

PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN ANGIN HORIZONTAL TERHADAP KINERJA DALAM PEMBANGKIT LISTRIK SKALA MIKRO

THE EFFECT OF THE NUMBER OF HORIZONTAL WIND TURBINE ON PERFORMANCE IN MICRO-SCALE POWER PLANT

¹Ismail Kholid*, ²Mohammad Alexin Putra

^{1,2}Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung

¹ismailkholid25@gmail.com, ²putra@itenas.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima : 14 Juni 2022

Direvisi : 06 Juli 2022

Disetujui : 09 Juli 2022

Kata Kunci :

Angin, Horizontal, Kinerja, Sudu

ABSTRAK

Pembangkit tenaga angin adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan yaitu energi angin, dengan memanfaatkan energi terbarukan diharapkan mampu menggantikan energi yang bersumber dari fosil yang jumlahnya terbatas. Penelitian ini melakukan pengujian pembangkit tenaga angin skala mikro dengan menggunakan turbin angin tipe horizontal berdiameter satu meter dengan variasi jumlah sudu yaitu 16 sudu, 14 sudu, 12 sudu dan 10 sudu pada kecepatan angin 4,7 m/s, 4,1 m/s, 3,6 m/s dan 3 m/s. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu turbin angin horizontal terhadap putaran turbin dengan beban dan daya listrik yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan dibagi dengan 3 tahapan, tahapan pertama adalah perancangan alat dan komponen penelitian, tahapan kedua melakukan pembuatan alat dan komponen penelitian, tahapan ketiga melakukan pengujian. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan beban, turbin angin dengan 16 sudu menghasilkan putaran turbin paling tinggi yaitu sebesar 47 rpm pada kecepatan angin 4,7 m/s dan menghasilkan daya listrik paling tinggi yaitu sebesar 0,12 W pada kecepatan angin 4,7 m/s.

ABSTRACT

Wind power plant is a power plant that uses renewable energy, namely wind energy. This study tested micro-scale wind power plants using a horizontal type wind turbine with a diameter of one meter with variations in the number of blades, namely 16 blades, 14 blades, 12 blades and 10 blades at wind speeds of 4.7 m/s, 4.1 m/s, 3.6 m/s and 3 m/s. The purpose of this study was to determine the effect of the number of horizontal wind turbine blades on the turbine rotation with the load and electrical power generated. This research uses an experimental method and is divided into 3 stages, the first stage is the design of research tools and components, the second stage is making research tools and components, the third stage is testing. Based on the results of testing using a load, a wind turbine with 16 blades produces the highest turbine rotation, which is 47 rpm at a wind speed of 4.7 m/s and produces the highest electrical power, which is 0.12 W at a wind speed of 4.7 m/s.

Keywords :

Blade, Horizontal, Performance, Wind

*Corresponding author: ismailkholid25@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Bertambahnya jumlah penduduk dan semakin bertumbuhnya ekonomi di Indonesia menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan kepada energi listrik [1]. Energi terbarukan merupakan solusi dari terbatasnya sumber energi yang berasal dari fosil serta lebih ramah terhadap lingkungan [2], pada masa sekarang ini kebutuhan akan energi listrik masih ditopang oleh energi yang berasal dari fosil [3], energi terbarukan memiliki kelebihan diantaranya jumlahnya tidak terbatas dan juga bisa diperbaharui [4].

Pemanfaatan energi terbarukan diantaranya bersumber dari energi matahari, energi angin, ataupun energi air [5]. Indonesia merupakan negara kepulauan dengan kecepatan angin berkisar antara 3-8 m/s, kondisi ini sangat mendukung untuk dikembangkannya pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB) [6].

Komponen utama pembangkit listrik tenaga angin adalah turbin angin, turbin angin terdiri dari dua jenis yaitu turbin angin horizontal dan turbin angin vertikal, bagian terpenting dari turbin angin adalah sudu turbin. Turbin angin horizontal memiliki kelebihan yaitu konstruksi menara yang tinggi sehingga mampu memanfaatkan kecepatan angin yang tinggi, karena semakin mendekati

atmosfer maka kecepatan angin semakin tinggi [7]. Putaran turbin horisontal yang digerakan oleh tenaga angin kemudian diteruskan ke generator listrik dan dari generator listrik menghasilkan energi listrik [8].

Banyak penelitian baik dari kalangan akademisi ataupun kalangan profesional terhadap turbin angin horisontal untuk mengetahui kinerja dari turbin horisontal, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Rusuminto dkk. Tentang turbin angin horisontal, panjang sudu 160 cm, lebar sudu 20 cm, dari pengujian didapatkan hasil putaran terbesar 171 rpm [9]. Najma dkk. merancang dan membuat turbin angin horisontal skala laboratorium, dari penelitiannya didapatkan putaran turbin berbanding lurus terhadap tegangan listrik dan arus listrik [10], ukuran diameter turbin mempengaruhi kinerja turbin, Taufan dkk. Melakukan penelitian turbin angin horisontal tiga sudu, diameter turbin empat meter, pada penelitiannya dalam kecepatan angin 4,5 m/s, daya listrik yang dihasilkan senilai 652 watt [11]. Panjang Jari-jari turbin sangat berpengaruh terhadap kinerja turbin seperti penelitian yang dilakukan oleh Edwin dkk. dalam pengujian turbin angin horisontal, jari-jari turbin 1,3 meter, dalam kecepatan angin 2,92 m/s didapatkan daya listrik senilai 0,49 watt [12]. Model sudu juga berpengaruh terhadap performa turbin, seperti penelitian yang dilakukan oleh Fajar dan Deri menggunakan *software Q-Blade*, dalam penelitiannya model airfoil NACA 4415 menunjukkan performa lebih baik dibanding NACA 6412 dan NACA 6415 [13]. Dari beberapa penelitian diatas maka penting untuk dilakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin.

Turbin angin tipe horisontal dipilih dalam penelitian ini karena turbin angin tipe horisontal umum di gunakan dan digunakan secara komersial. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu turbin angin horisontal terhadap kinerja turbin dengan melihat nilai putaran turbin tanpa beban, nilai putaran turbin dengan beban, arus listrik, tegangan listrik dan daya listrik yang dihasilkan oleh generator.

