



# Kajian Potensi Angin Laut Sebagai Sumber Energi Terbarukan Pembangkit Listrik Pulau Kecil di Pesisir Utara Provinsi Papua

## *Study of Sea Wind as A Renewable Energy Source of Power Plan for Small Islands on The North Coast of Papua Province*

Johni J. Numberi<sup>1\*</sup>, Samuel P. Siregar<sup>2</sup>, Tiper K. M. Uniplaita<sup>3</sup>, Rombe Allo<sup>4</sup>, Anastasya S. Werdhani<sup>5</sup>, Joni<sup>6</sup>, Pither Palamba<sup>7</sup>, Marthen Liga<sup>8</sup>, Theresia W. Oktaviani<sup>9</sup> dan Matius R. Manalu<sup>10</sup>

<sup>1,2,4,5,6,7,10</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Jl. Kamp Wolker, Jayapura, Indonesia

<sup>3,8,9</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Jl. Kamp Wolker, Jayapura, Indonesia

### Informasi artikel:

Diterima:  
27/04/2023  
Direvisi:  
11/05/2023  
Disetujui:  
21/05/2023

### Abstract

*Papua province has nine small islands that are inhabited, but there is no access to electricity on these islands. The solution is the use of sea wind as a source of energy for a small power plant. This study aims to determine the potential of sea wind as an alternative source of electrical energy on the north coast of Papua Province. Data Measurement is carried out using an HP-866B anemometer on a hill near the coast to maximize the sea wind. There are two methods used in this research: the minimum-maximum value to determine the wind speed range and linear regression to determine the distribution pattern of the wind. The range of the sea wind is 0.2-6.18 m/s. If the minimum speed is limited to 1.6 m/s, then the range of kinetic energy is 5.59-322.22 Joules/s, mechanical power is 5.59-322.22 Watts, and actual power is 0.57-33.13 Watts. Meanwhile, the pattern shows that the sea wind from the north coast of Papua Province blows with two trends: constant and increasing, specifically in the afternoon and evening. Based on that, the development of a wind power plant on the north coast of Papua Province can be carried out using a multi-turbine system to increase the actual power that can be obtained.*

*Keywords: wind, renewable energy, power plant, Papua Province, small island.*

### SDGs:



### Abstrak

Provinsi Papua memiliki 9 pulau kecil terluar yang berpenghuni, namun tanpa akses listrik. Solusi yang ditawarkan adalah pemanfaatan angin laut sebagai sumber energi pembangkit listrik. Penelitian ini bertujuan mengkaji pola sebaran angin laut yang dapat dikonversi menjadi energi listrik di pesisir utara Provinsi Papua. Lokasi pengambilan data dilakukan pada area perbukitan dekat daerah pesisir untuk memaksimalkan tangkapan angin. Pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer HP - 866B. Terdapat dua metode pengolahan data yang digunakan, pertama penentuan nilai minimum-maksimum untuk menentukan jangkauan kecepatan angin, kedua regresi linier untuk menentukan pola sebaran kecepatan angin. Jangkauan kecepatan angin laut adalah 0,2 - 6,18 m/s. Jika kecepatan minimum dibatasi pada 1,6 m/s, maka jangkauan energi kinetik adalah 5,59 - 322,22 Joule/s, daya mekanik 5,59 - 322,22 Watt dan daya aktual 0,57 - 33,13 Watt. Sedangkan, pola sebaran angin menunjukkan angin laut dari utara pesisir Provinsi Papua, bergerak dengan dua tren yaitu konstan dan meningkat pada siang dan sore hari. Pengembangan pembangkit listrik dengan tenaga angin di pesisir utara Provinsi Papua dapat dilakukan menggunakan sistem multi-turbin untuk meningkatkan total daya aktual yang bisa diperoleh.

**Kata Kunci:** angin, energi terbarukan, pembangkit listrik, Provinsi Papua, pulau kecil.

\*Penulis Korespondensi  
email : [j\\_numberi@yahoo.com](mailto:j_numberi@yahoo.com)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## 1. PENDAHULUAN

Provinsi Papua memiliki tingkat perkembangan infrastruktur yang rendah, salah satunya sebaran jaringan listrik. 56,96% keluarga di Provinsi Papua belum memiliki akses terhadap listrik menurut data BPS, karena berdomisili di area terpencil pegunungan dan pulau kecil (BPS, 2022). Provinsi Papua memiliki 9 pulau dengan kategori pulau kecil terluar yang dihuni. Ketidaksediaan listrik menyebabkan rendahnya pemanfaatan teknologi oleh masyarakat di Provinsi Papua sehingga kualitas pendidikan, kesehatan dan ekonomi pun menurun.

Peningkatan akses masyarakat di daerah pegunungan terhadap listrik sudah mulai diatasi lewat program pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) (Tebai, Hunaini dan Mukhsim, 2022). Terdapat juga berbagai kajian untuk pemanfaatan PLTMH di Kabupaten Fak-Fak, Provinsi Papua Barat, hal ini dimungkinkan karena daerah pegunungan di Papua memiliki banyak aliran sungai dengan kualifikasi yang baik untuk pengembangan PLTMH (Elo, Rusliadi dan Syahdinar, 2023). Namun, hal yang sama tidak dapat diterapkan di pulau-pulau kecil berpenghuni karena minimnya sungai untuk PLTMH. Alternatif lain yang bisa diterapkan adalah penggunaan angin untuk pembangkit listrik atau PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu).

