

NOZEL

Jurnal Pendidikan Teknik Mesin

Jurnal Homepage: <https://jurnal.uns.ac.id/nozel>



ANALISIS POTENSI ANGIN DI KECAMATAN JATEN KABUPATEN KARANGANYAR BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)

Reynaldi Fajar Adiputra^{1*}, Taufik Wisnu Saputra², dan Dinar Susilo Wijayanto³

Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret
Kampus V UNS Pabelan Jl. Ahmad Yani Nomor 200, Surakarta
Email: reynaldifajar44@student.uns.ac.id

Abstract

This research aims to identify appropriate wind turbine recommendations that are suitable for the measurement based on wind potential in Jaten District. The research adopts an experimental method. The data sources for this study include wind speed and direction measurements obtained using an IoT-based microcontroller. Purposive sampling was employed to collect the samples. The tools used for data collection consist of an anemometer for measuring wind speed and a wind vane for determining wind direction. The data were analyzed descriptively and quantitatively. The results of the study indicate that the highest average wind speed was observed at a height of 10 meters. In Jaten District, the average wind speed was 0.47 m/s, with the highest speed of 3.38 m/s. The dominant wind direction blows from Southeast to West. The wind potential in these areas is not sufficiently high to be effectively utilized as a significant wind energy source due to its low magnitude. In the context of Jaten District, the vertical Savonius wind turbine is recommended for harnessing low wind speeds. Types of Savonius turbines that can be used such as the 2-bladed Helical type Savonius turbine with end plate has a cut-in speed of 1.906 m/s and the 2-bladed S type Savonius turbine with the addition of 4 fins has a cut-in speed of 1.8 m/s.

Keywords: *Wind Potensial, Wind Speed, Wind Direction, microcontroller, Jaten District*

A. PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi sebuah kebutuhan utama yang digunakan oleh manusia. Kebutuhan energi di dunia dan khususnya di Indonesia terus meningkat

seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat (Fachri & Hendrayana, 2017). Kebutuhan energi di Indonesia masih

sangat tergantung pada penggunaan energi listrik mencapai 95% dibandingkan energi yang lain (Putra et al., 2020). Energi listrik yang digunakan saat ini hanya terfokus pada energi fosil berupa minyak bumi, gas bumi, dan batu bara.

Energi terbarukan di Indonesia masih rendah dalam pengembangan dan pemanfaatannya. Sementara itu, energi terbarukan di Indonesia sangat berlimpah dan belum banyak digunakan. Pengembangan energi alternatif baru dan terbarukan sedang digalakkan melalui kebijakan pemerintah untuk mendorong pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan misalnya air, matahari, panas bumi, biomassa dan juga angin (Mulkan, 2022).

Indonesia merupakan negara yang sangat besar memiliki potensi tenaga angin menjadikan pembangkit listrik tenaga angin menjadi salah satu solusi yang tepat dalam mengatasi masalah keterbatasan energi (Hilmansyah et al., 2017). Energi angin yang dimanfaatkan menggunakan turbin telah terbukti menjadi sumber listrik yang bermanfaat. Potensi energi angin di Indonesia dengan kecepatan angin rata-rata sekitar 3 s.d 5 m/s dan total daya yang dapat dibangkitkan sebesar 9.290 MW, ini merupakan salah satu potensi energi yang cukup besar, mengingat di Indonesia hanya

memanfaatkannya sekitar 1% dari potensinya (Bachtiar & Hayyatul, 2018).

Ketersediaan data peta potensi energi angin yang tepat dari suatu wilayah sangat diperlukan. Adanya bantuan informasi dari peta potensi energi angin diharapkan dapat memperoleh data kecepatan dan arah angin yang dapat membantu pembangunan PLTB agar menjadi lebih baik. Salah satu wilayah yang masih menggunakan energi listrik yang berasal dari energi fosil berupa minyak bumi, gas bumi, dan batu bara adalah Kabupaten Karanganyar.

Tantangan yang dihadapi tenaga angin sebagai sumber energi alternatif adalah ketidakpastian sumber daya dalam ketersediaannya (Adetunla et al., 2022). Untuk mengetahui potensi angin, maka diperlukan alat ukur yang akurat. Hal tersebut menjadi penting dalam mengetahui kecepatan angin, agar dapat memetakan potensi energi angin di suatu tempat (Prabowo et al., 2018).