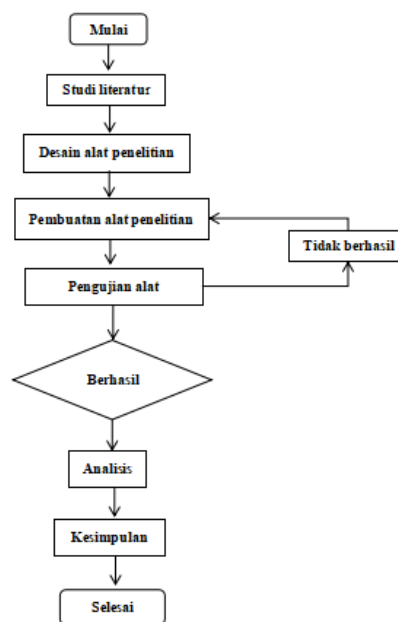
II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Adapun tahapan dalam metode ini antara lain: Tahap I adalah perancangan sudu turbin angin horisontal, perancangan alat-alat turbin angin horisontal, perancangan rangkaian arduino alat pengukur tegangan listrik, arus listrik, daya listrik dan alat pengukur kecepatan putaran turbin. Tahap II adalah pembuatan sudu turbin angin horisontal, pembuatan alat-alat turbin angin horisontal, pembuatan rangkaian arduino alat pengukur tegangan listrik, arus listrik, daya listrik dan alat pengukur kecepatan putaran turbin. Tahap III adalah pengujian turbin angin, pengujian dilakukan dengan cara menghembuskan angin ke arah turbin menggunakan kipas angin berdaya 40

watt. Proses pengambilan data pengujian turbin angin diperoleh dari serial monitor arduino berupa data nilai tegangan listrik, arus listrik, daya listrik dan kecepatan putaran turbin. Setelah didapatkan nilai tegangan listrik, arus listrik, daya listrik dan kecepatan putaran turbin maka dilakukan analisis terhadap kinerja turbin angin.

A. Alur Penelitian

Alur penelitian seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 adalah tentang alur proses dan metodologi penelitian.

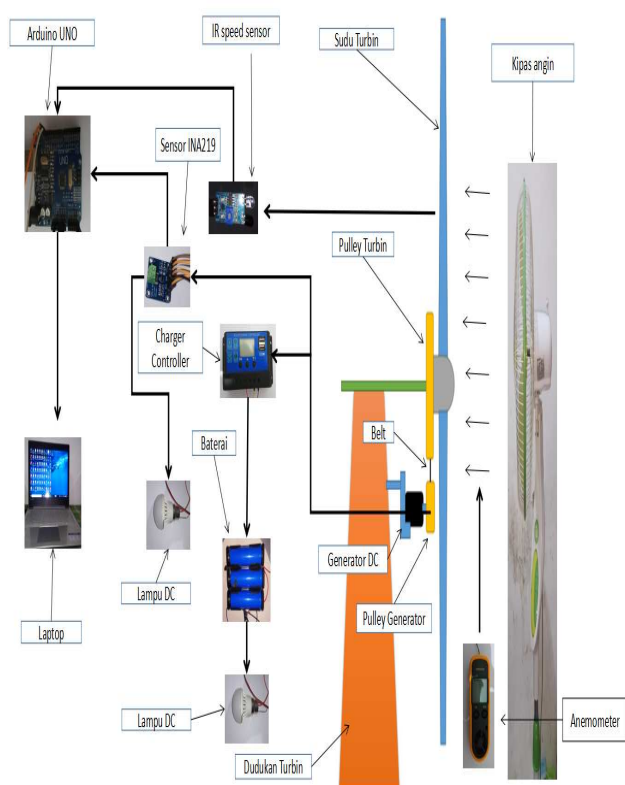


Gambar 1 Alur proses dan metodologi penelitian

Proses penelitian diawali dari kajian literatur terhadap beberapa penelitian sebelumnya, kemudian melakukan desain alat penelitian, pembuatan alat penelitian, pengujian alat, pengambilan data, analisis dan selanjutnya diambil kesimpulan.

B. Perancangan alat penelitian

Komponen alat penelitian seperti pada Gambar 2 antara lain kipas angin berdaya 40 watt, turbin angin horisontal, *Pulley ratio* turbin, *generator DC*, tali kipas/*belt*, *charger controller*, *IR speed sensor*, sensor INA219, arduino UNO, baterai, lampu DC, laptop, dudukan turbin. setelah dilakukan perancangan maka langkah yang penting adalah menyiapkan bahan-bahan yang diperlukan karena dapat menunjang kelancaran dalam proses penelitian,



Gambar 2 Perancangan alat penelitian

Adapun komponen utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kipas angin

Kipas angin berfungsi menghembuskan angin kearah turbin, kipas angin yang digunakan dalam penelitian ini adalah kipas angin berdaya 40 W, dengan kapasitas tersebut diharapkan mampu untuk memutarakan turbin.

2. Sudu turbin

Komponen utama dari turbin angin adalah sudu turbin, jumlah sudu yang diteliti adalah berjumlah 16 sudu, 14 sudu, 12 sudu dan 10 sudu.

3. Dudukan turbin

Dudukan turbin berfungsi untuk penempatan turbin angin dalam proses pengujian, dudukan turbin harus kokoh sehingga tidak goyang ketika dilakukan pengujian turbin.

4. Pulley ratio turbin

Pulley ratio turbin berfungsi untuk mengkonversi putaran dari turbin ke generator, sehingga didapatkan putaran generator lebih tinggi daripada putaran turbin.

Pulley terdiri dari dua jenis, *pulley* berukuran besar dipasang di turbin, sedangkan *pulley* berukuran kecil dipasang di generator

5. Generator DC

Generator DC berfungsi untuk menghasilkan listrik, Putaran turbin dikonversi oleh generator DC menjadi listrik DC.

6. Tali kipas/belt

Tali kipas/*belt* berfungsi untuk penghubung antara *pulley* turbin dan *pulley* generator sekaligus meneruskan putaran dari turbin ke generator.

7. IR speed sensor

IR *speed sensor* berfungsi untuk mengukur kecepatan putaran turbin angin, IR *speed sensor* merupakan komponen mikrokontroler yang di kontrol menggunakan arduino.

