

Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan Turbin Sumbu *Horizontal* Sebagai Alternatif Penerangan di Daerah Tambak

Rendra Aditya Pratama

D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya
rendra.19007@mhs.unesa.ac.id

Aditya Chandra Hermawan, Reza Rahmadian, Ayusta Lukita Wardani, Farid Baskoro

D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya
adityahermawan@unesa.ac.id, rezahrahmadian@unesa.ac.id, ayustawardani@unesa.ac.id,
faridbaskoro@unesa.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi terus mengalami peningkatan, baik di Indonesia maupun di seluruh dunia. Energi fosil yang sebelumnya menjadi sumber energi utama terus mengalami kehabisan sehingga semakin menipis. Upaya untuk menggantikan energi fosil bisa mengembangkan sumber energi terbarukan seperti energi angin. Wilayah yang memiliki kecepatan angin rendah kurang dari 4 m/s ideal dimanfaatkan turbin angin sumbu *horizontal*. Potensi angin di daerah Tambak Cemandi bisa digunakan untuk menggerakkan turbin angin dengan merubah energi kinetik menjadi energi listrik yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber alternatif penerangan pada jalan sekitar area tambak. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengetahui kinerja yang dihasilkan prototipe pembangkit listrik tenaga bayu menggunakan turbin sumbu *horizontal* sebagai alternatif penerangan di daerah tambak. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Pengujian alat dilakukan di Tambak Cemandi, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo. Dari hasil pengujian prototipe pembangkit listrik tenaga bayu yang telah dilakukan selama 6 hari dari jam 10.00 WIB hingga 17.00 WIB yaitu pengukuran kecepatan angin diperoleh rata-rata sebesar 2,2 m/s menghasilkan tegangan tanpa beban sebesar 26,36 Volt, tegangan kondisi berbeban sebesar 11,68 Volt, arus sebesar 0,5 Ampere, dan daya sebesar 6,16 Watt. Rata-rata pengukuran putaran turbin keadaan tanpa beban sebesar 119,4 rpm, keadaan berbeban 107,6 rpm dan pengujian putaran generator keadaan tanpa beban sebesar 487,1 rpm, keadaan berbeban sebesar 446,6 rpm. Pengujian baterai selama satu hari didapatkan rata-rata kecepatan angin sebesar 2,5 m/s, tegangan generator yang dihasilkan sebesar 11,85 Volt, arus generator 0,4 Ampere, tegangan baterai sebesar 11,69 Volt dan arus baterai 0,20 Ampere.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Turbin Sumbu *Horizontal*, Energi Angin

Abstract

Energy needs continue to increase, both in Indonesia and throughout the world. Fossil energy which was previously the main energy source, continues to run out, making it increasingly depleted. Efforts to replace fossil energy can develop renewable energy sources such as wind energy. Areas that have low wind speeds of less than 4 m/s are ideal for using horizontal axis wind turbine. The wind potential in the Tambak Cemandi area can be used to drive wind turbines by converting kinetic energy into electrical energy which can be used as an alternative source of lighting on roads around the pond area. The aim of this research is to design and determine the performance produced by a prototype wind power plant using horizontal axis wind turbine as an alternative lighting in pond areas. The method used in this research is the experimental method. Tool testing was carried out in Tambak Cemandi, Sedati District, Sidoarjo Regency. From the results of testing the wind power generator prototype which was carried out for 6 days from 10.00 WIB to 17.00 WIB, the wind speed measurement obtained was an average of 2.2 m/s producing a no-load voltage of 26.36 Volts, a load condition voltage of 11.68 Volts, current of 0.5 Ampere, and power of 6.16 Watts. The average measurement of turbine rotation under no load was 119.4 rpm, under load 107.6 rpm and the generator rotation test under no load was 487.1 rpm, under load was 446.6 rpm. Testing the battery for one day showed an average wind speed of 2.5 m/s, the resulting generator voltage was 11.85 Volts, generator current was 0.4 Ampere, battery voltage was 11.69 Volts and battery current was 0.20 Ampere.

Keywords: Wind Power Plant, Horizontal Axis Wind Turbine, Wind Energy

PENDAHULUAN

Energi fosil yang merupakan sumber energi utama, semakin menipis karena ketersediannya yang sangat terbatas. Ketersediaan energi fosil semakin menipis karena pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi yang terus meningkat. Proses alam membutuhkan waktu yang lama untuk dapat kembali mencadangkan energi fosil (Daryanto, 2007). Upaya-upaya untuk mengatasi menggantikan energi fosil dengan mengembangkan sumber energi terbarukan energi angin, energi matahari, dan energi air.

Energi angin adalah sumber energi terbarukan yang mempunyai sumber bersih dengan kerapatan energi yang tinggi. Energi angin adalah salah satu sumber alternatif terbarukan yang bersih dan tidak mencemari lingkungan. Kecepatan angin rata-rata di Indonesia sekitar 3,5 – 7 m/s oleh karena itu Indonesia memiliki potensi energi angin yang potensial dikembangkan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dengan mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik (Nakhoda dan Saleh, 2016).

