenagalistrikan sebesar 443 GW, yang terdiri dari panas bumi, air dan mikro-mini hidro, bioenergi surya, angin dan gelombang. Dimana jenis pembangkit tenaga angin ini berada di urutan ketiga dengan potensi sebesar 60.647 MW. Pada tahun 2017 kapasitas pembangkit listrik energi terbarukan yang terpasang baru 8,8 GW atau hanya 2% dari total keseluruhan potensi energi

---

\*Penulis Korespondensi.

E-mail: ketut.abimanyu@gmail.com

terbarukan di Indonesia (Habibie, Sasmito, and Kurniawan 2008).

Guna mendukung terlaksananya Kebijakan Energi Nasional, dipandang perlu adanya berbagai macam dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu timbullah pemikiran untuk menganalisis potensi sumber energi angin di seluruh wilayah Indonesia yang kemudian dapat menjadi acuan dalam memilih jenis turbin angin yang sesuai dengan karakteristik wilayahnya (Hau 2006).

Adapun masalah yang akan muncul dalam penelitian ini, yaitu dilakukannya analisis terhadap potensi sumber energi angin di seluruh wilayah Indonesia. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik angin di setiap wilayah, kemudian dilakukan pemetaan teknologi turbin angin yang sesuai dengan karakteristik angin di setiap wilayahnya (Institute for Essential Services Reform 2017).

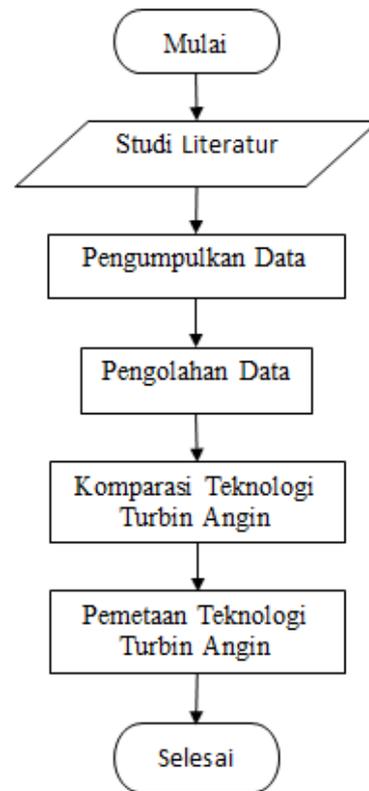
Dari permasalahan tersebut, maka dalam penelitian ini diberi pembatasan masalah, yaitu data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder (data kecepatan rata-rata angin, arah angin, elevasi dan temperatur), data diambil dalam rentang waktu 5 tahun (2015-2019), data diperoleh dari stasiun BMKG di setiap Provinsi di Indonesia (32 stasiun), penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan teknologi turbin angin yang bisa diaplikasikan pada skala kecil (di daerah pemukiman), komparasi dilakukan dengan melihat perbandingan nilai *cut in* dan *rated wind speed*, perhitungan nilai *coefficient of performance* ( $C_p$ ) dan *power per unit length* (P/L) dari turbin angin.

Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah melakukan studi kelayakan terhadap potensi sumber energi listrik dan membuat pemetaan teknologi turbin angin yang sesuai dengan karakteristik angin di setiap wilayahnya untuk memberikan kontribusi langsung terhadap Kebijakan Energi Nasional mengenai pemanfaatan energi terbarukan.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Prosedur Eksperimen

Tahapan-tahapan dalam menganalisis potensi energi angin dan pemetaan teknologi turbin angin di seluruh wilayah Indonesia dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 1 : Diagram alir penelitian

### 2.2 Pengolahan Data

Dalam menganalisis potensi energi angin yang pertama dilakukan adalah mengumpulkan semua data karakteristik angin secara kontinu pada suatu titik kurang lebih dalam kurun waktu 5 tahun agar didapatkan hasil yang lebih akurat. Data yang didapatkan kemudian diolah dengan langkah sebagai berikut:

- Menentukan arah angin terbanyak dan kecepatan rata-rata angin dengan menggunakan aplikasi WRPLOT View.
- Menentukan kelas kecepatan angin berdasarkan kecepatan rata-rata dan disusun dalam wind-mapping.