8. Sensor INA219

Sensor INA219 merupakan komponen mikrokontroler yang berfungsi untuk mengukur arus listrik, tegangan listrik dan daya listrik, sensor INA219 dikontrol menggunakan arduino.

9. Arduino UNO

Arduino UNO berfungsi sebagai pengendali dari komponen mikrokontroler seperti sensor INA219, IR *speed sensor*, LCD, Sensor suhu dan lain-lain.

10. Charger controller

Charger controller berfungsi untuk mencharge baterai, sekaligus pengontrol proses *Charging* sehingga tidak terjadi *over charging* yang berakibat merusak baterai.

11. Baterai

Baterai berfungsi sebagai sumber listrik untuk menyalakan lampu DC.

12. Lampu DC

Lampu DC berfungsi sebagai beban, sehingga arus listrik dapat mengalir, sehingga dapat dilakukan pengambilan data.

13. LCD 16x2 dengan i2C

LCD 16x2 dengan i2C berfungsi menampilkan data penelitian, LCD 16x2 dengan i2C dipilih karena tidak

membutuhkan rangkaian kabel yang banyak dan terbukti cukup efektif dan efisien untuk menampilkan data penelitian.

14. Laptop

Laptop berfungsi untuk membuat program arduino untuk mengendalikan komponen mikrokontroler, sekaligus sebagai alat untuk menampilkan tampilan serial monitor arduino dan pengolahan data.

C. Perancangan sudu turbin angin horizontal

1. Dimensi sudu turbin

Dalam perancangan sudu turbin angin *horizontal* digunakan persamaan [9]:

$$S = \frac{B \cdot \alpha}{A} \tag{1}$$

Keterangan:

S = *Solidity*

B = Jumlah sudu

α = Luas sudu

A = Luas tangkapan angin

$$\dot{m} = A \cdot v \cdot \rho \tag{2}$$

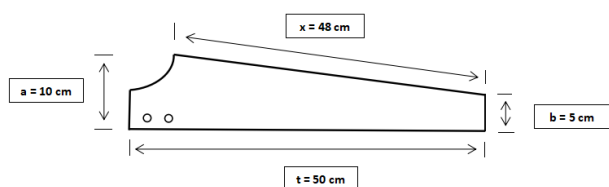
Keterangan :

\dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)

A = Luas penampang sudu (m²)

ρ = Massa jenis udara (kg/m³)

Perancangan sudu turbin untuk panjang sudu 50 cm, lebar bagian bawah 10 cm, lebar bagian atas 5 cm seperti di tunjukan pada Gambar 3 seperti di bawah ini:



Gambar 3 Perancangan *blade* turbin *horizontal*

Luas sudu turbin dapat dihitung:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1}{2} \times (a+b) \times t \\ &= \frac{1}{2} \times (0,1 \text{ m} + 0,05 \text{ m}) \times 0,5 \text{ m} \\ &= 0,0375 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas tangkapan angin dapat dihitung:

$$\begin{aligned} A &= \pi \times r^2 \\ &= 3,14 \times 0,5^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Solidity untuk jumlah sudu 16 dapat dihitung:

$$\begin{aligned} S &= \frac{B \cdot \alpha}{A} \\ &= \frac{16 \cdot 0,0375}{0,785} \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

Menghitung laju aliran massa untuk luas penampang sudu 0,0375 m², kecepatan angin 4,7 m/s, massa jenis udara 1,29 kg/m³:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= A \cdot v \cdot \rho \\ &= 0,0375 \cdot 4,7 \cdot 1,29 \\ &= 0,23 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Untuk jumlah sudu : 16 sudu, 14 sudu, 12 sudu dan 10 sudu pada kecepatan angin 4,7 m/s, 4,1 m/s, 3,6 m/s dan 3 m/s nilai *solidity* dan nilai laju aliran massa dapat di lihat pada Tabel I.

TABEL 1
PARAMETER PERANCANGAN SUDU TURBIN

Kec. angin (m/s)	Jumlah sudu	<i>Solidity</i>	Laju aliran massa (kg/s)
4,7	16	0,76	0,23
4,1	14	0,66	0,19
3,6	12	0,57	0,17
3	10	0,47	0,14

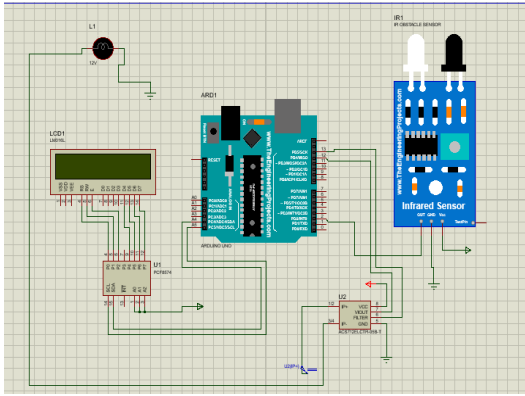
Menurut Rusuminto Syahyuniar untuk nilai *solidity* diatas 0,1 maka sudu turbin dapat berfungsi dengan baik [9]. Berdasarkan tabel 1 nilai *solidity* untuk jumlah sudu: 16 sudu, 14 sudu, 12 sudu dan 10 sudu pada kecepatan angin 4,7 m/s, 4,1 m/s, 3,6 m/s dan 3 m/s lebih dari 0,1 maka dapat disimpulkan sudu turbin berfungsi dengan baik, dan nilai laju aliran massanya cukup untuk memutarakan sudu turbin, maka perancangan sudu turbin layak untuk dilakukan pembuatan sudu turbin.

2. Bahan sudu turbin

Bahan sudu turbin terbuat dari pipa PVC, karena pipa PVC memiliki keunggulan yaitu ringan, kontur kuat dan kokoh, mudah dipotong, tidak korosi, tahan lama dan sudah umum digunakan dalam pembuatan sudu turbin skala mikro.

D. Perancangan rangkaian komponen arduino alat pengukur tegangan, arus, daya listrik dan kecepatan putaran turbin angin.

Gambar 4 merupakan gambar perancangan rangkaian komponen arduino alat pengukur tegangan, arus, daya listrik dan kecepatan putaran turbin angin.