Wilayah yang memiliki potensi energi angin rendah pada rata-rata kecepatan angin dibawah 4 m/s cocok menggunakan turbin angin sumbu *horizontal*. Turbin angin sumbu *horizontal* mempunyai bilah yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. (Ihwan dan Sota, 2010). Potensi angin di daerah tambak garam Kecamatan Sedati cukup potensial dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga bayu dengan merubah energi angin menjadi energi mekanik melalui turbin angin untuk dimanfaatkan sebagai alternatif penerangan area tambak.

Penelitian tugas akhir ini menggunakan turbin angin sumbu *horizontal* dengan jumlah 4 *blade* dengan memanfaatkan potensi energi angin yang digunakan sumber alternatif penerangan. Berdasarkan latar belakang maka akan dirancang “Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan Turbin Sumbu *Horizontal* Sebagai Alternatif Penerangan di Daerah Tambak”.

METODE

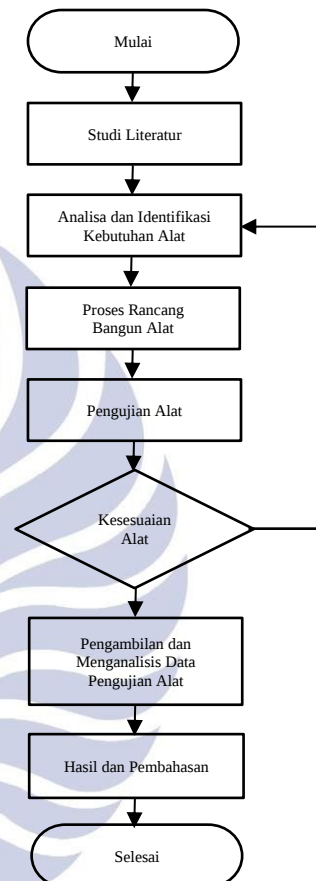
Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Pendekatan kuantitatif dalam proses penelitiannya meliputi berupa data angka lalu ditampilkan menggunakan grafik, tabel, dan gambar. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode percobaan (eksperimen).

Rancangan Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Alur perencanaan dimulai studi literatur dengan mencari jurnal, buku dan penelitian yang relevan sebelumnya terkait turbin sumbu *horizontal*, selanjutnya analisa dan identifikasi kebutuhan alat dan bahan kemudian dilanjutkan proses rancang bangun alat sesuai desain yang telah dibuat. Sesudah proses rancang bangun alat selesai selanjutnya dilakukan pengujian alat. Apabila pengujian

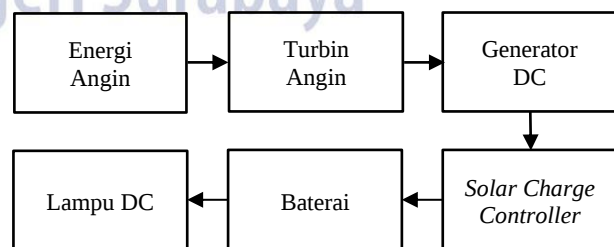
alat telah sesuai rancangan maka selanjutnya pengambilan dan menganalisis data menggunakan teknik analisis data dengan membandingkan variabel yang telah diperoleh berdasarkan data penelitian terhadap parameter yang ditentukan, apabila alat gagal tidak sesuai maka dilakukan kembali analisis dan identifikasi kebutuhan alat agar dapat sesuai menghasilkan kinerja yang baik dari pengujian sebelumnya. Setelah pengambilan dan analisis data telah dikumpulkan maka didapatkan hasil dan pembahasan berupa kesimpulan dan saran diberikan untuk menunjang penelitian selanjutnya.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Diagram Blok Alat Prototipe

Diagram blok alat dari sistem kerja prototipe PLTB menggunakan turbin sumbu *horizontal* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Alat Prototipe

Dari Gambar 2, dijelaskan sistem kerja dari prototipe PLTB dimulai ketika angin berhembus maka turbin angin akan berputar. Turbin angin akan menggerakkan *pulley* yang terhubung dan menggerakkan generator DC. Selanjutnya generator DC akan mengkonversi energi mekanik menjadi

energi listrik yang dimanfaatkan untuk mengecaskan baterai. *Output* dari generator DC masuk ke dalam *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengatur tegangan baterai agar tidak melampaui batas toleransi dayanya. Baterai berfungsi sebagai media penyimpanan dari energi yang dihasilkan prototipe PLTB. Selanjutnya baterai dihubungkan ke beban 3 lampu DC masing-masing berdaya 5 watt yang akan digunakan sebagai sumber penerangan di daerah tambak.

