

Pembuatan Prototype Pengereman Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Menggunakan Dummy Load Resistor

^{1*} Rizki Agil Herlambang, ² Irrine Budi Sulistiawati, ³ Bima Romadhon PDP

^{1,2,3} Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional, Malang

⁴ Teknik Elektro Universitas Darul Ulum Jombang

¹ rizkiagil0@gmail.com, ² irrine@lecture.itn.ac.id, ³ bimarmdp@lecture.itn.ac.id

Article Info

Article history:

Received March 19th, 2024

Revised March 27th, 2024

Accepted April 20th, 2024

Keyword:

Wind Power Plants
Braking System
Dummy Load Resistor
Renewable Energy

ABSTRACT

This study aims to develop a prototype braking system for wind turbines used in wind power plants by utilizing a dummy load resistor. The background of this research is the necessity for an effective braking system to control the speed of wind turbines, especially under extreme wind conditions, which can cause damage to the system and electrical components. The designed braking system uses a dummy load resistor to reduce the rotational speed of the turbine by dissipating excess electrical energy as heat. Tests were conducted to evaluate the effectiveness of the system under various wind conditions and to measure performance parameters such as turbine speed stability and protection of electrical components. The results show that the uses of dummy load resistors are effective in diverting excess voltage with a set point of 14 volts, and at 300 rpm using voltage sensors, proximity sensor and MOSFETs as voltage control, which will be diverted to the dummy load resistor system. Thus, this research makes a significant contribution to the development of wind power technology, particularly in terms of safety and operational efficiency.

*Copyright © 2024 Nucleus Journal
All rights reserved.*

DOI: <https://doi.org/10.32492/nucleus.v3i1.3103>

Corresponding Author:

Rizki Agil Herlambang

Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional, Malang

Address: Jl. Sigura - Gura No.2, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65152

Email: rizkiagil0@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototype sistem pengereman pada turbin angin yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga bayu dengan memanfaatkan dummy load resistor. Latar belakang dari penelitian ini adalah kebutuhan akan sistem pengereman yang efektif untuk mengendalikan kecepatan turbin angin, terutama dalam kondisi angin ekstrem, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem dan komponen listrik. Sistem pengereman yang dirancang menggunakan resistor beban dummy untuk mengurangi kecepatan putaran turbin dengan membuang energi listrik berlebih sebagai panas. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi efektifitas sistem dalam berbagai kondisi angin, serta untuk mengukur parameter performa seperti stabilitas kecepatan turbin dan perlindungan terhadap komponen listrik. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa penggunaan dummy load resistor efektif dalam mengalihkan tegangan yang berlebih dengan set point 14 volt, dan pada putaran 300 rpm dengan menggunakan sensor proximity sensor tegangan yang dipakai dan mosfet sebagai control tegangan yang akan di alihkan pada sistem dammy load resistor. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknologi PLTB, khususnya dalam aspek keamanan dan efisiensi operasional.

I. PENDAHULUAN

Potensi energi angin atau bayu di Indonesia menunjukkan potensi yang sangat menjanjikan seperti di lansir pada harian Kompas [1]. Disampaikan juga disitu bahwa besar energi bayu di Indonesia mencapai 154,9 giga watt berdasarkan data yang dilansir oleh Dewan Energi Nasional. Sehingga energi angin sebagai sumber daya Listrik untuk dimanfaatkan di Indonesia memberi prospek yang sangat berpotensi.

Proses kerja dari bilah turbin angin yaitu mengubah angin yang datang menjadi energi gerak untuk memutar poros penggerak utama. Peran dari turbin angin merupakan komponen penting dari pembangkit Listrik tenaga bayu karena kemampuannya menangkap energi dari angin [2].

Pada pembangkit Listrik Tenaga Bayu hal yang juga penting adalah pengereman turbin. Pengereman diperlukan tidak hanya untuk proses pemeliharaan dimana putaran turbin harus dihentikan, namun pengereman juga diperlukan pada kondisi kecepatan putaran pada kondisi yang tidak memungkinkan seperti kondisi ekstrim, terjadi badai dimana kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada turbin itu sendiri dan sistemnya [3].

Proses Sistem Pengereman ini yaitu merubah tegangan output generator menjadi energi panas dengan cara memasang resistor kawat sebagai media pengereman [3]. penelitian ini menggunakan kincir angin berkapasitas 500 watt, dan sistem pengereman menggunakan sistem braking resistor untuk membuang energi listrik yang tidak diinginkan pada saat terjadi pengereman pada motor listrik. Pada sistem pembangkit listrik tenaga bayu, braking resistor dapat digunakan sebagai bagian dari sistem proteksi untuk melindungi peralatan listrik dari gangguan teknik dan kesalahan operasi. Braking resistor disini menggunakan dummy load resistor yaitu sebuah komponen elektronik yang digunakan untuk membatasi jumlah tegangan yang mengalir dalam suatu rangkaian. Dummy load resistor berfungsi sebagai penghambat tegangan listrik yang tidak diperlukan. Dengan demikian, pengujian dapat dilakukan dengan lebih aman dan efisien, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti beban actual [4].