Gambar 4 perancangan rangkaian arduino sensor ina219, IR speed sensor dan LCD 16x2

Gambar 4 menunjukkan rancangan rangkaian arduino sensor INA 219, IR speed sensor dan LCD 16 x2 yang digunakan untuk alat pengukur tegangan listrik, arus listrik, daya listrik dan kecepatan putaran turbin angin..

E. Perhitungan arus listrik, tegangan listrik, dan daya listrik

Arus listrik (I) yaitu muatan listrik yang dialirkan setiap satuan waktu. Persamaan untuk menghitung arus listrik adalah sebagai berikut [14]:

$$I = \frac{P}{V} \tag{3}$$

$$I = \frac{V}{R} \tag{4}$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \tag{5}$$

$$I = \frac{Q}{T} \tag{6}$$

Keterangan :

- I = Arus listrik (ampere)
- V = Tegangan listrik (volt)
- R = Tahanan (ohm)
- P = Power /daya (watt)
- Q = Muatan listrik (Coulomb)
- T = waktu (detik)

1. Tegangan listrik

Tegangan listrik (V) adalah beda potensial dalam rangkaian listrik, beda potensial menyebabkan listrik mengalir. Persamaan untuk menghitung tegangan listrik adalah sebagai berikut [14]:

$$V = I \times R \tag{7}$$

$$V = \frac{P}{I} \tag{8}$$

Keterangan :

- I = Arus listrik, satuan ampere (A)
- V = Tegangan listrik, satuan volt (V)
- R = Hambatan, satuan ohm (Ω)
- P = Daya listrik , satuan watt (W)

2. Daya listrik

Daya listrik (P) adalah laju energi listrik atau kerja yang dilakukan per satuan waktu. Dalam menghitung daya listrik digunakan persamaan sebagai berikut [14]:

$$P = V \times I \tag{9}$$

$$P = I^2 \times R \tag{10}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{11}$$

Keterangan :

- P = Daya atau power (watt)
- I = Arus (ampere)
- R = Hambatan (ohm)
- V = Tegangan/beda potensial (Volt)

F. Gaya Lift dan gaya Drag

1. Gaya Lift

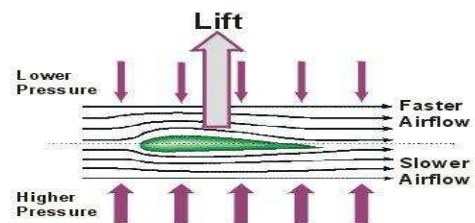
Gaya lift adalah gaya keatas yang terjadi pada airfoil karena perbedaan tekanan pada permukaan airfoil, tekanan dibawah airfoil lebih besar dibandingkan tekanan diatas airfoil sehingga air foil terangkat ke atas. Adapun hal yang mempengaruhi gaya lift adalah tekanan udara dan kecepatan udara [15].

Persamaan untuk menghitung koefisien gaya lift adalah sebagai berikut [15]:

$$CL = \frac{L}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A} \tag{12}$$

Keterangan :

- L = Gaya Lift (N)
- CL = Koefisien gaya Lift
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)
- A = Luasan acuan (m²)
- v = Kecepatan fluida relatif terhadap objek (m/s)



Gambar 5 gaya lift pada airfoil [15]

Gambar 5 menunjukkan gaya lift yang terjadi pada sebuah airfoil.

2. Gaya Drag

Gaya Drag adalah gaya negatif yang menghambat laju benda saat melewati aliran fluida [15].

Persamaan untuk menghitung koefisien gaya Drag adalah sebagai berikut [15]:

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (13)$$

Keterangan:

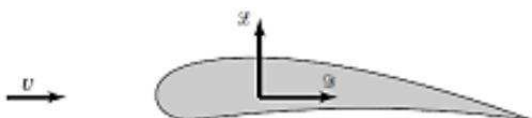
D = Gaya Lift (N)

C_D = Koefisien gaya Drag

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

A = Luasan acuan (m²)

v = Kecepatan fluida relatif terhadap objek (m/s)



Gambar 6 Resultan gaya pada airfoil [15]

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 resultan gaya arah sejajar terhadap kecepatan hulu disebut gaya drag (D), dan resultan gaya yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya lift (L) [15].

G. Pembuatan peralatan dan komponen-komponen penelitian

1. Pembuatan sudu turbin

Pada penelitian ini sudu yang digunakan adalah berbahan pipa PVC dengan ukuran 3 inch seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Pembuatan sudu turbin

Gambar 7 adalah hasil pembuatan sudu turbin ukuran panjang 50 cm, bagian bawah 10 cm, lebar bagian atas 5 cm.

2. Pembuatan turbin 10 sudu



Gambar 8 Pembuatan turbin 10 sudu

Gambar 8 adalah hasil pembuatan turbin angin 10 sudu dengan diameter satu meter.

3. Pembuatan turbin 12 sudu



Gambar 9 Hasil pembuatan turbin 12 sudu

Gambar 9 adalah hasil pembuatan turbin angin 12 sudu dengan diameter satu meter.

4. Pembuatan turbin 14 sudu



Gambar 10 Hasil pembuatan turbin 14 sudu

Gambar 10 adalah hasil pembuatan turbin angin 14 sudu dengan diameter satu meter.

5. Pembuatan turbin 16 sudu



Gambar 11 pembuatan turbin 16 sudu

Gambar 11 adalah hasil pembuatan turbin angin 16 sudu dengan diameter satu meter.

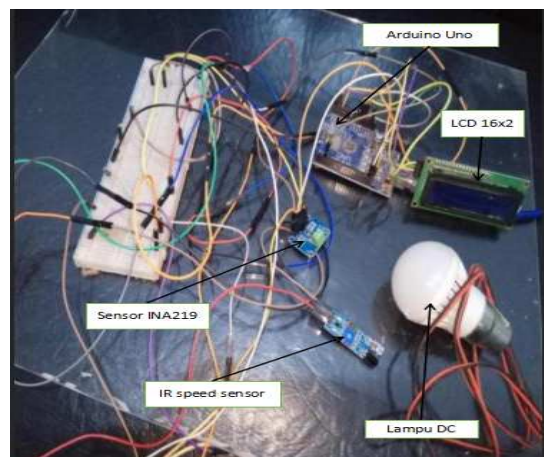
6. Pembuatan *pulley ratio* turbin



Gambar 12 *Pulley ratio* turbin

Gambar 12 menunjukkan *pulley* besar berdiameter 220 mm yang terhubung dengan *pulley* ukuran kecil yang berdiameter 25 mm, *pulley* besar dan *pulley* kecil dihubungkan menggunakan *belt*, adapun fungsi *pulley ratio* adalah mengkonversi putaran turbin sehingga didapatkan putaran yang lebih tinggi pada generator dengan perbandingan putaran 1:9.