Rumus Perhitungan Teoritis

Rumus perhitungan teoritis ini dilakukan dalam perancangan prototipe PLTB ini untuk menganalisis pada penelitian :

1. Menentukan Daya Angin

Daya angin adalah energi per satuan waktu. Daya angin dapat diperoleh dengan persamaan berikut (I Kadek Wiatama, Iwan Subandria, 2018):

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

Keterangan

P = Daya angin (Watt)

ρ = Kerapatan udara (1,225 Kg/m³)

A = Luas penampang (m²)

V = Kecepatan angin (m/s)

2. Menentukan Daya Turbin Angin

Jumlah daya yang diterima dari turbin angin berdasarkan betz nilai efisiensi maksimum yang digunakan adalah 59,3% dengan persamaan berikut (Sifa dan Rizqon, 2014) :

$$P_{\text{turbin}} = \eta \cdot P_{\text{angin}} \quad (2)$$

Keterangan :

P_{angin} = Daya yang dihasilkan oleh perhitungan daya

η = Efisiensi maksimum turbin angin (0,593)

3. Menentukan Jari-Jari Sudu Turbin

Jari-jari turbin angin dapat dihitung dengan persamaan berikut (Irfansyah dan Firman, 2020) :

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (3)$$

Keterangan

C_p = Koefisien daya (C_p)

4. Menentukan Luas Sapuan Turbin

Luas sapuan turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut (Sahid dan Priyoatmojo, 2019):

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (4)$$

Keterangan

r^2 = Jari-jari turbin (m²)

5. Menentukan Kebutuhan Daya Listrik

Kebutuhan daya listrik dapat dihitung dengan persamaan berikut (Suduri dkk, 2021):

$$Wh = P \times h \quad (5)$$

Keterangan

Wh = Daya pemakaian

h = Lama pemakaian beban

6. Menentukan Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai dapat diperoleh dengan persamaan berikut (Suduri dkk, 2021) :

$$\begin{aligned} Ah \\ = 1,5 \times Wh/V \end{aligned} \quad (6)$$

Keterangan

Ah = Kapasitas Baterai

V = Tegangan pada baterai

Desain Prototipe PLTB

Pada penelitian ini dirancang menggunakan turbin sumbu *horizontal* dengan jumlah sudu sebanyak 4 bilah yang terbuat dari pipa pvc. Pada Gambar 3. menunjukkan desain prototipe PLTB.



Gambar 3. Desain prototipe PLTB

Keterangan :

1. Turbin Angin

2. Ekor Turbin

3. Generator DC

4. Tiang Rangka

5. Box (tempat penyimpanan *Solar Charge Controller* (SCC) dan baterai)

6. Lampu DC

7. *Pulley* atau Puli

8. *Belt* atau Sabuk

Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data dilakukan di Tambak Cemandi, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur kecepatan

angin, tegangan, arus daya generator, tegangan dan arus pengisian baterai serta mengujur kecepatan putaran turbin dan generator yang dilakukan selama 6 hari dari jam 10.00-17.00 WIB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Desain Alat

Pada hasil penelitian ini menggunakan turbin sumbu *horizontal* dengan jumlah sudu 4 buah. Bahan sudu atau bilah terbuat dari pipa pvc. Untuk rangka tiang penyangga turbin menggunakan pipa besi dengan tinggi 150 cm atau 1,5 m. Ukuran turbin angin sumbu *horizontal* berukuran panjang 35 cm dan lebar 8 cm. Rangka tiang penyangga terdapat box yang berisi komponen *Solar Charge Controller* (SCC) dan baterai untuk menyimpan sumber energi yang dihasilkan dari turbin angin. Bagian bawah box terpasang 3 buah fitting lampu yang digunakan sebagai tempat menaruh lampu DC sebagai sumber penerangan. Pada Gambar 4. Menunjukkan hasil perancangan prototipe PLTB yang telah dibuat.



Gambar 4. Hardware Prototipe PLTB

Tabel 1. Spesifikasi Perencanaan Ukuran Alat

No.	Parameter	Ukuran
1.	Diameter Sudu	70 cm
2.	Panjang Sudu	35 cm
3.	Lebar Sudu	8 cm
4.	Luas Sapuan Rotor	38 cm
5.	Jumlah Sudu	4 buah
6.	Tinggi Rangka Alat	150 cm
7.	Trimming Belt Pulley	28 cm
8.	Diameter Pulley Besar	5,5 cm
9.	Diameter Pulley Kecil	1,5 cm

Pengujian Tegangan Generator Kondisi Tanpa beban pada Prototipe PLTB

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan yang dihasilkan generator DC pada prototipe PLTB dalam kondisi tanpa beban. Pengujian dilakukan

menggunakan multimeter sebagai alat ukur tegangan.