Pemanfaatan sistem berbasis komputer yang dijadikan sebagai sistem pendukung keputusan untuk membantu manusia dalam meningkatkan produktivitas, efektivitas, efisiensi, mutu, serta pemecahan masalah. Salah satunya dengan memanfaatkan teknologi berbasis mikrokontroler. Menurut Sokop (2016) mikrokontroler merupakan salah satu teknologi yang

berkembang begitu pesat dengan berbagai macam tipe dan fungsi seperti ESP32 yang dapat digunakan sebagai mikrokontroler untuk berbagai fungsi dalam bidang teknologi elektronika.

ESP32 sangat cocok digunakan untuk mendukung penggunaan alat yang berbasis dengan *Internet of Things (IoT)*. *Internet of Thing (IoT)* adalah sebuah metode yang bertujuan untuk memaksimalkan manfaat dari konektivitas internet untuk melakukan transfer dan pemrosesan data-data atau informasi melalui sebuah jaringan internet secara nirkabel, virtual dan otonom (Hidayatullah & Juliando, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi angin di Karanganyar. Alat pengukur potensi angin menggunakan mikrokontroler berbasis *Internet of Things (IoT)* yang nantinya hasil dari pengukuran kecepatan dan arah angin tersimpan otomatis dalam *micro SD card* dan mengirim data secara berkala secara daring melalui *google spreadsheet*, serta dapat dipantau melalui aplikasi telegram. Setelah mendapatkan hasil potensi angin selanjutnya dapat menuliskan kesimpulan tentang rekomendasi jenis turbin angin sesuai pada wilayah Kecamatan Jaten.

B. METODE

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen. Pelaksanaan penelitian meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, pengujian, pengambilan data, dan analisis data. Metode pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode pengukuran. Pengukuran yang dilakukan melalui pengukuran kecepatan dan arah angin. Kecepatan angin diukur menggunakan alat anemometer berbasis mikrokontroler. Satuan yang digunakan dalam pengukuran kecepatan angin adalah *meter per second (m/s)*. Arah angin diukur menggunakan alat wind vane berbasis mikrokontroler. Satuan yang digunakan dalam pengukuran arah angin adalah derajat ($^{\circ}$).

Teknik pengambilan sampel menggunakan teknik *purposive sampling*. Populasi pada penelitian ini adalah potensi angin di Kecamatan Jaten yang memiliki beda ketinggian, Sedangkan untuk sampel pada penelitian ini adalah lokasi pengukuran potensi angin di wilayah Kecamatan Jaten. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lokasi dan variasi ketinggian. Lokasi yang digunakan adalah Kecamatan Jaten. Variasi yang digunakan dalam mengukur potensi angin adalah ketinggian 6, 8, 10, dan 12 meter. Teknik

analisis data menggunakan analisis deskriptif kuantitatif.

1. Alat Penelitian

a. ESP32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang terintegrasi, sehingga dapat digunakan pada *Wi-Fi* dan *Bluetooth* IoT. ESP32 berguna untuk mengirim dan menerima data dari perangkat yang tersambung. ESP32 digunakan sebagai otak yang terkomputerisasi disambungkan dengan sensor dan selanjutnya berguna untuk mengirim dan menerima data dari perangkat yang tersambung secara *online*.



Gambar 1. ESP32

b. Photoelectric Speed Count Sensor

Photoelectric speed count sensor digunakan untuk memonitor gerakan dan posisi. Rangkaian *rotary encoder* tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan dan *photoelectric speed count sensor*

ditempatkan pada salah satu sisi piringan.



Gambar 2. *Speed Count Sensor*

c. Sensor Hall Effect

Sensor Hall effect merupakan salah satu perangkat yang sering digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Rangkaian *Hall effect* terdiri dari bagian rotor yang terdapat magnet dan sebuah sensor *hall effect*. Ketika medan magnet berada di atas sensor *hall effect*, maka sensor tersebut akan memberikan sinyal *output* digital ke mikrokontroler yang digunakan.



Gambar 3. *Sensor Hall Effect*

d. Real Time Clock

Real Time Clock (RTC) merupakan jam elektronik berupa *chip* yang dapat menghitung waktu dengan akurat dan menjaga

atau menyimpan data waktu tersebut secara *real-time*. RTC dapat mengakses informasi data waktu mulai dari detik dan menit, jam, tanggal, tanggal, bulan dan tahun secara *real-time*.