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah membuat prototype pengereman turbin pada PLTB dan melakukan analisa kinerjanya sehingga efisiensi dan keandalan sistem dapat ditingkatkan. Selain itu, permasalahan teknis terkait dengan pengereman turbin pada PLTB akan diidentifikasi untuk merancang sistem proteksi yang efektif.

II. METODE PENELITIAN

A. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai pembangkit terbarukan memanfaatkan energi angin yang selalu tersedia dan tidak habis jika dipakai terus menerus. Adanya perbedaan suhu dan tekanan pada suatu daerah tertentu menimbulkan pergerakan angin. Angin yang bergerak karena tekanan tinggi ke tekanan rendah menjadi energi utama untuk memutar baling-baling pada turbin angin. Perputaran baling-baling ini secara langsung memutar turbin dan menghasilkan perputaran generator dan menghasilkan Listrik. Listrik ini lah yang kemudian kita gunakan untuk kebutuhan kita setelah melalui proses distribusi atau penyaluran [5].

Karakteristik angin yang dapat dimanfaatkan untuk memutar PLTB adalah angin yang mengalir secara teratur (laminar) dengan kecepatan antara 4 m/s hingga 25 m/s. Angin dengan kecepatan 4 m/s dianggap sebagai kecepatan minimal angin agar dapat memutar turbin dengan

kapasitas pembangkit listrik yang kecil, sedangkan kecepatan angin 25 m/s merupakan kecepatan maksimum angin yang tidak mengganggu.

Turbin angin memperoleh masukan dayanya dengan mengubah gaya angin menjadi torsi (gaya putar) yang bekerja pada bilah rotor. Rotor di hubungkan ke poros utama yang memutar generator yang memutar generator untuk menghasilkan listrik. Jumlah energi yang ditransfer angin ke rotor tergantung pada kepadatan udara, luas rotor, dan kecepatan angin [2]. Seperti pada rumus 2.7. Rumus yang digunakan untuk menghitung daya listrik PLTB adalah sebagai berikut:

$$P=0,5 \times \rho \times A \times v^3 \quad (1)$$

Dimana :

P adalah daya listrik (kW)

ρ adalah kepadatan udara (kg/m³)

A adalah luas blade (m²)

v adalah kecepatan angin (m/s)

B. Anemometer

Sensor Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Prinsip kerja sensor ini terdiri dari sensor yang mengubah besaran kecepatan angin menjadi sinyal digital yang kemudian diolah oleh suatu rangkaian elektronik optocoupler. Sensor Anemometer digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengukuran kecepatan angin di stasiun pengukuran cuaca, monitoring kecepatan angin di pantai untuk mengetahui kondisi lingkungan, serta dalam pengembangan sistem monitoring cuaca yang lebih akurat.

Cara kerja sensor Anemometer adalah sebagai berikut: ketika angin tertiup, baling-baling atau mangkuk yang terdapat pada anemometer akan bergerak sesuai dengan arah mata angin. Semakin besar kecepatan angin, maka semakin cepat pula perputaran dari baling-baling tersebut. Dari jumlah putaran dalam satu detik, maka dapat diketahui kecepatan anginnya [6]

Rumus dasar dari Anemometer Cup yaitu sebagai berikut:

$$V = 2\pi RN/60 \quad (2)$$

Dimana:

V = Kecepatan angin (dalam m/s)

R = Jari-jari lingkaran Lintasan cup (dalam meter)

N = Jumlah putaran dalam satu waktu

Tertentu

C. Teori Pengereman Turbin

Brake sistem atau sistem pengereman berfungsi sebagai alat yang menjaga putaran poros bekerja pada titik kerja amannya meski terjadi kondisi angin besar. Jika putaran terlalu besar akibat angin yang berpotensi badai, akan mengakibatkan kerusakan seperti terjadinya panas berlebih, mengalirnya arus yang terlalu besar dan bisa mengakibatkan kerusakan lain pada generator [7].

Dummy load resistor atau disebut juga *dump load* adalah sebuah resistor yang digunakan untuk menyerap atau mengalirkan kelebihan daya listrik dalam suatu sistem. Fungsi utama dari *dummy load* resistor adalah untuk mengendalikan atau menyalurkan daya listrik ekstra yang dihasilkan oleh generator atau sumber daya dari pembangkit listrik tenaga bayu, ketika permintaan listrik pada suatu sistem tidak seimbang dengan produksi listrik yang dihasilkan [8].



Gambar 1. Dummy Load Resistor

Cara kerja *dummy load* resistor pada PLTB melibatkan penggunaan resistor untuk mengurangi nilai tegangan netral dan menjaga kestabilan sistem. Dummy load resistor dapat digunakan untuk mengimprovisasikan beban tiruan pada pembebanan terhadap pembangkit PLTB. Ketika turbin angin berputar memutar generator dan generator berputar dan menghasilkan tegangan yang melebihi batas maksimal yang ditentukan, maka sistem dummy load resistor melakukan perintah sebagai beban cadangan dan menerima tegangan yang diterima dari kelebihan tegangan yang dihasilkan putaran generator [9].