### 2.3 Komparasi Teknologi Turbin Angin

- Perhitungan nilai *coefficient of performance* ( $C_p$ )

Perhitungan nilai  $C_p$  ini dilakukan pada setiap jenis teknologi turbin angin. Nilai  $C_p$  dihitung pada kondisi maksimal, yaitu pada saat daya dan kecepatan angin nominal tercapai.

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \quad (1)$$

Dimana  $C_p$  adalah *coefficient of performance*,  $P$  adalah keluaran daya turbin angin (watt),  $\rho$  adalah densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  adalah luas area tangkap turbin angin ( $\text{m}^2$ ) dan  $V$  adalah kecepatan angin ( $\text{m/s}$ ).

- Perhitungan nilai *power per unit length* (P/L).

Untuk turbin angin sumbu horizontal (TASH):  

$$P/L = \frac{1}{4} C_p \rho \pi R V^3 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana P adalah keluaran daya turbin angin (watt), L adalah panjang penampang blade yang menghadap angin (m),  $C_p$  adalah *coefficient of performance*,  $\pi$  (22/7),  $\rho$  adalah densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ), R adalah jari-jari rotor (m) dan V adalah kecepatan angin (m/s).

Untuk turbin angin sumbu vertikal (TASV):  

$$P/L = \frac{1}{2} C_p \rho H V^3 \dots\dots\dots(3)$$

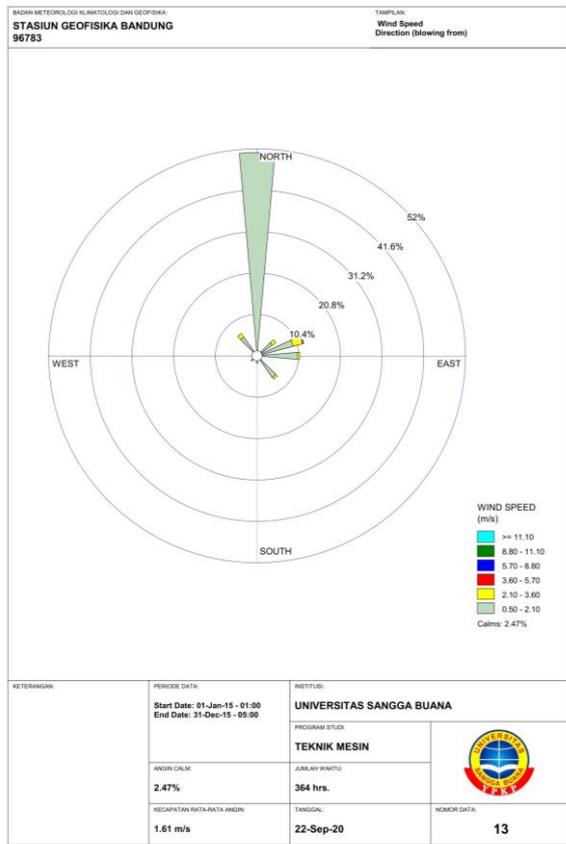
Dimana P adalah keluaran daya turbin angin (watt), L adalah panjang penampang blade yang menghadap angin (m),  $C_p$  adalah *coefficient of performance*,  $\rho$  adalah densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ), H adalah tinggi rotor (m) dan V adalah kecepatan angin (m/s).

Setelah selesai melakukan perhitungan P/L, nilai P/L diubah menjadi bilangan non dimensional dengan membaginya dengan  $\rho R V^3$ .

### 3. Hasil dan Pembahasan

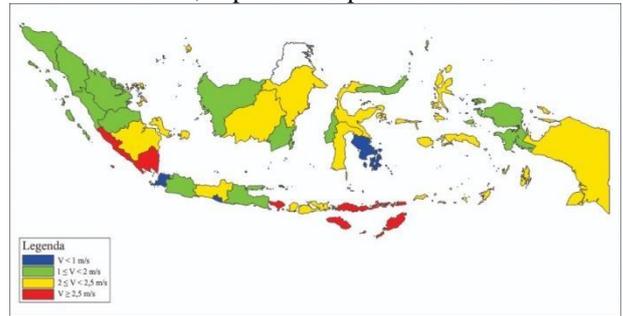
#### 3.1 Pengolahan Data Potensi Energi Angin

Data potensi energi angin yang didapat kemudian diolah dengan menggunakan beberapa perangkat lunak (WRPLOT View, pengolah data, dan pengolah gambar). Adapun hasil pengolahan data sebagai berikut.