Gambar 4. *Real Time Clock*

e. Modul *Micro SD*

Modul *micro SD* merupakan modul untuk mengakses kartu memori yang bertipe *micro SD*. Modul *micro SD* digunakan untuk membantu tempat penyimpanan sementara dan penulisan data kecepatan dan arah angin ke *micro SD card*.



Gambar 5. Modul *Micro SD*

2. Bahan Penelitian

a. Alat Ukur Kecepatan Angin

Pada penelitian ini, turbin yang digunakan pada alat ukur kecepatan angin adalah turbin

angin *Savonius* heliks dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Turbin

Spesifikasi	Keterangan
Tinggi rotor turbin	90 mm
Diameter rotor turbin	90 mm
Diameter poros	3 mm
Ketebalan <i>blade</i>	1 mm
Ketebalan <i>end plate</i>	2 mm
Jumlah sudu	4
Diameter <i>end plate</i>	90 mm
Material <i>blade</i> turbin	PLA+
<i>Revolutions blade</i>	0.25



Gambar 6. Alat Ukur Kecepatan Angin

b. Alat Ukur Arah Angin

Spesifikasi ekor yang digunakan pada alat pengukur arah angin sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Ekor

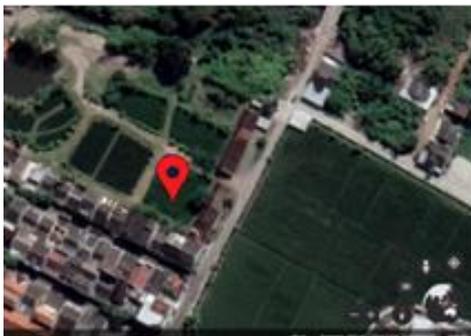
Spesifikasi	Keterangan
Panjang batang ekor	200 mm
Luas permukaan ekor	7.020,5 mm ²
Diameter poros	8 mm
Ketebalan ekor	3 mm
Material ekor	Akrilik
Material batang ekor	Aluminium
Material <i>body</i>	PLA+



Gambar 7. Alat Ukur Arah Angin

3. Tempat Penelitian

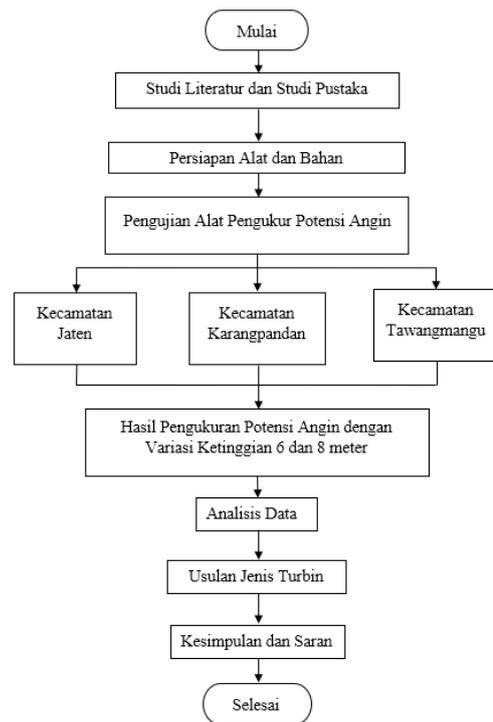
Kecamatan Jaten memiliki wilayah dengan ketinggian 90 s.d 105 mdpl. Sehingga termasuk dalam salah satu kecamatan dengan wilayah dengan ketinggian terendah di Kabupaten Karanganyar. Lokasi penelitian berada di Desa Jaten, Kecamatan Jaten, Kabupaten Karanganyar pada titik koordinat 7°34'23" Lintang Selatan dan 110°54'07" Bujur Timur dengan ketinggian 109 mdpl.