1. Pengujian Generator Kondisi Tanpa Beban pada Prototipe PLTB Hari Pertama

Tabel 2. Pengujian Generator Hari Pertama

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)
10.00	2,1	25,28
11.00	2,4	28,16
12.00	3,0	34,29
13.00	2,7	31,46
14.00	2,8	36,87
15.00	2,6	34,33
16.00	1,9	21,70
17.00	1,8	20,35
Rata-rata	2,4	29,05

Pada Tabel 2. menunjukkan hasil pengujian generator tanpa beban menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 36,87 volt dengan kecepatan angin tertinggi sebesar 2,8 m/s pada pukul 14.00 WIB. Rata-rata kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 2,4 m/s dan tegangan generator sebesar 29,05 volt.

2. Pengujian Generator Kondisi Tanpa Beban pada Prototipe PLTB Hari Kedua

Tabel 3. Pengujian Generator Hari Kedua

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)
10.00	2	23,06
11.00	2,6	31,52
12.00	2,4	25,53
13.00	3	34,87
14.00	2,5	23,42
15.00	2,8	32,11
16.00	2	25,32
17.00	1,5	13,87
Rata-rata	2,3	24,88

Pada Tabel 3. menunjukkan hasil pengujian generator tanpa beban menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 36,87 volt dengan kecepatan angin tertinggi sebesar 3 m/s pada pukul 13.00 WIB. Rata-rata kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 2,3 m/s dan tegangan generator sebesar 24,88 volt.

3. Pengujian Generator Kondisi Tanpa Beban pada Prototipe PLTB Hari Ketiga

Tabel 4. Pengujian Generator Hari Ketiga

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)
10.00	2,2	28,22
11.00	2,6	36,40
12.00	2,7	35,83
13.00	3,5	44,98
14.00	2,9	41,39
15.00	2,6	36,71
16.00	1,9	24,64
17.00	1,8	18,17
Rata-rata	2,5	33,29

Pada Tabel 4. menunjukkan hasil pengujian generator tanpa beban menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 44,98 volt dengan kecepatan angin tertinggi sebesar 3,5 m/s pada pukul 13.00 WIB. Rata-rata kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 2,5 m/s dan tegangan generator sebesar 33,29 volt.

4. Pengujian Generator Kondisi Tanpa Beban pada Prototipe PLTB Hari Keempat

Tabel 5. Pengujian Generator Hari Keempat

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)
10.00	1,6	14,70
11.00	1,7	15,03
12.00	1,7	15,32
13.00	2,9	35,67
14.00	2,3	28,80
15.00	1,8	16,41
16.00	1,5	13,55
17.00	1,3	13,03
Rata-rata	1,8	19,06

Pada Tabel 5. menunjukkan hasil pengujian generator tanpa beban menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 35,67 volt dengan kecepatan angin tertinggi sebesar 2,9 m/s pada pukul 13.00 WIB. Rata-rata kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 1,8 m/s dan tegangan generator sebesar 19,06 volt.

5. Pengujian Generator Kondisi Tanpa Beban pada Prototipe PLTB Hari Kelima

Tabel 6. Pengujian Generator Hari Kelima

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)
10.00	1,8	19,47
11.00	1,9	20,68
12.00	2,2	27,90
13.00	2,6	34,54
14.00	2,9	40,72
15.00	2,0	23,84
16.00	1,9	20,30
17.00	1,7	15,01
Rata-rata	2,1	25,30

Pada Tabel 6. menunjukkan hasil pengujian generator tanpa beban menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 40,72 volt dengan kecepatan angin tertinggi sebesar 2,9 m/s pada pukul 14.00 WIB. Rata-rata kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 2,1 m/s dan tegangan generator sebesar 25,30 volt.

6. Pengujian Generator Kondisi Tanpa Beban pada Prototipe PLTB Hari Keenam

Pada Tabel 7. menunjukkan hasil pengujian generator tanpa beban menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 35,22 volt dengan kecepatan angin tertinggi sebesar 3,0 m/s pada pukul 13.00 WIB. Rata-rata kecepatan angin yang dihasilkan sebesar 2,4 m/s dan tegangan

generator sebesar 25,60 volt.

Tabel 7. Pengujian Generator Hari Keenam

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)
10.00	2,1	20,89
11.00	2,2	27,99
13.00	3,0	35,22
14.00	2,5	28,79
16.00	2,0	18,35
17.00	1,9	15,04
Rata-rata	2,4	25,60

Pengujian Generator Kondisi Berbeban pada Prototipe PLTB

Pengujian ini dilakukan dalam kondisi berbeban yang bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan generator DC pada prototipe PLTB. Pengujian dilakukan selama 6 hari dari jam 10.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB.

1. Pengujian Generator Kondisi Berbeban pada Prototipe PLTB Hari Pertama

Tabel 8. Pengujian Generator Hari Pertama

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
10.00	2,1	11,42	0,3	3,42
11.00	2,4	11,43	0,3	3,42
12.00	3,0	11,46	0,5	5,73
13.00	2,8	11,43	0,3	3,42
14.00	2,7	11,49	0,5	5,74
15.00	2,6	11,47	0,5	5,73
16.00	1,9	11,45	0,3	3,43
17.00	1,8	11,41	0,1	1,14
Rata-rata	2,4	11,44	0,3	4,00

Pada Tabel 8. menunjukkan hasil pengujian generator kondisi berbeban pada pukul 12.00 WIB menghasilkan kecepatan angin tertinggi sebesar 3,0 m/s, nilai tegangan tertinggi sebesar 11,49 volt, nilai arus sebesar 0,5 ampere dan nilai daya yang dihasilkan sebesar 5,74 watt.