Gambar 2. Wind Rose Provinsi Jawa Barat 2015

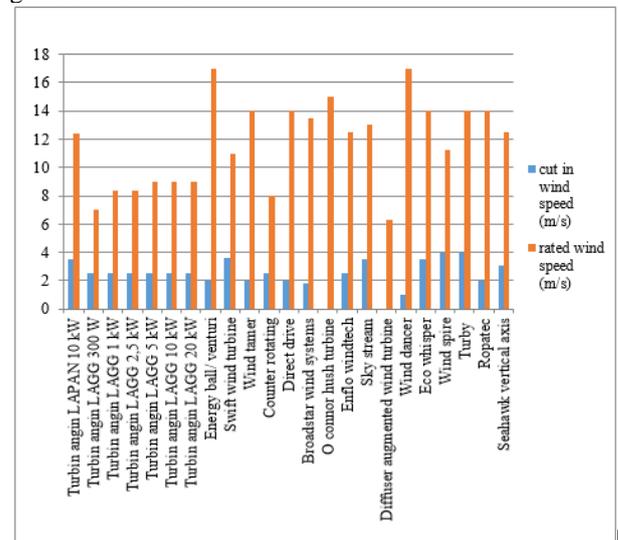
Berikut adalah Peta persebaran potensi energi angin di Indonesia, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 : Peta rupa bumi Indonesia berdasarkan kecepatan angin rata-rata

#### 3.2 Pengolahan Data Teknologi Turbin Angin

Data mengenai teknologi turbin angin yang sudah dikumpulkan kemudian diolah dengan membandingkan beberapa parameternya, seperti pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 : Grafik perbandingan cut in wind speed dan rated wind speed.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa secara umum turbin yang tersedia memiliki cut in wind speed sebesar 2m/s. Dari keseluruhan, wind dancer merupakan jenis turbin angin yang memiliki cut in wind speed paling rendah dan rated wind speed paling tinggi diantara yang lainnya.

#### 3.3. Komparasi Teknologi Turbin Angin dengan Perhitungan Nilai Coefficient of Performance ( $C_p$ )

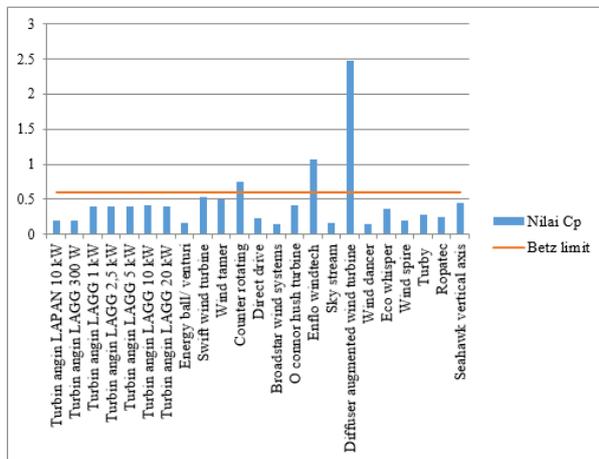
Nilai  $C_p$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

1. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan nilai  $C_p$  untuk setiap jenis turbin angina

**Tabel 2:** Perbandingan nilai Cp setiap jenis turbin angin

No	Teknologi Turbin Angin	Nilai $C_p$
1	Turbin angin LAPAN 10 kW	0.19
2	Turbin angin LAGG 300 W	0.20
3	Turbin angin LAGG 1 kW	0.40
4	Turbin angin LAGG 2,5 kW	0.40
5	Turbin angin LAGG 5 kW	0.39
6	Turbin angin LAGG 10 kW	0.42
7	Turbin angin LAGG 20 kW	0.39
8	Energy ball/ venturi	0.17
9	Swift wind turbine	0.53
10	Wind tamer	0.50
11	Counter rotating	0.75
12	Direct drive	0.23
13	Broadstar wind systems	0.14
14	O connor hush turbine	0.42
15	Enflo windtech	1.07
16	Sky stream	0.16
17	Diffuser augmented wind turbine	2.47
18	Wind dancer	0.15
19	Eco whisper	0.36
20	Wind spire	0.19
21	Turby	0.28
22	Ropatec	0.24
23	Seahawk vertical axis	0.45

Dari tabel nilai Cp yang sudah dihitung, maka dapat diperoleh grafik perbandingan nilai Cp setiap jenis turbin angin sebagai berikut.