Gambar 8. Lokasi Penelitian

4. Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan digambarkan sebagai berikut:



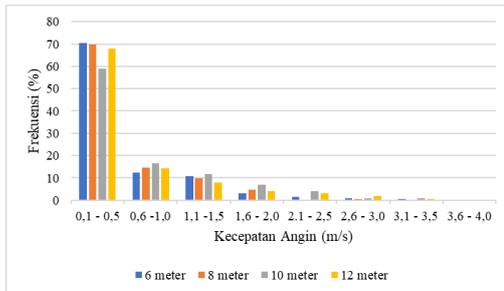
Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran potensi angin menggunakan mikrokontroler berbasis *Internet of Things* (IoT) dilakukan di wilayah Kecamatan Jaten. Pengambilan data dilakukan dengan interval 10 menit dalam jangka waktu 3 hari.

a. Frekuensi Kecepatan Angin

Hasil penelitian dari pengukuran kecepatan angin menggunakan alat pengukur kecepatan angin dalam kurun waktu 3 hari berturut-turut dengan 4 variasi ketinggian pada interval waktu setiap 10 menit akan akan memperoleh 1.728 data.

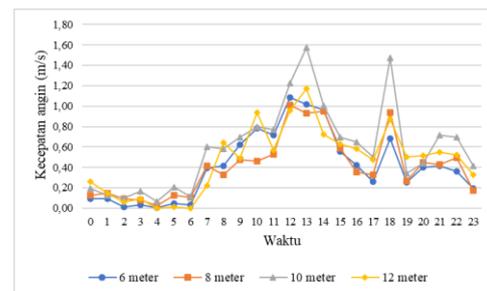


Gambar 10. Frekuensi Kecepatan Angin

Gambar 10 menunjukkan bahwa frekuensi angin terbanyak terjadi pada interval kecepatan angin 0,1 s.d 0,5 untuk seluruh ketinggian. Pada ketinggian 6 meter sebesar 70,37% dengan total 304 data, ketinggian 8 meter sebesar 69,91% dengan total 302 data, ketinggian 10 meter sebesar 59,03% dengan total 255 data, dan pada ketinggian 12 meter sebesar 68,06% dengan total 294 data. Sedangkan untuk data frekuensi terkecil terdapat pada interval 3,1 s.d 3,5 m/s untuk seluruh ketinggian yaitu pada ketinggian 8 meter sebesar 0,23% dengan total 1 data, ketinggian 10 meter sebesar 0,93 dengan total 4 data, dan ketinggian 6 dan 12 meter sebesar 0,69% dengan total 3 data. Kecepatan angin tertinggi dicapai pada ketinggian 10 meter sebesar 3,38 m/s. Sedangkan untuk ketinggian 6, 8, dan 12 meter memiliki kecepatan tertinggi yang sama sebesar 3,34 m/s.

b. Kecepatan angin rata-rata

Hasil pengukuran kecepatan angin selama 3 hari berturut-turut akan di ambil rata-rata (*mean*) kecepatan angin dan dikelompokkan sesuai dengan waktu bertiupnya angin ditunjukkan dengan interval waktu selama 24 jam.

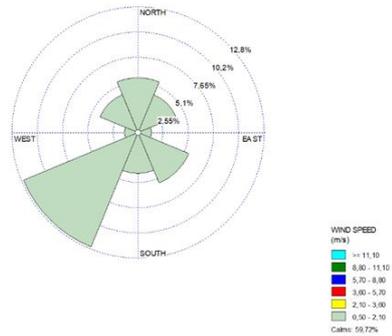


Gambar 11. Kecepatan Angin Rata-rata

Gambar 11 menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin tertinggi terjadi pada pukul 13.00 WIB dengan kecepatan rata-rata tertinggi diperoleh pada ketinggian 10 meter sebesar 1,58 m/s dan ketinggian 12 meter sebesar 1,17 m/s. Sedangkan ketinggian 6 meter dan 8 meter pada pukul 12.00 WIB menunjukkan kecepatan rata-rata tertinggi sebesar 1,09 m/s dan 1,01 m/s. Kecepatan angin rata-rata selama 3 hari berturut-turut pada ketinggian 6 meter dan 8 meter sebesar 0,41 m/s, ketinggian 10 meter sebesar 0,59 m/s, dan ketinggian 12 meter sebesar 0,47 m/s.

c. Arah Angin

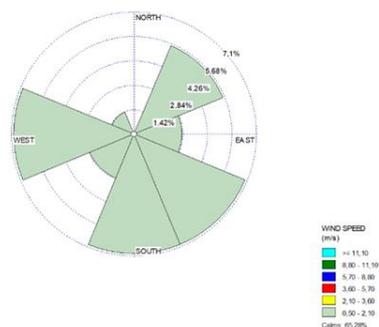
1) Arah angin di ketinggian 6 meter



Gambar 12. *Windrose* 6 meter

Gambar 12 menunjukkan bahwa arah angin pada ketinggian 6 meter dominan (terbanyak) berasal dari arah $202,5^{\circ}$ s.d $247,5^{\circ}$ (Barat Daya) dengan persentase sebesar 12,5% dengan kecepatan angin yang ditunjukkan oleh warna hijau dalam interval kecepatan angin 0,5 s.d 2,10 m/s dan *calms* (angin teduh) sebesar 59,7%.