Angin adalah bentuk energi yang tak ada habisnya, sehingga dapat digunakan sebagai sumber pembangkit listrik (Syamsuarnis dan Candra, 2020). Salah satu jenis angin yang sangat dikenal adalah angin laut. Angin laut bertiup dari arah laut ke darat antara pukul 09.00 sampai pukul 16.00. Ketersediaan angin laut sebagai sumber energi merupakan dasar pengembangan PLTB (Marzuarman dkk., 2019). Hal yang sama dapat diterapkan untuk pulau-pulau kecil di Provinsi Papua. Namun, tidak semua daerah memiliki angin yang potensial. Menurut Murniati dan Sudarti, kecepatan angin yang baik untuk membangkitkan listrik tenaga angin adalah 1.6 - 17.1 m/s (Murniati dan Sudarti, 2022). Berdasarkan hal tersebut, pengembangan PLTB di pulau-pulau kecil di Provinsi Papua harus diawali dengan kajian sebaran besar kecepatan angin laut.

Masalah yang dihadapi adalah kurangnya kajian terhadap pemanfaatan kecepatan angin laut sebagai pembangkit listrik di wilayah pesisir Provinsi Papua. Kajian sejenis telah dilakukan oleh Maladeni dan Ishak serta Widyanto dkk., namun berlokasi di Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara (Maladeni dan Ishak, 2021; Widyanto, Wisnugroho dan Agus, 2018).

Kajian tentang potensi angin di Papua dilakukan oleh Mirino, dkk., yang berfokus pada pengembangan bilah kincir untuk memaksimalkan daya yang bisa dihasilkan (Mirino, Partadinova dan Subgan, 2022). Salawane, juga melakukan kajian pemanfaatan angin untuk sumber energi listrik di Nabire (Salawane, 2020). Namun, data kecepatan angin yang ditampilkan pada kedua penelitian tersebut adalah data rata-rata kecepatan angin perbulannya. Data tersebut tidak bisa menggambarkan pola sebaran angin di wilayah pesisir secara rinci. Angin laut cenderung bergerak secara fluktuatif dengan pola tertentu. Sehingga tidak bisa digambarkan hanya dengan data rata-rata.

Berangkat dari hal tersebut, penelitian ini bertujuan melakukan kajian kelayakan angin laut di pesisir utara Provinsi Papua sebagai sumber pembangkit listrik. Studi yang dilakukan menghasilkan data pola sebaran kecepatan angin laut di pesisir utara Provinsi Papua. Data diukur langsung dengan Anemometer di perbukitan dekat garis pantai Kota Jayapura. Data ini digunakan untuk menghitung potensi daya listrik dari angin laut. Berpatokan pada prinsip bahwa sebaran angin laut yang sama juga mencakup pulau kecil berpenghuni digaris pantai yang sama, maka data tersebut dapat digunakan untuk menentukan potensi daya listrik dari energi angin laut di pulau kecil seperti Pulau Anus, Pulau Yarsun, Pulau Masimasi, Pulau Nirumoar dan Pulau Liki. Sistem turbin yang digunakan untuk menangkap angin laut berjenis savonius. Turbin ini mudah untuk dibuat dan tidak membutuhkan kecepatan angin yang tinggi untuk berputar. Namun, kekurangannya adalah efisiensi yang rendah sehingga daya berkurang. Hal ini nantinya bisa dikompensasi dengan menambah jumlah turbin untuk meningkatkan total daya.

## 2. METODOLOGI

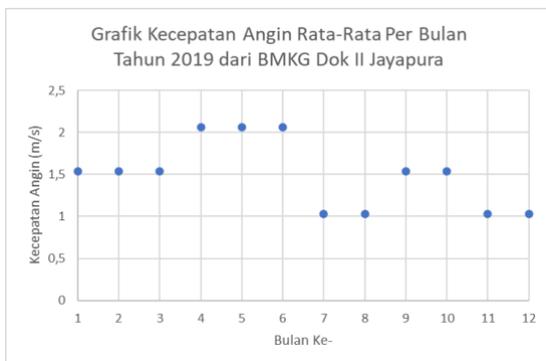
### 2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kota Jayapura, Provinsi Papua. Pengambilan data dilakukan di area perbukitan dekat dengan pesisir pantai. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan tangkapan angin laut. **Gambar 1** menunjukkan peta lokasi pengambilan data dan pulau-pulau yang masuk dalam katagori pulau kecil terluar yang berpenghuni di utara garis pantai Provinsi Papua.



**Gambar 1.** Lokasi pengambilan data kecepatan angin (Titik A) dengan lokasi pulau kecil berpenghuni di pesisir utara Provinsi Papua (Titik B, C, D, E, F)

Lokasi pengambilan data direpresentasikan oleh Titik A, sedangkan masing-masing Pulau Anus, Pulau Yarsun, Pulau Masimasi, Pulau Nirumoar dan Pulau Liki direpresentasikan oleh titik B hingga titik F. Pulau Anus paling dekat dengan lokasi pengambilan data dengan jarak 140 Km, sedangkan Pulau Liki menjadi lokasi terjauh dengan jarak 240 km. **Gambar 1** menunjukkan, bahwa lokasi pengambilan data dan lokasi lima pulau kecil di pesisir utara Provinsi Papua berada di satu garis pantai yang sama. Sehingga, dianggap bahwa angin laut dari arah utara datang dengan kecepatan yang sama di keenam titik tersebut.