2. Pengujian Generator Kondisi Berbeban pada Prototipe PLTB Hari Kedua

Tabel 9. Pengujian Generator Hari Kedua

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
10.00	2,0	11,82	0,5	5,91
11.00	2,6	11,83	0,7	8,28
12.00	2,4	11,83	0,7	8,28
13.00	3,0	11,83	0,11	13,01
14.00	2,5	11,82	0,7	8,27
15.00	2,8	11,83	0,7	8,28
16.00	2,0	11,81	0,5	5,90
17.00	1,5	11,40	0,1	1,14
Rata-rata	2,3	11,77	0,5	7,38

Pada Tabel 9. menunjukkan hasil pengujian generator

kondisi berbeban pada pukul 13.00 WIB menghasilkan kecepatan angin tertinggi sebesar 3,0 m/s, tegangan sebesar 11,83 volt, arus sebesar 0,11 ampere dan nilai daya tertinggi sebesar 13,01 watt.

3. Pengujian Generator Kondisi Berbeban pada Prototipe PLTB Hari Ketiga

Tabel 10. Pengujian Generator Hari Ketiga

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
10.00	2,2	11,80	0,3	3,54
11.00	2,6	11,82	0,7	8,27
12.00	2,7	11,82	0,7	8,27
13.00	3,5	11,83	0,14	16,56
14.00	2,9	11,82	0,9	10,63
15.00	2,6	11,81	0,5	5,90
16.00	1,9	11,79	0,3	3,53
17.00	1,8	11,79	0,3	3,53
Rata-rata	2,5	11,81	0,4	7,52

Pada Tabel 10. menunjukkan hasil pengujian generator kondisi berbeban pada pukul 13.00 WIB menghasilkan kecepatan angin tertinggi sebesar 3,5 m/s, tegangan sebesar 11,83 volt, arus sebesar 0,14 ampere dan nilai daya tertinggi sebesar 16,56 watt.

4. Pengujian Generator Kondisi Berbeban pada Prototipe PLTB Hari Keempat

Tabel 11. Pengujian Generator Hari Keempat

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
10.00	1,6	11,49	0,1	1,15
11.00	1,7	11,65	0,3	3,49
12.00	1,7	11,66	0,3	3,49
13.00	2,9	11,80	0,7	8,26
14.00	2,3	11,68	0,3	3,50
15.00	1,8	11,66	0,3	3,49
16.00	1,5	11,61	0,3	3,48
17.00	1,3	11,25	0,1	1,12
Rata-rata	1,8	11,60	0,3	3,83

Pada Tabel 11. menunjukkan hasil pengujian generator kondisi berbeban pada pukul 13.00 WIB menghasilkan kecepatan angin tertinggi sebesar 2,9 m/s, tegangan sebesar 11,80 volt, arus sebesar 0,7 ampere dan nilai daya tertinggi sebesar 8,26 watt.

5. Pengujian Generator Kondisi Berbeban pada Prototipe PLTB Hari Kelima

Pada Tabel 12. menunjukkan hasil pengujian generator kondisi berbeban pada pukul 14.00 WIB menghasilkan kecepatan angin tertinggi sebesar 2,9 m/s, tegangan sebesar 11,87 volt, arus sebesar 0,9 ampere dan nilai daya tertinggi sebesar 10,68 watt.

Tabel 12. Pengujian Generator Kondisi Hari Kelima

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
10.00	1,8	11,67	0,3	3,50
11.00	1,9	11,69	0,3	3,50
12.00	2,2	11,74	0,3	3,52
14.00	2,9	11,87	0,9	10,68
15.00	2,0	11,78	0,3	3,53
16.00	1,9	11,72	0,3	3,51
17.00	1,7	11,62	0,3	3,48
Rata-rata	2,1	11,73	0,4	5,00

6. Pengujian Generator Kondisi Berbeban pada Prototipe PLTB Hari Keenam

Tabel 13. Pengujian Generator Kondisi Hari Keenam

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
10.00	2,1	11,79	0,3	3,53
11.00	2,2	11,81	0,7	8,26
12.00	2,7	11,82	0,5	5,91
13.00	3,0	11,83	0,11	13,01
14.00	2,5	11,81	0,7	8,26
15.00	2,8	11,83	0,9	10,64
16.00	2,0	11,68	0,1	1,16
17.00	1,9	11,71	0,3	3,51
Rata-rata	2,4	11,78	0,4	6,78

Pada Tabel 13. menunjukkan hasil pengujian generator kondisi berbeban pada pukul 13.00 WIB menghasilkan kecepatan angin tertinggi sebesar 3,0 m/s, tegangan sebesar 11,83 volt, arus sebesar 0,11 ampere dan nilai daya tertinggi sebesar 13,01 watt.