2) Arah angin di ketinggian 8 meter

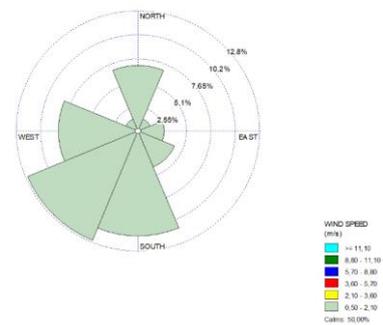


Gambar 13. *Windrose* 8 meter

Gambar 13 menunjukkan bahwa arah angin pada ketinggian 8 meter dominan

(terbanyak) berasal dari arah $112,5^{\circ}$ s.d $157,5^{\circ}$ (Tenggara), $157,5^{\circ}$ s.d $202,5^{\circ}$ (Selatan), dan $247,5^{\circ}$ s.d $292,5^{\circ}$ (Barat) dengan persentase yang sama sebesar 6,9% dengan kecepatan angin yang ditunjukkan oleh warna hijau dalam interval kecepatan angin 0,5 s.d 2,10 m/s dan *calms* (angin teduh) sebesar 65,28%.

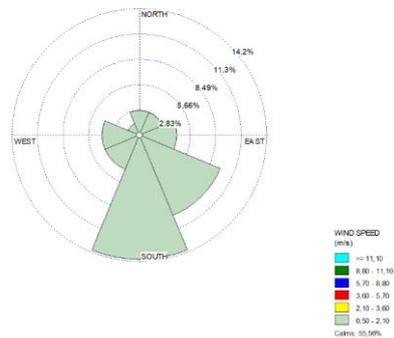
3) Arah angin di ketinggian 10 meter



Gambar 14. *Windrose* 10 meter

Gambar 14 menunjukkan bahwa arah angin pada ketinggian 10 meter dominan (terbanyak) berasal dari arah $202,5^{\circ}$ s.d $247,5^{\circ}$ (Barat Daya) dengan persentase sebesar 12,5% dengan kecepatan angin yang ditunjukkan oleh warna hijau dalam interval kecepatan angin 0,5 s.d 2,10 m/s dan *calms* (angin teduh) sebesar 50%.

4) Arah angin di ketinggian 12 meter



Gambar 15. Windrose 12 meter

Gambar 15 menunjukkan bahwa arah angin pada ketinggian 12 meter dominan (terbanyak) berasal dari arah $157,5^{\circ}$ s.d $202,5^{\circ}$ (Selatan) dengan persentase sebesar 13,8% dengan kecepatan angin yang ditunjukkan oleh warna hijau dalam interval kecepatan angin 0,5 s.d 2,10 m/s dan *calms* (angin teduh) sebesar 55,56%.

Data hasil pengukuran kecepatan angin menunjukkan kecepatan angin rata-rata dan kecepatan angin tertinggi setiap variasi ketinggian pada Kecamatan Jaten Tabel 3. Kecepatan Rata-rata dan Tertinggi

Variasi Ketinggian	Kecepatan Angin Rata-rata	Kecepatan Angin Tertinggi
6 meter	0,41	3,34
8 meter	0,41	3,34
10 meter	0,59	3,38
12 meter	0,47	3,34

Tabel 4. Arah Angin Dominan

Variasi Ketinggian	Arah Angin Dominan
6 meter	Barat Daya
8 meter	Barat, Selatan, Tenggara
10 meter	Barat Daya
12 meter	Selatan

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan bahwa Kecamatan Jaten memiliki kecepatan angin tertinggi yang relatif stabil pada seluruh variasi ketinggian. Sedangkan untuk arah angin dominan memiliki arah yang berbeda pada setiap ketinggian. Perbedaan tersebut disebabkan karena adanya faktor topografi atau faktor penghalang di sekitar area pengukuran berupa bangunan dan pohon. Serupa dengan penelitian yang dilakukan Triono et al (2018) bahwa faktor yang mempengaruhi menurunnya kecepatan dan berubahnya arah angin pada pengukuran potensi angin adalah vegetasi, bangunan, dan koordinat.

Energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik berada dalam kelas 3 yang merupakan batas minimum kecepatan angin dapat menghasilkan listrik dan ditandai dengan asap bergerak searah gerakan angin sesuai dengan penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya (Rajagukguk et al., 2021). Turbin angin *Savonius* merupakan model turbin yang

digunakan untuk kecepatan angin rendah dengan desain yang sederhana dan memiliki kemampuan untuk beroperasi di berbagai arah angin (Wenehenubun et al., 2015). Hasil penemuan yang dihasilkan dari Deny Nusyirwan (2019) bahwa turbin angin *Savonius* cocok digunakan untuk pada kecepatan angin 2 m/s dapat bergerak dan menghasilkan daya listrik terendah yaitu 0,24 Watt.

Kecepatan angin tertinggi di wilayah Kecamatan Jaten lebih dari 3 m/s pada keempat variasi ketinggian. Dalam klasifikasi angin ketiga wilayah tersebut termasuk dalam kelompok 3 dan 4 dengan kecepatan sebesar 1,6 s.d 5,4 m/s. Rekomendasi jenis turbin *Savonius* dan turbin lain yang bisa digunakan adalah:

a. Turbin *Savonius* tipe Heliks 2 sudu dengan *end plate*

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Prasetya et al (2022) menunjukkan variasi turbin angin *Savonius* heliks 2 sudu dengan penggunaan *end plate* memiliki *cut-in speed* sebesar 1,906 m/s. Semakin sedikit jumlah sudu akan meningkatkan *cut-in speed* pada turbin *Savonius* dan penggunaan *end plate* dapat meningkatkan nilai *cut-in speed* dikarenakan angin fokus diarahkan ke sudu turbin.



Gambar 16. Turbin *Savonius* Tipe Heliks

Tabel 5. Spesifikasi Turbin

Spesifikasi	Keterangan
Tinggi rotor turbin	390 mm
Diameter rotor turbin	195 mm
Ketebalan <i>blade</i>	1,4 mm
Ketebalan <i>end plate</i>	1,4 mm
Material <i>blade</i> turbin	PLA
<i>Revolutions blade</i>	0,5
Generator	220 VDC 3400 rpm
Dimensi rangka turbin	500 x 500 x 500 mm
<i>Cut-in speed</i>	1,906 m/s

b. Turbin *Savonius* tipe S 2 sudu dengan penambahan 4 *fin*

Penelitian yang dilakukan oleh Pamungkas et al (2017) menunjukkan variasi turbin angin *Savonius* tipe S 2 sudu dengan penambahan 4 *fin* memiliki *cut-in speed* sebesar 1,8 m/s. Semakin banyak fin yang digunakan pada turbin *Savonius* 2 sudu, maka turbin akan berputar pada kecepatan yang lebih rendah.

Gambar 17. Turbin Savonius Tipe S



Tabel 6. Spesifikasi Turbin

Spesifikasi	Keterangan
Tinggi menara	2500 mm
Generator	Tipe PMG 200 Watt
Rasio transmisi <i>pulley</i>	1 : 4,2
Diameter poros utama	20 mm
Diameter rotor	1100 mm
Diamater <i>blade/sudu</i>	1100 mm
Tinggi <i>blade/sudu</i>	1400 mm
<i>Overlap</i> sudu	50 mm
Jumlah sudu	2 blade
Material Sudu	Aluminium 0,3 mm
<i>Cut-in speed</i>	1,8 m/s

Simpulan

Berdasarkan dari data hasil penelitian yang telah dilakukan pembahasan untuk mengetahui potensi angin di Kecamatan Jaten dapat disimpulkan bahwa potensi angin yang ada di kecamatan Jaten memiliki kecepatan rata-rata sebesar 0,47 m/s dan kecepatan tertinggi sebesar 3,38 m/s dengan arah angin bertiup dari Tenggara s.d Barat (157,5° s.d 292,5°).