**Gambar 2.** Grafik kecepatan angin rata-rata per bulan tahun 2019 (BPS, 2019).

Pada **Gambar 2** menunjukkan grafik data kecepatan angin rata-rata perbulan tahun 2019. Data ini diperoleh dari BMKG Dok. II Jayapura (BPS, 2019). Grafik tersebut menunjukkan data terendah untuk kecepatan angin rata-rata adalah 1,03 m/s pada bulan Juli, Agustus, November dan Desember, jauh dibawah standar kecepatan angin yang dianjurkan yaitu 1,6 m/s. Pada bulan lainnya, kecepatan angin rata-rata adalah 1,54 m/s dan 2,06 m/s.

Walaupun kecepatan angin rata-rata pada bulan Juli, Agustus, November dan Desember tahun 2019 jauh dibawah standar kecepatan angin untuk PLTB, diyakini bahwa pada periode yang sama, terdapat sebaran kecepatan angin yang berada diatas standar yang dianjurkan. Namun, sebaran ini berada pada periode yang lebih kecil yaitu menit hingga jam. Dengan anggapan bahwa pola sebaran angin perharinya akan berulang selama periode bulan tertentu, maka pengambilan data dilakukan hanya selama tiga hari dari 30 Juli 2020 hingga 1 Agustus 2020. Data kecepatan angin pada kasus ini disajikan lebih rinci dengan satuan menit untuk melihat secara jelas pola sebaran kecepatan angin perharinya. Berbeda dengan data yang disajikan dari BMKG Dok II Jayapura. Proses pengambilan data kecepatan angin ditunjukkan **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Proses tempat pengambilan data

### 2.2. Alat untuk Proses Pengukuran

Kecepatan angin pada penelitian ini diukur menggunakan Anemometer tipe HP-866B yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Anemometer tersebut

ditempatkan pada sebuah struktur menara dengan tinggi 3 meter seperti ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 4. Anemometer HP-866B

### 2.3. Data Pengukuran

Data pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu data kajian teori dan data hasil pengukuran. Data kajian teori adalah data hasil perancangan seperti jari-jari turbin, dan data variabel seperti kerapatan udara, koefisien daya, transmisi, baterai serta generator. Data hasil kajian teori digunakan untuk menghitung daya listrik yang mampu dihasilkan dari angin laut. Data kajian teori ditunjukkan secara rinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil kajian teori (Setiawati dan Nugraha, 2020)

Data kajian teori	Lambang	Nilai
Kerapatan udara	P	1,158785 kg/m <sup>3</sup>
Jari-jari turbin	R	0,5 m
Koefisien daya	C <sub>p</sub>	0,4
Efisiensi Transmisi	η <sub>tr</sub>	0,95
Efisiensi Baterai	η <sub>b</sub>	0,75
Efisiensi Generator	η <sub>g</sub>	0,85

Data hasil pengukuran adalah data kecepatan angin yang diukur dengan anemometer HP-866B. Data tersebut dibagi menjadi data pengukuran hari pertama, kedua dan ketiga. Setiap hari dibagi menjadi dua sesi, sesi pagi pada Pukul 10.00 - 12.00 WIT, sesi siang pada Pukul 14.00 - 16.00 WIT. Pengukuran pada setiap sesi dilakukan selang satu menit sehingga setiap sesi menghasilkan 120 data suhu dan kecepatan angin.

### 2.4. Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan dua metode untuk mengolah data hasil pengukuran. Masing-masing metode untuk menghitung, pertama, jangkauan daya listrik yang mampu dihasilkan, kedua, pola sebaran kecepatan angin. Parameter pertama dicapai dengan metode statistik sederhana untuk menghitung nilai minimal dan maksimal dari kecepatan angin. Nilai kecepatan angin minimum dan maksimum kemudian dimasukkan pada persamaan teori untuk menghitung jangkauan daya listrik aktual. Parameter kedua dicapai menggunakan metode regresi linier untuk menyimpulkan pola sebaran data kecepatan angin. Regresi dihitung secara instan berdasarkan data kecepatan angin yang diplot pada *Microsoft Excel*.

Tabel 2. Parameter variabel yang dihitung

Variabel	Pengertian
Luas penampang turbin	Turbin yang dirancang adalah turbin sovonius karena mudah untuk dibuat dan tidak membutuhkan kecepatan angin yang tinggi untuk berputar, namun efisiensinya rendah. Luas penampang turbin sama dengan luas penampang setengah tabung
Masa udara yang bergerak	Masa dari angin laut
Energi kinetik angin laut	Energi yang dibangkitkan karena udara yang bergerak dengan massa tertentu
Daya mekanik turbin	Daya yang dihasilkan oleh angin yang mengenai permukaan turbin
Daya efektif turbin	Daya pada bagian rotor turbin
Daya aktual turbin	Daya listrik yang dihasilkan setelah turbin dihubungkan dengan sistem kelistrikan

Nilai daya yang bersumber dari energi angin dihitung menggunakan enam variabel, yaitu luas penampang turbin (setengah tabung), masa udara yang bergerak, energi kinetik angin laut, daya mekanik turbin, daya efekti turbin dan daya aktual. [Tabel 2](#) menunjukkan informasi variabel yang digunakan untuk menghitung daya.