**Gambar 5 :** Grafik perbandingan nilai Cp setiap jenis turbin angin

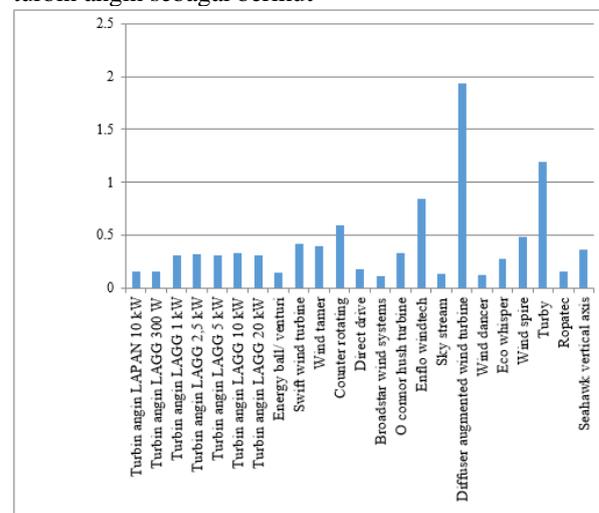
### 3.4 Komparasi Teknologi Turbin Angin dengan Perhitungan Power Per Unit Length (P/L)

Nilai P/L dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan (3). Berikut merupakan tabel hasil perhitungan nilai P/L untuk setiap jenis turbin angin.

**Tabel 3 :** Perbandingan nilai P/L setiap jenis turbin angin

No	Teknologi Turbin Angin	P/L	$\frac{P}{\rho R V^3}$
1	Turbin angin LAPAN 10 kW	2428.57	0.15
2	Turbin angin LAGG 300 W	200.00	0.16
3	Turbin angin LAGG 1 kW	666.67	0.31
4	Turbin angin LAGG 2,5 kW	1063.83	0.32
5	Turbin angin LAGG 5 kW	1666.67	0.31
6	Turbin angin LAGG 10 kW	2439.02	0.33
7	Turbin angin LAGG 20 kW	3333.33	0.31
8	Energy ball/ venturi	908.95	0.14
9	Swift wind turbine	1429.34	0.42
10	Wind tamer	1855.45	0.39
11	Counter rotating	1627.54	0.59
12	Direct drive	33333.33	0.18
13	Broadstar wind systems	1026.91	0.11
14	O connor hush turbine	1368.72	0.33
15	Enflo windtech	1429.10	0.84
16	Sky stream	1290.70	0.13
17	Diffuser augmented wind turbine	1092.43	1.94
18	Wind dancer	2147.99	0.12
19	Eco whisper	6155.01	0.28
20	Wind spire	1000.00	0.48
21	Turby	1000.00	1.19
22	Ropatec	1818.18	0.16
23	Seahawk vertical axis	656.62	0.36

Dari tabel nilai P/L yang sudah dihitung, maka dapat diperoleh grafik perbandingan nilai P/L. setiap jenis turbin angin sebagai berikut



**Gambar 6 :** Grafik perbandingan nilai P/L setiap jenis turbin angin

Dari grafik diatas, maka dapat dilihat bahwa turbin angin counter rotating, enflo windtech dan diffuser augmented wind turbine masih lebih baik dibandingkan dengan jenis turbin lainnya. Yang berarti jenis turbin dengan selubung diffuser memiliki lebih banyak keuntungan apabila diaplikasikan di daerah pemukiman. Karena dengan nilai P/L yang besar, maka dimensi dari turbin tersebut dapat dibuat lebih ringkas dan tidak akan mengganggu tata ruang kota.

### 3.5 Pemetaan Teknologi Turbin Angin untuk Wilayah Indonesia

Dari hasil analisis dapat dilakukan pemetaan teknologi turbin apa yang sesuai dengan karakteristik angin di seluruh wilayah Indonesia. Pemetaan dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik kerja setiap turbin angin dan aspek-aspek lain seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Adapun hasil pemetaan teknologi turbin angin untuk wilayah Indonesia seperti pada tabel.