Potensi Angin di Kecamatan Jaten menunjukkan bahwa kecepatan angin tertinggi sebesar 3,38 m/s dan rata-rata kecepatan angin tertinggi sebesar 0,59 m/s terjadi pada ketinggian 10 meter. Kecamatan jaten memiliki potensi angin yang kurang efektif untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Seluruh variasi ketinggian menunjukkan kecepatan angin rata-rata kurang dari 2 m/s, akan tetapi terdapat beberapa momen saat kecepatan angin dapat menggerakkan turbin di sebagian variasi ketinggian dengan kecepatan angin sebesar 2 s.d 3 m/s.

Rekomendasi turbin angin yang dapat digunakan di Kecamatan Jaten dengan kecepatan angin tertinggi sebesar lebih dari 3 m/s adalah turbin angin vertikal *Savonius*. Jenis Turbin *Savonius* yang dapat digunakan seperti turbin *Savonius* tipe Heliks 2 sudu dengan *end plate* memiliki *cut-in speed* sebesar 1,906 m/s dan turbin *Savonius* tipe S 2 sudu dengan penambahan 4 *fin* memiliki *cut-in speed* sebesar 1,8 m/s.

Saran

Pengambilan data potensi angin dapat dilakukan dengan durasi yang lebih lama agar dapat diketahui pengaruh jenis angin terhadap potensi angin yang ada di suatu daerah. Perlu dilakukan penelitian

lebih lanjut tentang pengukuran potensi angin di Kecamatan lain yang memiliki potensi angin untuk membangkitkan listrik yang disesuaikan dengan kebutuhan yang ada di daerah tersebut. Perlunya penelitian tentang energi terbarukan seperti energi matahari, energi air, dan energi biomassa sebagai energi alternatif di Kecamatan Jaten.

DAFTAR PUSTAKA

- Fachri, M. R., & Hendrayana, H. (2017). Analisa potensi energi angin dengan distribusi weibull untuk pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) Banda Aceh. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.22373/crc.v1i1.1377>
- Mulkan, A. (2022). Analisis pemanfaatan energi angin sebagai sumber pembangkit energi listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 3(1), 74–83.
- Hilmansyah, H., Yuniar, R. J., & Ramli, R. (2017). Pemodelan pembangkit listrik tenaga angin menggunakan kendali Pi. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.32487/jst.v3i1.226>
- Bachtiar, A., & Hayyatul, W. (2018). Analisis potensi pembangkit listrik tenaga angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(1), 34–45. <https://doi.org/10.21063/jte.2018.3133706>
- Adetunla, A., Rominiyi, O., Adaramola, B., & Adeoye, A. (2022). Development of a wind turbine for a hybrid solar-wind power system. *Heliyon*, 8(11), e11458. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11458>
- Prabowo, R., Muid, A., & Adriat, R. (2018). Rancang bangun alat pengukur kecepatan angin berbasis mikrokontroler ATMega 328P. *Teknik Elektro*, VI(2), 94–100.
- Hidayatullah, N. A., & Juliando, D. E. (2017). Desain dan aplikasi internet of thing (IoT) untuk smart grid power sistem. *VOLT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 35. <https://doi.org/10.30870/volt.v2i1.1347>
- Triono, N., Farid, M., & Medrianti, R. (2018). Pembelajaran menggunakan media karakteristik sebaran temperatur udara dan kecepatan angin di pesisir pantai Kota Bengkulu. *PENDIPA Journal of Science Education*, 2(2), 123–130. <https://doi.org/10.33369/pendipa.2.2.123-130>
- Rajagukguk, A., Bagaskoro, A., Elektro, T., Riau, U., Bina Widya Jl Soebrantas KM, K. H., Kunci, K., Angin, K., & logger, D. (2021). Rancang bangun data logger kecepatan angin untuk 4 level ketinggian berbasis arduino. *SNTEM*, 1(2), 808–818.
- Wenehenubun, F., Saputra, A., & Sutanto, H. (2015). An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades. *Energy Procedia*, 68, 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.259>
- Prasetya, H. Y., Wijayanto, D. S., & Saputra, T. W. (2022). Studi eksperimental pengaruh jumlah sudu dan penggunaan end plate terhadap cut in speed turbin angin Savonius heliks. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 04(01), 91–98. <https://doi.org/10.20961/nozel.v4i2.72230>

Pamungkas, S. F., Wijayanto, D. S., Saputro, H., & Widiastuti, I. (2018). Performance “S” type Savonius wind turbine with variation of fin addition on blade. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012132>