Luas penampang turbin dihitung menggunakan persamaan 1 ([Mulkan, 2022](#)):

$$A = \frac{1}{2} \times 2 \times \pi \times r \times (r + t) \quad (1)$$

Dimana:

- A = luas penampang turbin (m<sup>2</sup>)
- r = jari-jari turbin (m)
- t = tinggi turbin (m)

Massa dari udara yang bergerak dihitung menggunakan persamaan 2 ([Mulkan, 2022](#)):

$$\vec{m} = A \times v \times \rho \quad (2)$$

Dimana:

- v = kecepatan angin laut (m/s)
- ρ = massa jenis udara yang bergerak (angin) (kg/m<sup>3</sup>)

Energi kinetik angin laut dihitung menggunakan persamaan 3 ([Mulkan, 2022](#)):

$$E_K(\text{Angin Laut}) = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (3)$$

Dimana:

- E<sub>K</sub> = energi kinetik angin laut
- m = massa dari udara yang bergerak (angin) (kg)

Daya mekanik turbin dihitung menggunakan persamaan 4 ([Mulkan, 2022](#)):

$$P_m = E_K \quad (4)$$

Dimana:

- P<sub>m</sub> = daya mekanik turbin (Watt)

Daya efektif turbin dihitung menggunakan persamaan 5 ([Mulkan, 2022](#)):

$$P_{ef} = \frac{1}{2} \times C_p \times \rho \times D^2 \times v^3 \quad (5)$$

Dimana:

- P<sub>ef</sub> = daya mekanik turbin (Watt)
- C<sub>p</sub> = koefisien daya
- D = diameter turbin (m)

Daya aktual turbin dihitung menggunakan persamaan 6 ([Mulkan, 2022](#)):

$$P_{aktual} = \frac{1}{2} \times C_p \times \rho \times \eta_{tr} \times \eta_b \times \eta_g \times v^3 \quad (6)$$

Dimana:

- P<sub>aktual</sub> = daya aktual turbin (Watt)

Pengolahan data dimulai dengan menghitung nilai rata-rata, minimum dan maksimum dari kecepatan angin laut. Nilai ini digunakan untuk menghitung variabel dipersamaan 2 hingga 6. Perhitungan dilakukan secara runtut mulai dari persamaan 1 hingga persamaan 6. Dua variable utama disini adalah energi kinetik angin laut yang dapat digunakan untuk menggambarkan besar potensi angin laut di pesisir utara Provinsi Papua, dan daya aktual turbin yang menggambarkan energi listrik yang bisa dihasilkan dari energi kinetik angin laut berdasarkan rancangan turbin tertentu.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengukuran Kecepatan Angin

Proses pengukuran yang telah dilakukan menghasilkan 720 data kecepatan angin laut. 720 data ini kemudian disederhanakan dan ditampilkan pada [Tabel 3](#). Data yang ditampilkan adalah data rata-rata, minimum dan maksimum dari total 60 data kecepatan angin setiap jam pada sesi pagi dan siang selama tiga hari pengukuran.

Berdasarkan [Tabel 3](#), diketahui bahwa kecepatan angin laut minimum selama proses pengukuran adalah 0,2 m/s, dan terjadi pada hari pertama di sesi pengukuran pagi dan siang. Sedangkan, kecepatan angin laut maksimum adalah 6,18 m/s yang terjadi pada hari ketiga di sesi siang. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan angin laut dari utara pesisir Provinsi Papua cukup bervariasi dari 0,2 - 6,18 m/s. Artinya, 77% jangkauan kecepatan angin tersebut berada di atas nilai batas acuan 1,6 m/s yang direkomendasikan. Jika dihitung persatuan data, maka ditemukan 434 dari tototal 720 data pengukuran yang nilai kecepatan anginnya diatas 1,6 m/s. Artinya, 60% data pengukuran menunjukkan bahwa kecepatan angin dari utara pesisir Provinsi Papua berada jangkauan yang direkomendasikan.

**Tabel 3.** Kecepatan angin minimum, rata-rata, dan maksimal selama tiga hari pengukuran pada pukul 09.00 WIT, 10.00 WIT, 14.00 WIT dan 15.00 WIT

Pukul (WIT)	Kecepatan minimum (m/s)			Kecepatan rata-rata (m/s)			Kecepatan Maksimum (m/s)		
	Hari I	Hari II	Hari III	Hari I	Hari II	Hari III	Hari I	Hari II	Hari III
09:00	0,32	0,33	1,66	1,34	1,23	2,8	3,7	2,36	3,79
10:00	0,2	0,36	1,84	1,23	1,24	2,88	2,56	2,4	6,18
14:00	0,2	0,34	1,84	2,26	1,24	3,06	4,45	2,18	6,18
15:00	1,5	0,45	1,84	2,9	1,6	3,27	4,34	2,62	6,18

Grafik kecepatan angin minimum

Grafik kecepatan angin rata-rata

Grafik kecepatan angin maksimum

40% data pengukuran berada dibawah standar kecepatan angin. Kondisi ini disebabkan karakteristik angin laut yang bertiup dengan kecepatan yang tidak konstan atau berfluktuasi per satuan waktunya. Karakteristik yang sama juga ditunjukkan pada hasil pengukuran kecepatan angin di daerah Kepulauan Riau oleh Anjasmara dkk., (Anjasmara, Suhendra dan Yuniato, 2019). Pengukuran kecepatan angin pada penelitian tersebut dilakukan pada tiga sesi yaitu pagi, siang, dan malam selama dua hari. Hasil penelitiannya menunjukkan, bahwa angin bergerak dengan kecepatan yang berfluktuasi antara 0 hingga 1,8 m/s.

Jika sekedar membandingkan nilai data yang terukur, maka kecepatan angin di pesisir utara Provinsi Papua lebih tinggi dari Kepulauan Riau. Anjasmara dkk, tidak memberikan informasi tanggal pengukuran, sehingga kecepatan angin di Kepulauan Riau bisa lebih besar pada periode pengukuran lain. Perbedaan kecepatan angin karena perbedaan daerah dan waktu bisa terjadi karena kondisi lingkungan seperti suhu dan tekanan udara yang mempengaruhi kecepatan angin juga berbeda disetiap daerah per periode waktunya (Anjasmara, Suhendra dan Yuniato, 2019).