7. Pembuatan rangkaian arduino

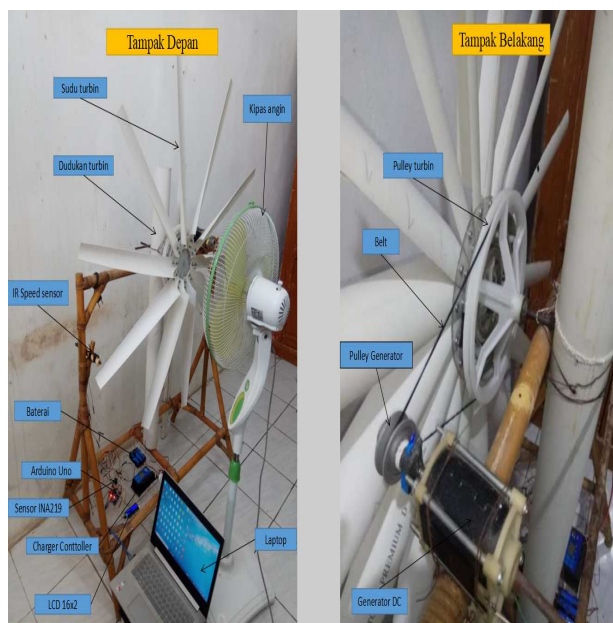


Gambar 13 Hasil pembuatan rangkaian alat rangkaian arduino sensor ina219, *IR speed sensor* dan LCD 16x2

Hasil pembuatan rangkaian arduino seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 merupakan rangkaian alat yang

terdiri atas alat pengukur tegangan listrik, arus listrik dan daya listrik menggunakan sensor INA219, dan alat pengukur kecepatan putaran generator menggunakan *IR speed sensor*, dan rangkaian LCD 16 x 2 yang digunakan untuk memonitor data hasil pengujian turbin angin.

8. Hasil pembuatan komponen penelitian



Gambar 14 Hasil pembuatan komponen penelitian

Gambar 14 adalah gambar pembuatan peralatan penelitian secara keseluruhan seperti perancangan alat penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2, setelah berhasil dilakukan pembuatan alat penelitian maka langkah selanjutnya adalah dilakukan pengujian terhadap peralatan yang sudah dibuat.

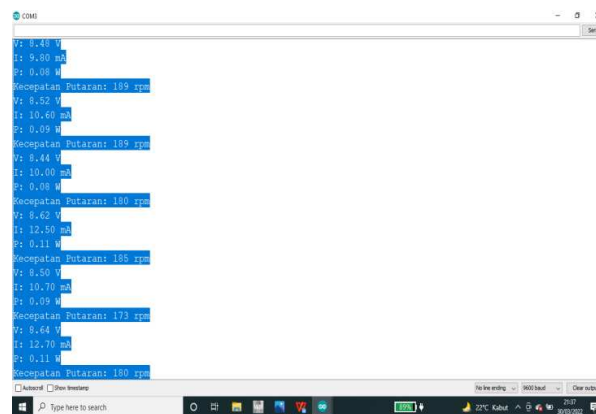
9. Gambar proses pengujian turbin angin



Gambar 15 Proses pengujian turbin

Proses pengujian turbin angin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 terdiri atas kipas angin berdaya 40 watt yang berfungsi untuk menghembuskan angin, hembusan angin yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan atau memutar turbin angin. Turbin kemudian dihubungkan dengan generator DC dengan daya 40 watt. Listrik yang dihasilkan generator dan kecepatan putaran turbin dimonitor menggunakan laptop yang terhubung dengan rangkaian arduino yang telah dibuat.

10. Serial monitor arduino



Gambar 16 Tampilan serial monitor nilai tegangan, arus, daya dan kecepatan putaran turbin

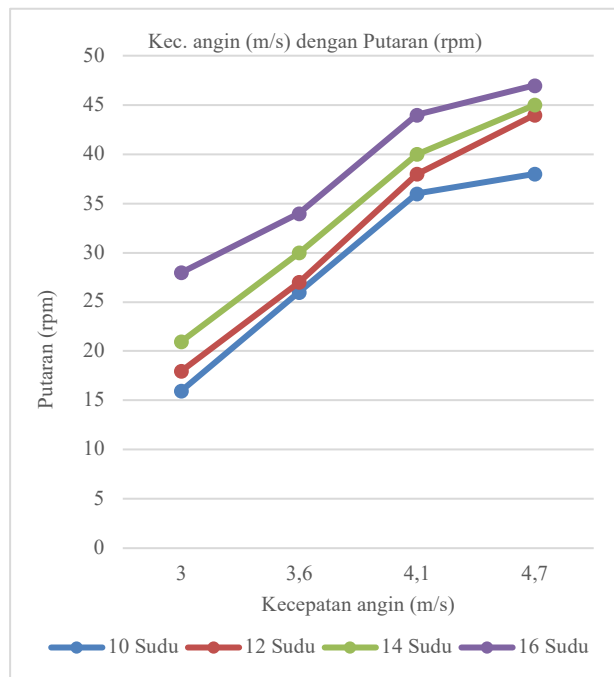
Gambar 16 menunjukkan tampilan dari serial monitor arduino yang terdiri dari data tegangan, arus, daya listrik dan kecepatan putaran turbin.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data pengujian turbin

Data pengujian turbin angin horisontal adalah data digital yang ditampilkan di serial monitor arduino, kemudian data dari serial monitor arduino dipindahkan dan diolah menggunakan *excel*. Data setiap penelitian antara lain data kecepatan putaran turbin, tegangan, arus, dan daya listrik diambil 100 data, setiap 100 detik dari serial monitor arduino kemudian diambil nilai rata-ratanya menggunakan *excel*, data kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik.