Pengujian Putaran Turbin Prototipe PLTB

Pengujian putaran turbin *horizontal* bertujuan untuk mengetahui banyaknya putaran atau *Revolution Per Minute* (rpm) yang dihasilkan oleh turbin *horizontal*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur *digital tachometer*.

1. Pengujian Putaran Turbin Hari Pertama

Tabel 14. Pengujian Putaran Turbin Hari Pertama

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	2,1	116,2	101,6
11.00	2,4	138,2	107,8
12.00	3,0	188,8	144,0
13.00	2,8	167,6	134,0
14.00	2,7	145,7	138,8
15.00	2,6	144,0	135,6
16.00	1,9	102,6	96,5
17.00	1,8	98,7	85,4
Rata-rata	2,4	142,7	120,3

Pada Tabel 14. menunjukkan kecepatan putaran turbin tertinggi pada pukul 12.00 WIB dengan kecepatan angin 3,0 m/s kondisi tanpa beban sebesar 188,8 rpm dan kondisi berbeban sebesar 144,0 rpm.

2. Pengujian Putaran Turbin Hari Kedua

Tabel 15. Pengujian Putaran Turbin Hari Kedua

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	2,0	105,8	96,1
11.00	2,6	135,0	118,4
12.00	2,4	127,2	102,1
13.00	3,0	135,8	115,0
14.00	2,5	129,5	101,1
15.00	2,8	131,6	104,9
16.00	2,0	108,5	99,2
17.00	1,5	72,6	58,0
Rata-rata	2,3	118,2	99,3

Pada Tabel 15. menunjukkan kecepatan putaran turbin tertinggi pada pukul 13.00 WIB dengan kecepatan angin 3,0 m/s kondisi tanpa beban sebesar 135,8 rpm dan kondisi berbeban sebesar 115,0 rpm.

3. Pengujian Putaran Turbin Hari Ketiga

Tabel 16. Pengujian Putaran Turbin Hari Ketiga

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	2,2	106,8	92,2
11.00	2,6	113,8	102,7
12.00	2,7	116,6	108,8
13.00	3,5	196,7	147,4
14.00	2,9	158,9	132,9
15.00	2,6	158,9	125,2
16.00	1,9	102,5	100,3
17.00	1,8	99,8	89,2
Rata-rata	2,5	127,8	112,3

Pada Tabel 16. menunjukkan kecepatan putaran turbin tertinggi pada pukul 12.00 WIB dengan kecepatan angin 3,0 m/s kondisi tanpa beban sebesar 188,8 rpm dan kondisi berbeban sebesar 144,0 rpm.

4. Pengujian Putaran Turbin Hari Keempat

Tabel 17. Pengujian Putaran Turbin Hari Keempat

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	1,6	56,8	55,1
11.00	1,7	75,8	55,1
12.00	1,7	80,2	60,4
13.00	2,9	104,1	82,5
14.00	2,3	90,2	72,9
15.00	1,8	83,4	80,2
16.00	1,5	73,8	54,6
17.00	1,3	68,2	45,8
Rata-rata	1,8	79,06	63,32

Pada Tabel 17. menunjukkan kecepatan putaran turbin tertinggi pada pukul 12.00 WIB dengan kecepatan angin 2,9 m/s kondisi tanpa beban sebesar 104,1 rpm dan kondisi berbeban sebesar 82,5 rpm.

5. Pengujian Putaran Turbin Hari Kelima

Tabel 18. Pengujian Putaran Turbin Hari Kelima

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	1,8	108,7	90,3
11.00	1,9	113,1	100,7
12.00	2,2	107,0	92,7
13.00	2,6	155,9	123,5
14.00	2,9	158,6	125,6
15.00	2,0	101,9	99,1
16.00	1,9	112,7	99,8
17.00	1,7	98,1	79,6
Rata-rata	2,1	121,2	101,4

Pada Tabel 18. menunjukkan kecepatan putaran turbin tertinggi pada pukul 14.00 WIB dengan kecepatan angin 2,9 m/s kondisi tanpa beban sebesar 158,6 rpm dan kondisi berbeban sebesar 125,6 rpm.

6. Pengujian Putaran Turbin Hari Keenam

Tabel 19. Pengujian Putaran Turbin Hari Kelima

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	2,1	111,5	98,4
11.00	2,2	114,5	99,7
12.00	2,7	146,9	120,0
13.00	3,0	165,4	137,1
14.00	2,5	121,9	102,5
15.00	2,8	149,8	120,3
16.00	2,0	106,9	91,1
17.00	1,9	103,9	70,7
Rata-rata	2,4	127,6	104,9

Pada Tabel 19. menunjukkan kecepatan putaran turbin tertinggi pada pukul 13.00 WIB dengan kecepatan angin 3,0 m/s kondisi tanpa beban sebesar 165,4 rpm dan kondisi berbeban sebesar 137,1 rpm.