### 3.2. Hasil Pengolahan Data

Berdasarkan tabel 1, turbin yang dirancang memiliki jari-jari 0,5 m dan tinggi 1 m, sehingga dengan menggunakan persamaan 1 (Mulkan,

2022), diperoleh nilai luas permukaan turbin sebesar:

$$A = \frac{1}{2} \times 2 \times \pi \times 0,5 \times (0,5 + 1) = 2,36 \text{ m}^2$$

Jika menggunakan nilai kerapatan udara yang sama untuk semua sebaran suhu sesuai dengan Tabel 1 dan nilai kecepatan angin paling tinggi untuk semua sesi pengukuran sebesar 6,18 m/s, maka laju aliran massa angin laut yang dihitung menggunakan persamaan 2 (Mulkan, 2022) adalah:

$$\vec{m} = 2,36 \times 6,18 \times 1,158785 = 16,87 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Angin laut yang bermassa dan bergerak dari bagian utara pesisir Provinsi Papua tersebut menghasilkan energi kinetik yang dihitung menggunakan persamaan 3 (Mulkan, 2022):

$$E_k(\text{Angin Laut}) = \frac{1}{2} \times 16,87 \times 6,18^2 = 322,22 \frac{\text{Joule}}{\text{s}}$$

Energi kinetik dari perhitungan persamaan 3 sama dengan daya mekanik pada turbin yaitu 322,22 Watt. Namun, daya efektif yang dapat dihasilkan dari putaran turbin lebih kecil dari daya mekanik tersebut. Berdasarkan persamaan 5 (Mulkan, 2022), daya efektif yang dihasilkan adalah:

$$P_{ef} = \frac{1}{2} \times 0,4 \times 1,158785 \times 1^2 \times 6,18^3$$

$$= 54,7 \text{ Watt}$$

Daya aktual yang dihasilkan saat turbin dihubungkan dengan sistem elektrik seperti sistem transmisi, generator, dan baterai dihitung menggunakan persamaan 6 (Mulkan, 2022), yaitu:

$$P_{aktual} = \frac{1}{2} \times 0,4 \times 1,158785 \times 0,95 \times 0,85 \times 0,75 \times 6,18^3$$

$$= 33,13 \text{ Watt}$$

Berdasarkan pengolahan data diketahui bahwa daya efektif yang mampu dihasilkan oleh angin laut dengan kecepatan 6,18 m/s dari utara pesisir pantai Provinsi Papua adalah 322,22 Watt. Namun, saat menggunakan rancangan turbin sovonius dengan jari-jari 0,5 m dan tinggi 1 m, daya mekanik yang mampu dihasilkan turun menjadi 54,7 Watt. Daya ini juga berkurang saat turbin dihubungkan dengan sistem transmisi dan perangkat elektrik. Berdasarkan hasil perhitungan daya aktual yang mampu dibangkitkan dengan kecepatan angin 6,18 m/s dan rancangan turbin seperti sebelumnya adalah 33,13 Watt.

Jika kecepatan angin minimal pada turbin dibatasi sebesar 1,6 m/s sesuai dengan acuan, maka dengan persamaan 3 dan 4 diperoleh nilai energi kinetik angin laut dan daya mekanik turbin sebesar 5,59 Watt. Sedangkan, daya aktual yang dapat dihasilkan adalah 0,57 Watt. Dengan demikian, sebaran nilai energi kinetik angin laut dari utara pesisir Provinsi Papua dengan kecepatan angin laut minimum sebesar 1,6 m/s adalah 5,59 - 322,22 Joule/s, sedangkan daya mekanik turbin dari energi kinetik tersebut adalah 5,59 - 322,22 Watt. Namun, jangkauan daya aktual yang mampu dihasilkan hanya 0,57 - 33,13 Watt.

Kajian mengenai pemanfaatan angin sebagai sumber pembangkit energi listrik juga dilakukan oleh Novri, dimana tenaga listrik aktual maksimal yang mampu dihasilkan pada sistem tersebut adalah 169,94 Watt (Novri, 2021), lebih besar dari daya aktual 33,13 Watt pada penelitian ini. Novri menggunakan sistem dengan nilai parameter yang sama seperti Tabel 1, artinya kedua sistem pembangkit listrik sama secara teori.

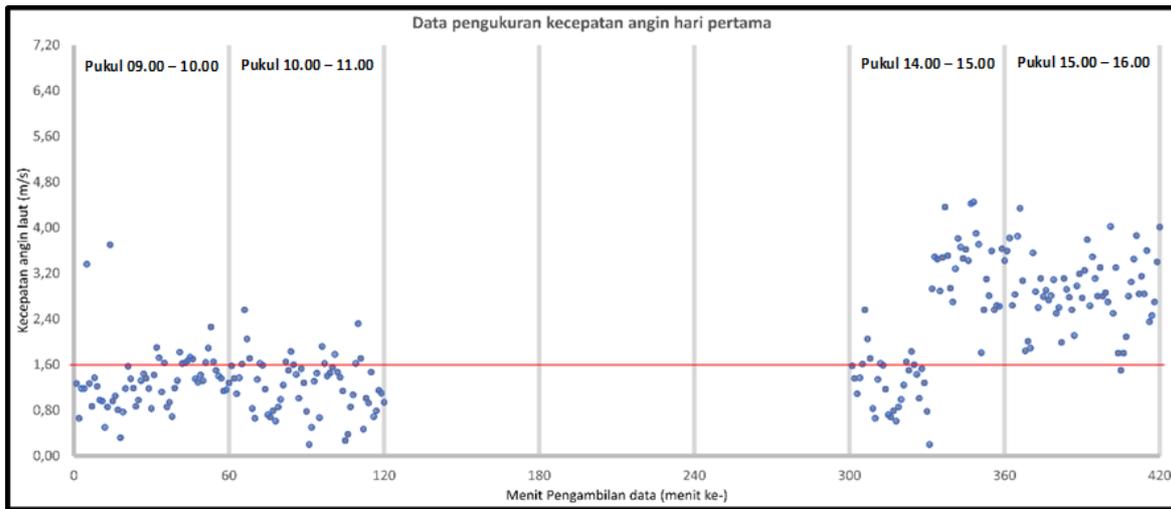
Nilai daya aktual yang berbeda antara kedua sistem dikarenakan oleh perbedaan kecepatan angin maksimal yang tersedia di kedua lokasi. Kecepatan angin maksimal pada penelitian Novri adalah 10,46 m/s yang diukur di daerah tambak Sidoarjo, Jawa Timur (Novri, 2021). Sehingga dapat disimpulkan, bahwa daya aktual yang mampu dihasilkan oleh suatu sistem pembangkit sangat tergantung dari kecepatan angin yang bisa menggerakkan turbin.