Gambar 17 menunjukkan grafik hasil putaran turbin dengan beban atau terhubung ke generator.

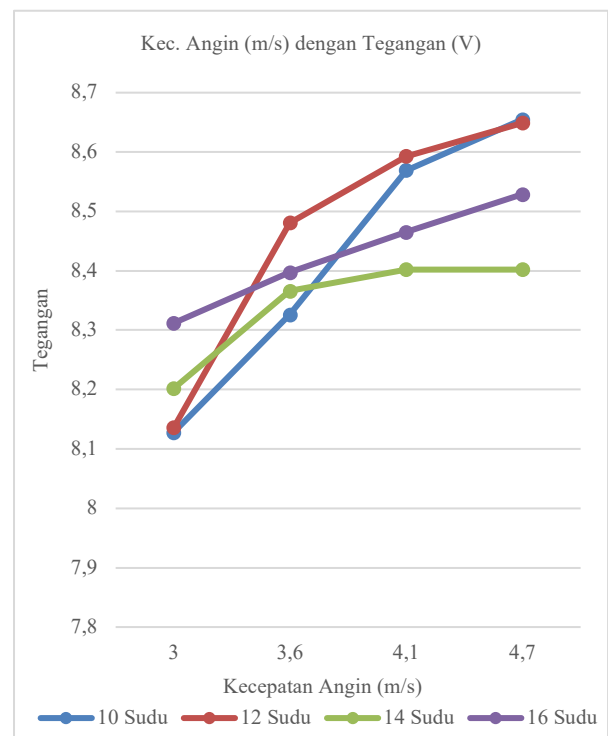


Gambar 17 Grafik putaran turbin dengan beban

Gambar 17 adalah gambar grafik putaran turbin dengan beban atau terhubung ke generator listrik, dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin maka semakin tinggi pula putaran turbin yang dihasilkan, dari grafik tersebut menunjukkan nilai putaran rata-rata tertinggi turbin angin dengan 16 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 47 rpm, nilai putaran rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 28 rpm. Nilai putaran rata-rata tertinggi turbin angin dengan 14 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 45 rpm, nilai putaran rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 21 rpm. Nilai putaran rata-rata tertinggi turbin angin dengan 12 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 44 rpm, nilai putaran rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 18 rpm. Nilai putaran rata-rata tertinggi turbin angin dengan 10 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 38 rpm, nilai putaran rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 16 rpm. Dari grafik tersebut pula menunjukkan bahwa turbin angin dengan 16 sudu menghasilkan putaran turbin paling tinggi pada kecepatan angin 4,7 m/s, 4,1 m/s, 3,6 m/s dan 3,0 m/s apabila dibandingkan dengan putaran turbin dengan 14 sudu, 12 sudu dan 10 sudu. Turbin dengan 10 sudu menghasilkan putaran turbin paling rendah pada kecepatan angin 4,7 m/s, 4,1 m/s, 3,6 m/s dan 3,0 m/s. Putaran turbin dengan beban yang dihasilkan oleh turbin dengan 16 sudu menghasilkan putaran turbin paling tinggi hal ini kemungkinan

disebabkan gaya *lift* dari sudu turbin mempengaruhi torsi dari turbin angin tersebut sehingga turbin angin dengan 16 sudu lebih kuat dalam memutar generator, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mutiar dan R. Ahmad Yani (2020), Mutiar dan R. Ahmad Yani melakukan pengujian variasi jumlah sudu turbin angin horizontal yaitu 12 sudu dan 6 sudu, dari hasil pengujian kecepatan putaran turbin dengan beban menunjukkan kecepatan putaran turbin angin dengan 12 sudu menghasilkan putaran tertinggi yaitu 460 rpm pada kecepatan angin 7,0 m/s, sedangkan untuk turbin angin dengan 6 sudu menghasilkan putaran tertinggi yaitu 430 rpm pada kecepatan angin 7,0 m/s [16].

Gambar 18 menunjukkan grafik tegangan listrik rata-rata yang dihasilkan oleh generator.

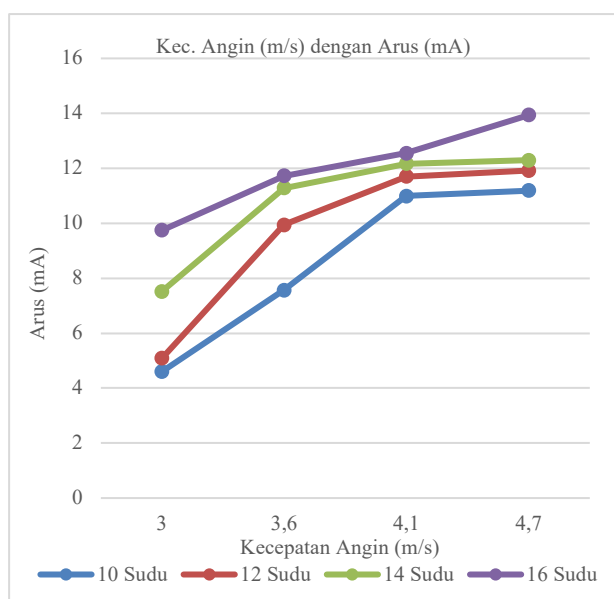


Gambar 18 Grafik tegangan listrik

Gambar 18 adalah gambar grafik tegangan listrik dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kecepatan angin maka bertambah pula tegangan listrik yang dihasilkan. dari grafik tersebut menunjukkan nilai tegangan listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 16 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 8,52 V, nilai tegangan listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 8,31 V. Nilai tegangan listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 14 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 8,40 V, nilai tegangan listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 8,20 V. Nilai tegangan listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 12 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 8,65 V, nilai tegangan listrik rata-rata terendah terjadi pada

kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 8,14 V. Nilai tegangan listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 10 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 8,65 V, nilai tegangan listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 8,13 V. Mutiar dan R. Ahmad Yani (2020) melakukan pengujian variasi jumlah sudu turbin angin horizontal yaitu 12 sudu dan 6 sudu, dari hasil pengujian menunjukkan nilai tegangan listrik tertinggi dihasilkan oleh turbin angin dengan 12 sudu adalah sebesar 66,40 V pada kecepatan angin 7,0 m/s, nilai tegangan listrik terendah sebesar 8,00 mA pada kecepatan angin 2,0 m/s, sedangkan nilai tegangan listrik tertinggi yang dihasilkan oleh turbin angin dengan 6 sudu adalah sebesar 56,70 V pada kecepatan angin 7,0 m/s, nilai tegangan listrik terendah sebesar 1,11 V pada kecepatan angin 2,0 m/s [16].