Pengujian Putaran Generator pada Prototipe PLTB

Pengujian putaran generator bertujuan untuk mengetahui banyaknya putaran (rpm) sebelum dikopel beban dan setelah dikopel beban. Pengujian ini menggunakan alat ukur digital tachometer.

1. Pengujian Putaran Generator Hari Pertama

Tabel 20. Pengujian Putaran Generator Hari Pertama

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	2,1	346,5	315,1
11.00	2,4	420,0	361,3
12.00	3,0	486,0	369,7
13.00	2,8	476,6	351,7
14.00	2,7	431,8	354,1
15.00	2,6	398,5	330,3
16.00	1,9	344,1	308,7
17.00	1,8	342,0	280,7
Rata-rata	2,4	405,6	333,9

Pada Tabel 20. menunjukkan kecepatan putaran generator tertinggi pada pukul 12.00 WIB dengan kecepatan angin 3,0

m/s kondisi tanpa beban sebesar 486,0 rpm dan kondisi berbeban sebesar 369,7 rpm.

2. Pengujian Putaran Generator Hari Kedua

Tabel 21. Pengujian Putaran Generator Hari Kedua

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	2,0	402,5	341,1
11.00	2,6	679,2	633,4
12.00	2,4	653,3	626,4
13.00	3,0	867,5	849,9
14.00	2,5	526,3	508,0
15.00	2,8	753,5	715,9
16.00	2,0	391,7	346,3
17.00	1,5	288,2	259,9
Rata-rata	2,3	570,2	535,1

Pada Tabel 21. menunjukkan kecepatan putaran generator tertinggi pada pukul 13.00 WIB dengan kecepatan angin 3,0 m/s kondisi tanpa beban sebesar 867,5 rpm dan kondisi berbeban sebesar 849,9 rpm.

3. Pengujian Putaran Generator Hari Ketiga

Tabel 22. Pengujian Putaran Generator Hari Ketiga

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	2,2	426,3	401,3
11.00	2,6	683,1	687,8
12.00	2,7	760,7	732,5
13.00	3,5	884,3	873,6
14.00	2,9	873,6	779,9
15.00	2,6	683,3	654,9
16.00	1,9	388,4	336,6
17.00	1,8	318,7	306,5
Rata-rata	2,5	627,3	596,6

Pada Tabel 22. menunjukkan kecepatan putaran generator tertinggi pada pukul 13.00 WIB dengan kecepatan angin 3,5 m/s kondisi tanpa beban sebesar 884,3 rpm dan kondisi berbeban sebesar 873,6 rpm.

4. Pengujian Putaran Generator Hari Keempat

Tabel 23. Pengujian Putaran Generator Hari Keempat

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	1,6	348,8	301,5
11.00	1,7	374,6	337,0
12.00	1,7	392,6	353,2
13.00	2,9	450,6	432,2
14.00	2,3	411,5	393,6
15.00	1,8	401,6	387,6
16.00	1,5	352,2	323,5
17.00	1,3	299,5	267,0
Rata-rata	1,8	378,9	349,4

Pada Tabel 23. menunjukkan kecepatan putaran generator tertinggi pada pukul 13.00 WIB dengan kecepatan angin 2,9 m/s kondisi tanpa beban sebesar 450,6 rpm dan kondisi

berbeban sebesar 432,2 rpm.

5. Pengujian Putaran Generator Hari Kelima

Tabel 24. Pengujian Putaran Generator Hari Kelima

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	1,8	357,6	343,0
11.00	1,9	372,1	350,8
12.00	2,2	417,3	399,8
13.00	2,6	689,3	637,5
14.00	2,9	873,7	829,5
15.00	2,0	412,2	383,8
16.00	1,9	377,0	359,2
17.00	1,7	309,7	298,4
Rata-rata	2,1	476,1	450,2

Pada Tabel 24. menunjukkan kecepatan putaran generator tertinggi pada pukul 14.00 WIB dengan kecepatan angin 2,9 m/s kondisi tanpa beban sebesar 873,7 rpm dan kondisi berbeban sebesar 829,5 rpm.

6. Pengujian Putaran Generator Hari Keenam

Tabel 25. Pengujian Putaran Generator Hari Keenam

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tanpa Beban (rpm)	Berbeban (rpm)
10.00	2,1	448,8	417,6
11.00	2,2	444,3	394,7
12.00	2,7	492,0	469,8
13.00	3,0	613,6	536,1
14.00	2,5	460,3	430,6
15.00	2,8	587,7	465,0
16.00	2,0	384,8	358,0
17.00	1,9	288,2	245,0
Rata-rata	2,4	464,9	414,6

Pada Tabel 25. menunjukkan kecepatan putaran turbin tertinggi pada pukul 12.00 WIB dengan kecepatan angin 3,0 m/s kondisi tanpa beban sebesar 188,8 rpm dan kondisi berbeban sebesar 144,0 rpm.