### 3.3. Sebaran Kecepatan Angin

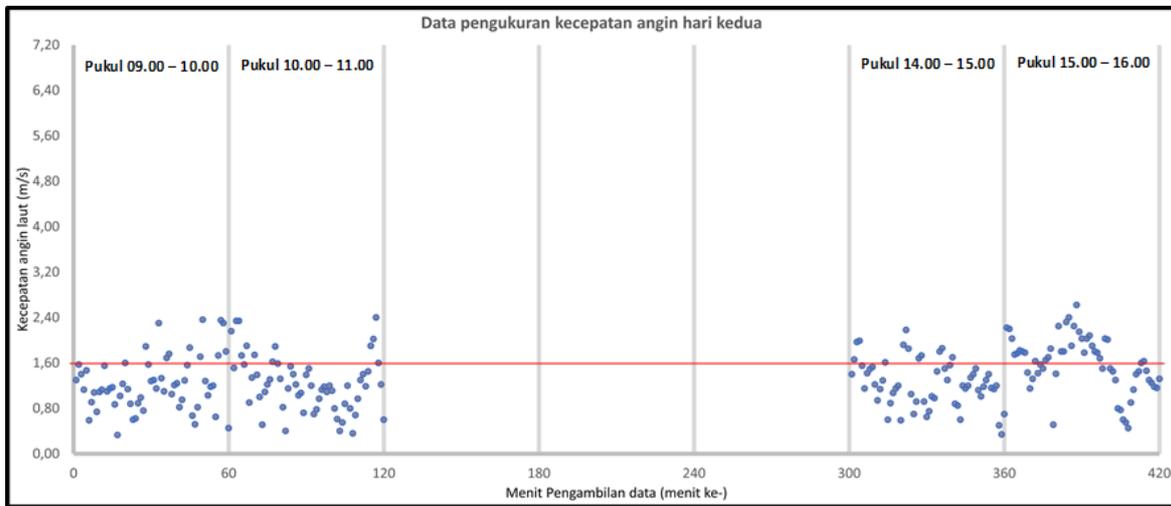
Sebaran semua data kecepatan angin laut dari hasil pengukuran ditunjukkan Gambar 5 untuk hari pertama, Gambar 6 untuk hari kedua dan Gambar 7 untuk hari ketiga. Terdapat 240 data pengukuran yang diplot pada masing-masing grafik. Sumbu-x pada setiap grafik merepresentasikan menit dalam pengambilan data, dimana sumbu-x dibagi menjadi 7 segmen. Setiap segmen terdiri dari 60 menit dan menunjukkan jam pengukuran, dimulai dari pukul 09.00-10.00 WIT, pukul 10.00-11.00 WIT, dilanjutkan pukul 14.00-15.00 WIT, dan 15.00-16.00 WIT. Sumbu-y merepresentasikan kecepatan angin laut.

Terdapat garis merah yang ditarik secara horizontal pada titik kecepatan angin laut dengan nilai 1,6 m/s. Garis tersebut berguna sebagai tanda kecepatan angin minimum yang direkomendasikan oleh Murniati dan Sudarti pada sistem pembangkit listrik tenaga angin (Murniati dan Sudarti, 2022). Ciri kecepatan angin laut dapat diteliti berdasarkan garis acuan tersebut. Selain garis merah, terdapat juga garis biru yang merepresentasikan garis regresi linier dari sebaran data kecepatan angin laut. Garis regresi ini berguna untuk menentukan tren kecepatan angin laut di pesisir utara Provinsi Papua.