Gambar 19 menunjukkan grafik arus listrik rata-rata yang dihasilkan oleh generator.

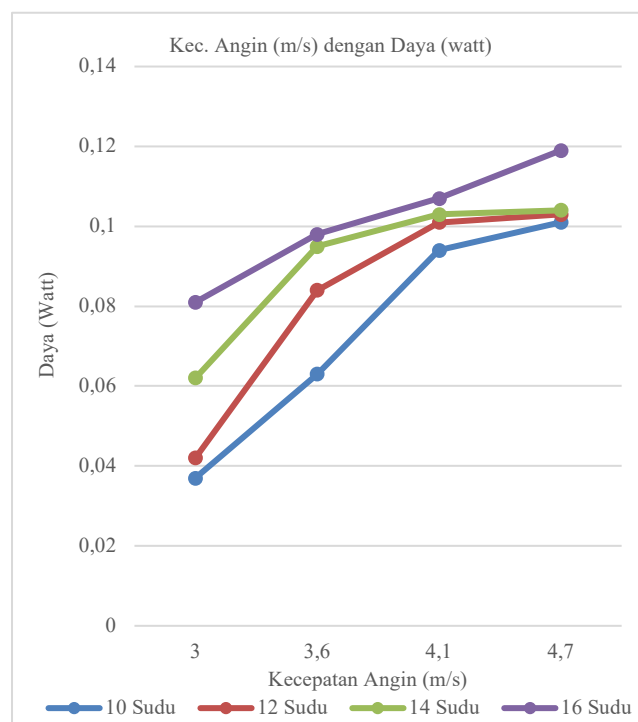


Gambar 19 Grafik arus listrik rata-rata

Gambar 19 adalah gambar grafik arus listrik, dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kecepatan angin maka bertambah pula arus listrik yang dihasilkan. dari grafik tersebut menunjukkan nilai arus listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 16 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 13,93 mA, nilai arus listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 9,74 mA. Nilai arus listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 14 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 12,29 mA, nilai arus listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 7,52 mA. Nilai arus listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 12 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 11,91 mA, nilai arus listrik rata-rata terendah

terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 5,08 mA. Nilai arus listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 10 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 11,18, nilai arus listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 4,60 mA. Arus listrik yang dihasilkan oleh turbin angin dengan 16 sudu menunjukkan arus listrik rata-rata paling tinggi pada kecepatan angin 4,7 m/s, 4,1 m/s 3,6 m/s dan 3,0 m/s diikuti oleh turbin angin dengan 14 sudu, 12 sudu dan 10 sudu, turbin angin dengan 10 sudu menghasilkan arus listrik rata-rata yang paling rendah. Dengan demikian maka semakin bertambahnya jumlah sudu turbin, arus listrik rata-ratanya semakin tinggi, semakin berkurangnya jumlah sudu turbin, arus listrik rata-ratanya semakin rendah, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mutiar dan R. Ahmad Yani (2020), Mutiar dan R. Ahmad Yani melakukan pengujian variasi jumlah sudu turbin angin horizontal yaitu 12 sudu dan 6 sudu, dari hasil pengujian menunjukkan nilai arus listrik tertinggi dihasilkan oleh turbin angin dengan 12 sudu adalah sebesar 108,00 mA pada kecepatan angin 7,0 m/s, nilai arus listrik terendah sebesar 46,00 mA pada kecepatan angin 2,0 m/s, sedangkan nilai arus listrik tertinggi yang dihasilkan oleh turbin angin dengan 6 sudu adalah sebesar 103,70 mA pada kecepatan angin 7,0 m/s, nilai arus listrik terendah sebesar 16,00 mA pada kecepatan angin 2,0 m/s [16].

Gambar 20 menunjukkan grafik daya listrik rata-rata yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 20 Grafik daya listrik rata-rata

Gambar 20 adalah gambar grafik daya listrik, dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kecepatan angin maka akan bertambah pula daya listrik rata-rata yang dihasilkan, dari grafik tersebut menunjukkan nilai daya listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 16 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 0,12 W, nilai daya listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 0,08 W. Nilai daya listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 14 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 0,10 W, nilai daya listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 0,06 W. Nilai daya listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 12 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 0,10 W, nilai daya listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 0,04 W. Nilai daya listrik rata-rata tertinggi turbin angin dengan 10 sudu terjadi pada kecepatan angin 4,7 m/s yaitu sebesar 0,10 W, nilai daya listrik rata-rata terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s yaitu sebesar 0,04 W. Daya listrik rata-rata yang dihasilkan oleh turbin dengan 16 sudu menghasilkan daya listrik rata-rata paling besar di kecepatan angin 4,7 m/s, 4,1 m/s, 3,6 m/s dan 3,0 m/s diikuti oleh turbin dengan 14 sudu, 12 sudu dan 10 sudu. Daya listrik rata-rata yang dihasilkan oleh turbin dengan 10 sudu menghasilkan daya listrik rata-rata paling kecil. Daya listrik rata-rata yang dihasilkan oleh turbin dengan 16 sudu menghasilkan daya listrik rata-rata paling besar hal ini kemungkinan disebabkan gaya *lift* dari sudu turbin mempengaruhi torsi dari turbin angin tersebut sehingga turbin angin dengan 16 sudu lebih kuat dalam memutar generator sehingga menghasilkan daya listrik rata-rata paling besar. Dengan demikian maka semakin bertambahnya jumlah sudu turbin angin, daya listrik rata-ratanya semakin besar dan semakin berkurangnya jumlah sudu turbin, daya listrik rata-ratanya semakin kecil, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ahmad yani (2021) yaitu penelitian variasi jumlah sudu turbin angin horisontal dengan kecepatan angin di Bontang, jumlah sudu yang diteliti yaitu 4 sudu, 3 sudu dan 2 sudu, dari hasil penelitiannya menunjukkan daya listrik tertinggi yang diperoleh dari turbin angin dengan empat sudu sebesar 0,18 W, nilai daya listrik terendah sebesar 0,04 W, nilai daya listrik tertinggi yang diperoleh dari turbin angin dengan tiga sudu sebesar 0,07 W, nilai daya listrik terendah sebesar 0,02 W, nilai daya listrik tertinggi yang diperoleh dari turbin angin dengan dua sudu yaitu sebesar 0,05 W, nilai daya listrik terendah yang diperoleh yaitu sebesar 0,01 W, berdasarkan dari hasil penelitian tersebut, nilai daya listrik tertinggi diperoleh oleh turbin angin dengan empat sudu diikuti oleh turbin dengan tiga sudu dan kemudian turbin dengan dua sudu [17]. Mutiar dan R. Ahmad Yani melakukan pengujian variasi jumlah sudu turbin angin horisontal yaitu 12 sudu dan 6 sudu, dari hasil pengujian menunjukkan nilai daya listrik tertinggi dihasilkan oleh turbin angin dengan 12 sudu adalah sebesar 1,50 W pada kecepatan angin 7,0 m/s, nilai daya listrik terendah sebesar 0,02 W pada kecepatan angin 2,0 m/s, sedangkan nilai daya