**Tabel 4 :** Hasil pemetaan teknologi turbin angin di seluruh wilayah Indonesia

Provinsi	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s) 2015-2019	Turbin Angin yang Sesuai
Aceh	1,95	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Sumatera Utara	1,27	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Sumatera Barat	1,02	DAWT
Riau	1,27	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Kep. Riau	2,03	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Jambi	1,82	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Bengkulu	2,72	DAWT, Turbin Angin LAGG 5-20 kW, <i>Enflo</i>
Sumatera Selatan	2,16	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Kep. Bangka Belitung	2,26	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Lampung	3,09	DAWT, Turbin Angin LAGG 5-20 kW, <i>Seahawk</i>
Dki Jakarta	1,37	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Banten	0,97	DAWT
Jawa Barat	1,76	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>

Provinsi	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s) 2015-2019	Turbin Angin yang Sesuai
Jawa Tengah	2,16	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
DI Yogyakarta	0,71	DAWT
Jawa Timur	1,66	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Bali	3,04	DAWT, Turbin Angin LAGG 5-20 kW, <i>Seahawk</i>
NTB	2,15	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
NTT	3,23	DAWT, Turbin Angin LAGG 5-20 kW, <i>Seahawk</i>
Kalimantan Barat	1,06	DAWT
Kalimantan Selatan	1,81	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Kalimantan Tengah	2,00	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Kalimantan Timur	2,03	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Gorontalo	1,61	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Sulawesi Selatan	2,07	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Sulawesi Tenggara	0,82	DAWT
Sulawesi Tengah	2,32	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Sulawesi Utara	1,83	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Sulawesi Barat	1,66	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>
Maluku	2,20	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Maluku Utara	2,14	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Papua	2,36	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating, Ropatec</i>
Papua Barat	1,45	DAWT, Turbin Angin LAGG 1-2,5 kW, <i>Counter Rotating</i>

#### 4. Kesimpulan

- i. Berikut kesimpulan yang didapat dari penelitian yang dilakukan:
  1. Wilayah Nusa Tenggara Timur mengalami kecepatan angin rata-rata 3,23 m/s yang merupakan tertinggi. Sedangkan untuk wilayah dengan kecepatan angin rata-rata terendah, DI Yogyakarta yang memiliki kecepatan angin 0,71 m/s.
  2. Turbin angin Enflo memiliki nilai  $C_p$  hingga 1,05 dan diffuser turbin angin yang diperbesar memiliki nilai  $C_p$  2,47. Teknologi turbin angin dengan diffuser shroud adalah yang paling efisien.
  3. Turbin angin dengan selubung diffuser mengungguli jenis turbin lain dalam hal menghitung daya per satuan panjang. Akibatnya, daerah pemukiman dapat memperoleh manfaat lebih banyak dari penggunaan turbin angin jenis ini.
  4. Pemetaan teknologi turbin angin di seluruh Indonesia telah menghasilkan temuannya.
  5. Turbin angin dengan diffuser shroud cocok untuk penggunaan skala kecil di hampir seluruh Indonesia, sesuai dengan hasil pemetaan secara keseluruhan.

#### Daftar Pustaka

- Bachtiar, Antonov, and Wahyudi Hayyatul. 2018. "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras." *Jurnal Teknik Elektro ITP* 7(1):34–45.
- Habibie, M. Najib, Achmad Sasmito, and Roni Kurniawan. 2008. "Study of Wind Energy Potency in Sulawesi and Maluku." *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 12(2):181–87.
- Hau, Erich. 2006. "Fundamentals, Technologies, Application, Economics." in *Wind Turbines*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Institute for Essential Services Reform. 2017. "Energi Terbarukan." Jakarta.
- Newman, B. G. 1986. "Multiple Actuator-Disc Theory for Wind Turbines." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 24(3): 215–25.
- Oman, R A, and K M Foreman. 2020. "Advantages of the Diffuser Augmented Wind Turbine." *Research Department Grumman Aerospace Corporation Bethpage*: 103–6.
- PPPPTK BMTI. 2015. *TEKNOLOGI PLTB*. Jakarta.
- Siswanto, Djoko, and Sugeng Mujiyanto. 2019. "Outlook Energi Indonesia 2019." In Jakarta. "Tenaga Angin."
- Tjasyono, Bayong. 2012. "Karakteristik Dan Sirkulasi Atmosfer." In *Meteorologi Indonesia Volume I*, , 193