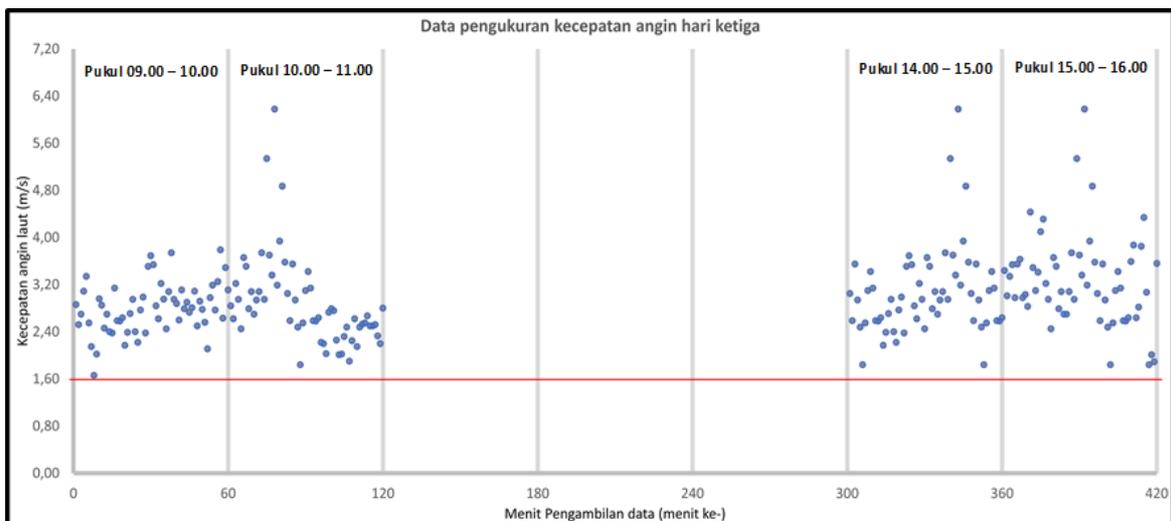
Secara keseluruhan, grafik pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan ciri sebaran kecepatan angin laut yang berbeda-beda. Hal ini didukung dengan nilai regresi yang berbeda pada setiap grafik. Tabel 4 menunjukkan rangkuman tren yang dihasilkan. Kecepatan angin pada hari pertama cenderung meningkat menuju sore hari, dengan nilai kecepatan angin laut tertinggi terjadi



Gambar 5. Grafik sebaran data pengukuran hari pertama



Gambar 6. Grafik sebaran data pengukuran hari kedua



Gambar 7. Grafik sebaran data pengukuran hari ketiga

Tabel 4. Karakteristik kecepatan angin laut pada tiga hari pengukuran

Hari ke-	Gradien regresi linier	Posisi tren terhadap garis batas	Keterangan
I	Positif	Memotong	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kecepatan angin laut meningkat (gradien positif) hingga sore hari.</li> <li>Peningkatan kecepatan angin lebih signifikan dibandingkan hari kedua dan ketiga (nilai gradien yang lebih besar)</li> <li>Tren kecepatan angin laut mulai berada di atas batas acuan setelah pukul 11.00</li> </ul>
II	Positif	Di bawah	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kecepatan angin laut meningkat (gradien positif) namun tidak signifikan sehingga dianggap konstan.</li> <li>Tren Kecepatan angin laut berada di bawah garis batas acuan</li> </ul>
III	Positif	Di atas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kecepatan angin laut meningkat (gradien positif) namun tidak signifikan sehingga dianggap konstan.</li> <li>Tren Kecepatan angin laut berada di atas garis batas acuan</li> </ul>

antara pukul 14.00 - 15.00 WIT yaitu sebesar 4,45 m/s. Terlihat juga bahwa hampir semua data yang diukur pada pukul 15.00 - 16.00 WIT berada diatas batas minimum kecepatan angin. Hal ini berbanding terbalik saat pengukuran dilakukan pada sesi pagi hari. Dengan kata lain, kecepatan angin pada hari pertama bergerak meningkat menjelang sore hari.

Hal yang berbeda terjadi di hari kedua. Sebaran data pengukuran menunjukkan bahwa walaupun masih terdapat fluktuasi, namun kecepatan angin laut cenderung konstan dari pagi hingga siang hari. Dimana, flutuasi yang terjadi konstan pada garis batas 1,6 m/s. Hal ini juga didukung dengan ketiga nilai parameter yaitu kecepatan angin rata-rata, minimum dan maksimum yang ditunjukkan pada Tabel 3. Ketiga nilai parameter tersebut cenderung sama untuk setiap sesi pengukuran, sehingga mendukung analisis bahwa sebaran kecepatan angin pada hari kedua cukup konstan.

Tren yang terjadi di hari kedua juga terulang pada hari ketiga, dimana kecepatan angin masih berfluktuasi pada nilai 3,2 m/s, walaupun juga terdapat lonjakan nilai yang cukup signifikan pada pukul 10.00-11.00 WIT, pukul 14.00-15.00 WIT dan pukul 15.00-16.00 WIT. Kecepatan angin maksimal yang terukur pada ketiga waktu tersebut mencapai 6,18 m/s. Satu hal yang berbeda antara pengukuran hari kedua dan hari ketiga adalah kecepatan angin minimum. Kecepatan angin

minimum yang terukur pada hari ketiga hanya mencapai 1,66 m/s. Dengan kata lain, kecepatan angin laut di pesisir utara Provinsi Papua selama pengukuran hari ketiga melebihi nilai batas yang direkomendasikan.

Berdasarkan hasil analisis data sebaran kecepatan angin yang ditampilkan pada grafik di Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7, penelitian ini menemukan dua tren yang dapat merepresentasikan karakteristik kecepatan angin laut dari arah utara pesisir Provinsi Papua. Pertama, tren konstan, yaitu kecepatan angin laut berfluktuatif secara konstan di sekitar nilai ambang batas 1,6 m/s ataupun diatasnya. Hal ini terlihat dari gradien garis regresi pada data sebaran kecepatan angin yang nilainya mendekati nol. Kedua, tren positif dengan nilai gradien yang lebih besar dari tren konstan. Pada tren positif, kecepatan angin masih tetap berfluktuasi. Namun bergerak meningkat menjelang sore hari.