listrik tertinggi yang dihasilkan oleh turbin angin dengan 9 sudu adalah sebesar 1,10 W pada kecepatan angin 7,0 m/s, nilai daya listrik terendah sebesar 0,0003 W pada kecepatan angin 2,0 m/s [16].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, jumlah sudu turbin angin horisontal sangat mempengaruhi kinerjanya, dalam pengujian menggunakan beban turbin angin dengan 16 sudu menghasilkan putaran turbin paling tinggi yaitu sebesar 47 rpm pada kecepatan angin 4,7 m/s dan menghasilkan daya listrik paling tinggi yaitu sebesar 0,12 W pada kecepatan angin 4,7 m/s, hal ini disebabkan karena turbin angin dengan 16 sudu mempunyai jumlah sudu paling banyak sehingga gaya *lift* yang bekerja pada sudu turbin lebih besar di dibandingkan dengan turbin dengan 14 sudu, 12 sudu dan 10 sudu, sehingga meningkatkan gaya momen untuk memutar turbin dan memutar generator listrik.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Sarjono and M. A. Wahyudi, "Unjuk Kerja Model Turbin Angin Poros Horisontal dengan Variasi Bentuk Blade," *SIMETRIS*, vol. 13, pp. 1–4, 2019.
- [2] C. Y. Li, J. Y. Wu, Y. J. Dai, and C. H. Wang, "Multi-criteria optimization of a biomass gasification-based combined cooling, heating, and power system integrated with an organic Rankine cycle in different climate zones in China," *Energy Convers. Manag.*, vol.243, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114364.
- [3] I. K. Wiratama, I. M. Mara, and L. E. F. Prina, "Pengaruh Jumlah Blade dan Variasi Panjang Chord Terhadap Performansi Turbin Angin Sumbu Horisontal (TASH)," *Din. Tek. Mesin*, vol. 4 No. 2 Ju, pp. 1–7, 2014.
- [4] G. Rahmat Nanang and E. Sarwono, "Studi Eksperimental Berbagai Macam Jenis Sudu Turbin Angin horisontal Skala Laboratorium," *J. UMP*, pp. 1–11, 2020.
- [5] A. Algieri and J. Šebo, "Energetic Investigation of Organic Rankine Cycles (ORCs) for the Exploitation of Low-Temperature Geothermal Sources - A possible application in Slovakia," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 109, pp. 833–840, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.05.348.
- [6] Ismail, M. B. Suyitno, and R. F. Anshari, "Studi Eksperimental Model Turbin Angin Sumbu Horisontal 3 Sudu," *J. Tek. FTUP*, vol. 31, pp. 1–6, 2018.
- [7] Nishizawa, "An Experimental Study on Performance of Curved-Plate Blade Rotor," *Renew. Energy*, vol. 49, pp. 6–9, 2013.
- [8] A. R. and Tiwari, "Comparison of Various Wind Turbine Generators," *Multidiscip. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 1, pp. 129–135, 2014.

- [9] R. Syahyuniar, Y. Ningsih, and Herianto, "Rancang Bangun Blade turbin Angin Tipe Horizontal," *J. Elem.*, vol. 5, pp. 1–7, 2018.
- [10] S. N. Najah, A. Muliawan, and F. Anita, "Perancangan Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Laboratorium dengan Inverter," *J. Tek. JAGO*, vol. 1, 2021.
- [11] T. A. Adlie, T. A. Rizal, and Arjuanda, "Sudu, Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu dengan Daya Output 1 KW," *J. Ilm. JURUTERA*, vol. 2, pp. 1–7, 2015.
- [12] E. Reinaldy Sibuea, A. Martin, and D. Agustina, "Uji Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal dengan Tipe Bilah Inverse Taper dengan Jari-jari 1,3 Meter Pada Kecepatan Angin Di Pekanbaru," *JOM FTEKNIK*, vol. 7, pp. 1–5, 2020.
- [13] F. Hidayatullah and D. T. Santoso, "Analisis 4 Airfoil Bilah Taperless Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal Menggunakan Software Q-Blade," *Barometer*, vol. 7, no. 1, pp. 422–429, 2021.
- [14] S. Noor and N. Saputera, "Efisiensi Pemakaian Daya Listrik Menggunakan Kapasitor Bank," *J. Poros Tek.*, vol. 6, 2014.
- [15] A. B. S. Asmoro, "Analisa Pengaruh Variasi Sudut dan Luas Penampang Winglet terhadap Sayap NACA Airfoil 2412 Pada Pengujian Low Subsonic Wind Tunnel," *SENASTINDO AAU*, vol. 1 no. 1, 2019.
- [16] Mutiar and R. A. Yani, "Analisa Efisiensi Turbin Angin Berdasarkan Variasi Jumlah Sudu di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya," *J. Tek. Elektro*, vol. 10 no. 1, 2020.
- [17] A. Yani, "Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Angin Tipe Propeller Terhadap Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pesisir Pantai)," *J. JAGO*, vol. 1 no. 2, 2021.