PENUTUP Simpulan

Prototipe pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) menggunakan turbin sumbu *horizontal* dengan tinggi rangka 150 cm, diameter sudu 70 cm dan lebar sudu 8 cm. Bahan dari sudu turbin terbuat dari pipa pvc, sedangkan bahan dari rangka menggunakan pipa besi. 2.

Cara kerja dari turbin sumbu *horizontal* adalah ketika angin berhembus ke arah turbin maka turbin akan berputar bersamaan dengan *pulley* berdiameter 5,5 cm yang terkopel dengan generator DC, sehingga generator DC menghasilkan tegangan, arus dan daya.

Kondisi kecepatan angin sangat mempengaruhi keluaran tegangan generator DC, semakin besar angin yang berhembus maka semakin besar tegangan yang dihasilkan. Data yang diukur pada saat pengujian

mengalami kenaikan dan penurunan hal ini disebabkan dipengaruhi kecepatan angin yang tidak menentu. Pada hasil pengujian didapatkan kecepatan angin tertinggi sebesar 3,5 m/s menghasilkan output pada kondisi tanpa beban sebesar 44,98 Volt pada putaran tertinggi turbin sebesar 196,7 rpm dan putaran tertinggi generator sebesar 884,3 rpm. Pada kondisi berbeban menghasilkan output 11,83 Volt, arus 0,14 Ampere dan daya sebesar 13,01 Watt. Putaran tertinggi turbin saat kondisi berbeban sebesar 147,4 rpm dan putaran generator sebesar 873,6 rpm.

Rata rata hasil pengujian selama 6 hari didapatkan rata-rata kecepatan angin sebesar 2,2 m/s. Rata-rata tegangan tanpa beban yang dihasilkan sebesar 26,36 Volt, kondisi berbeban sebesar 11,68 Volt, arus 0,4 Ampere dan daya 4,67 Watt. Rata-rata pengujian putaran turbin keadaan tanpa beban sebesar 119,4 rpm, keadaan berbeban 107,6 rpm, pengujian putaran generator keadaan tanpa beban sebesar 487,1 rpm dan keadaan berbeban sebesar 446,6 rpm. Pengujian baterai selama satu hari didapatkan rata-rata kecepatan angin sebesar 2,1 m/s, tegangan generator yang dihasilkan sebesar 11,72 Volt, arus generator 0,3 Ampere, tegangan baterai sebesar 11,67 Volt dan arus baterai 0,21 Ampere.

Saran

Pada penelitian selanjutnya prototipe PLTB dapat dikembangkan lebih jauh untuk skala yang lebih besar. Pada penelitian selanjutnya bisa ditambahkan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* pada prototipe PLTB agar dapat memonitoring tegangan dan arus secara real time. Penambahan kapasitas baterai lebih besar lagi agar dapat menyimpan beban energi yang besar untuk sumber penerangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto, 2007. *Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai Pptagg – Upt-Lagg, April, 32.
- I Kadek Wiatama, Iwan Subandria, I. M. 2018. *Pengaruh Profil Blade dan Jumlah Blade Terhadap Unjuk Kerja Daya Generator Turbin Angin Sumbu Horizontal*. *Dinamika Teknik Mesin*, 1–9.
- Ihwan, A., dan Sota, I. 2010. *Kajian Potensi Energi Angin untuk Perencanaan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) di Kota Pontianak*. *Jurnal Fisika FLUX*, 7(2), 130–140.
- Irfansyah, M., dan Firman, M. 2020. *Perancangan Variasi Material Sudu Pada Turbin Angin Horizontal*. *Prosiding Hasil-Hasil Penelitian Tahun 2020 Dosen-Dosen Universitas Islam Kalimantan*, 276–283.
- Nakhoda, Y., dan Saleh, C. 2016. *Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Menggunakan Kincir Angin Savonius Portabel*. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*,

5(2), 71.

- Nur Fitri, S., Azis, F., An Nuur Muhammad, H., dan Nur Hidayat, R. 2020. *Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Generator BLDC Sebagai Sistem Penerangan*. *Journal Of Electrical Engginering (Joule)*, 3(2).
- Sahid dan Priyoatmojo. 2019. *Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Sudu Flat Berlapis Tiga Dengan Variasi Sudut Dan Posisi Sudu*. *Eksergi*, 15(1), 14.
- Sifa, A., dan Rizqon, H. H. 2014. *Pengujian Kincir Angin Horizontal Type di Kawasan Tambak sebagai Energi Listrik Alternatif untuk Penerangan*. In IRWNS.
- Suduri, A. F. U., Haryudo, S. I., Joko, dan Widyartono, M. 2021. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 80 Wp Untuk Alat penetas Telur Berbasis IoT*. *Jurnal Teknik Elektro*, 10 No 3(Vol 10 No 3 (2021):, 587–596.