#### 4. SIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan temuan dalam penelitian ini adalah angin laut dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan pada pembangkit listrik tenaga angin untuk area pesisir Jayapura, dan pulau-pulau kecil berpenghuni di utara pesisir Provinsi Papua. Hal ini didukung dengan hasil kajian yang menunjukkan bahwa 77% jangkauan kecepatan angin laut dari

utara pesisir pantai (0,2 - 6,18 m/s) berada di atas nilai kecepatan angin yang direkomendasikan 1,6 m/s. Selain itu, 60% total data kecepatan angin laut yang telah diukur berada diatas nilai acuan tersebut. Dengan jangkauan kecepatan angin 0,2 - 6,18 m/s, energi kinetik yang dihasilkan adalah 5,59 - 322,22 Joule/s dan daya mekaniknya adalah 5,59 - 322,22 Watt. Disisi lain, daya aktual yang mampu dihasilkan adalah 0,57 - 33,13 Watt.

Walaupun angin laut dapat digunakan untuk pengembangan pembangkit listrik untuk pulau-pulau kecil berpenghuni di utara pesisir Provinsi Papua seperti penjelasan sebelumnya. Namun terdapat dua hal yang harus menjadi acuan untuk pengembangan tersebut, yaitu: perubahan spesifikasi turbin savonius sehingga dengan kecepatan angin yang sama dapat menghasilkan daya aktual yang lebih besar, kemudian pembangkit listrik tenaga angin dapat menggunakan sistem multi-turbin untuk mengatasi nilai kecepatan angin laut yang terbatas pada 6,18 m/s. Semakin banyak turbin, maka total daya aktual yang dapat dihasilkan akan meningkat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anjasmara, R., Suhendra, T. dan Yuniarto, A.H. (2019) 'Implementasi Sistem Monitoring Kecepatan Angin, Suhu, dan Kelembaban Berbasis Web di Daerah Kepulauan', *Journal of Applied Electrical Engineering*, 3(2), hal. 29-35.
- BPS (2019) *Kecepatan Angin Maksimum Menurut Stasiun Pengamatan (Knot) di Jayapura, 2019*. Online: <https://papua.bps.go.id/indicator/151/465/1/kecepatan-angin-maksimum-menurut-stasiun-pengamatan.html> (Diakses: 16 Juli 2022).
- BPS (2022) *Persentase Rumah tangga dengan Sumber Penerangan Listrik PLN (Persen), 2020-2022*. Online: <https://www.bps.go.id/indicator/29/87/1/persentase-rumah-tangga-dengan-sumber-penerangan-listrik-pln.html> (Diakses: 22 April 2023).
- Elo, Y.L., Rusliadi, R. dan Syahdinar, S.F. (2023) 'Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Pada Sungai Air Besar Kampung Air Besar Kabupaten Fakfak', *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, 5(2), hal. 131-137.
- Maladeni, E.S. dan Ishak, A. (2021) 'Kelayakan Pengembangan Teknologi Elektrifikasi Pedesaan di Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Melalui Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) Di Kabupaten Wakatobi', *SCEJ (Shell Civil Engineering Journal)*, 6(1), hal. 11-22.
- Marzuarman, M. dkk. (2019) 'Pengukuran Kuat Hempasan Ombak Dan Kecepatan Angin Laut Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno', in *SNIT 2019. Seminar Nasional Industri dan Teknologi*, Bengkulu: Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Bengkulu, hal. 374-380.
- Mirino, R.R., Partadinova, I.G.D.A. dan Subgan, A.A. (2022) 'Kajian Teoritis Rancangan Bilah Kincir Angin Horizontal Modifikasi NACA 4412, 4415, 23012, dan 23015 Sebagai Penghasil Energi Alternatif di Manokwari', *Jurnal Natural*, 18(2), hal. 158-175.
- Mulkan, A. (2022) 'Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik', *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 3(1), hal. 74-83.
- Murniati, M.E. dan Sudarti, S. (2022) 'Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Pembangkit Energi Listrik Tenaga Angin Di Daerah Banyuwangi Kota Menggunakan Database Online-BMKG', *JURNAL SURYA ENERGY*, 6(1), hal. 9-16.
- Novri, R.R. (2021) 'The Analisis Potensi Energi Angin Tambak Untuk Menghasilkan Energi Listrik', *Journal of Research and Education Chemistry*, 3(2), pp. 96-96.
- Salawane, H. (2020) 'Pemanfaatan Data Angin Untuk Sumber Energi Listrik Di Nabire', in *Prosiding Seminar Nasional MIPA III Universitas Cenderawasih. Seminar Nasional MIPA III Universitas Cenderawasih*, Jayapura: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Cenderawasih, hal. 1-7.
- Setiawati, F.Z. dan Nugraha, A. (2020) 'Normal Standar Klimatologi Untuk Pemetaan Potensi Energi Angin Dan Simulasinya Di Wilayah Kalimantan Barat', *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 7(3), hal. 29-35.
- Syamsuarnis, S. dan Candra, O. (2020) 'Pembangkit Listrik Tenaga Angin sebagai Energi Listrik Alternatif bagi Masyarakat Nelayan Muaro Ganting Kelurahan Parupuk Kecamatan Koto Tangah', *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, 6(2), hal. 44-47.
- Tebai, M., Hunaini, F. dan Mukhsim, M. (2022) 'Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Portable Menggunakan Metode Archimedes Screw Pada Daerah Pedalaman Papua', *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 3(01), hal. 29-39.

Widyanto, S.W., Wisnugroho, S. dan Agus, M. (2018)  
'Pemanfaatan Tenaga Angin Sebagai Pelapis Energi Surya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Di Pulau Wangi-Wangi', in *Prosiding Semnastek 2018. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018*, Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, hal. 1-12.