D. Perhitungan Besar Gaya Lorentz

Gaya Lorentz adalah gaya yang terjadi pada muatan listrik atau penghantar berarus yang berinteraksi dengan medan magnet. Gaya Lorentz mempengaruhi kinerja motor listrik yang telah mengubah peradaban manusia karena terutama menyangkut sistem mekanik. Faktor-faktor yang mempengaruhi gaya Lorentz antara lain jenis muatan listrik, arah gerak muatan, dan arah medan magnet, maka untuk mengoptimalkan pengereman pada sistem dummy load menggunakan rumus gaya Lorentz (F) tersebut.

Pada saat sistem dummy load resistor berjalan, generator mengalami pembebanan sehingga putaran pada generator menjadi melambat dikarenakan diberikan beban tambahan tersebut. Dummy load resistor ini membantu mengatur daya yang terbuang dari sistem tenaga listrik, sehingga menjaga kestabilan dan efisiensi dalam memenuhi kebutuhan penyediaan tenaga listrik [10]. Dengan rumus yaitu:

$$F = B \times I \times L \quad (3)$$

Dimana :

F = Gaya Lorentz (dalam Newton)

I = Arus yang pakai beban (Ampere)

B = Medan magnet (Tesla)

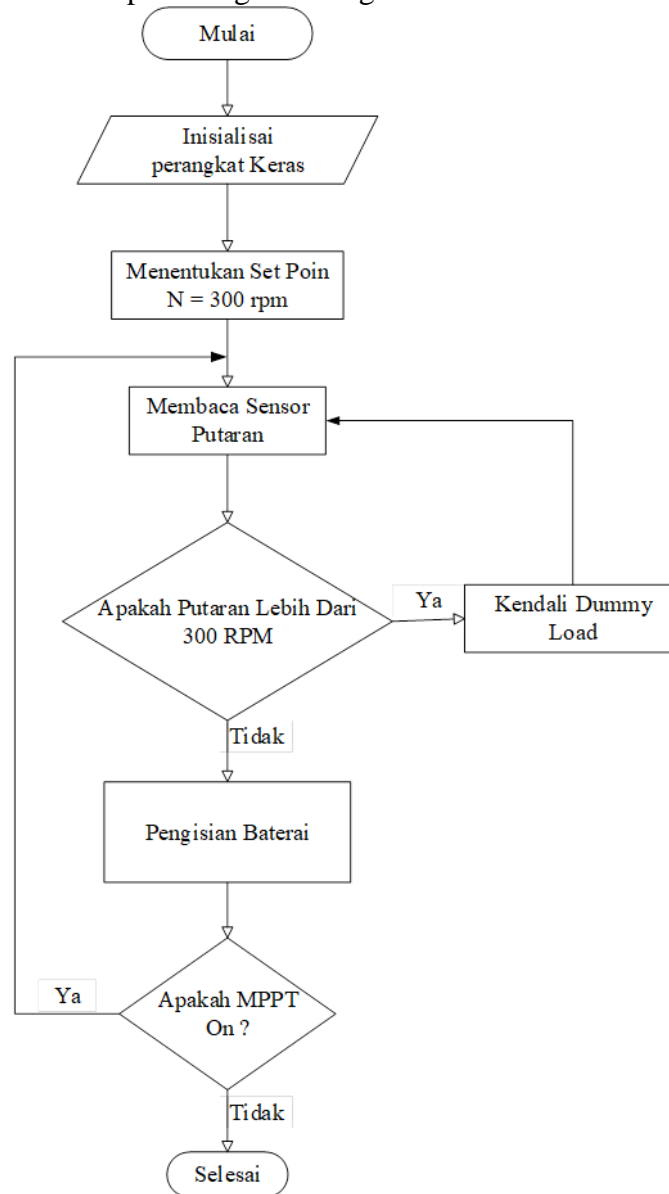
L = Panjang Kumparan (Meter)

Rumus yang diberikan adalah rumus untuk menghitung Gaya Lorentz, yang merupakan gaya yang dialami oleh suatu kawat yang membawa arus listrik ketika berada dalam medan magnet. Jika kawat lurus dialiri arus listrik dan memotong medan magnet, maka akan timbul gaya Lorentz pada kawat tersebut.

Gaya Lorentz dapat berupa gaya tarik-menarik atau gaya tolak-menolak, bergantung pada arah arus listrik yang dialiri pada masing-masing kawat. Jika arah arus listrik pada kawat-kawat tersebut sama, maka gaya yang timbul adalah gaya tarik-menarik. Sebaliknya, jika arah arus listrik pada kawat-kawat tersebut berlawanan, maka gaya yang timbul adalah gaya tolak-menolak. Gaya Lorentz memiliki aplikasi yang luas dan beragam dalam berbagai bidang, termasuk teknologi, ilmu pengetahuan, dan kehidupan sehari-hari. Dengan memahami konsep gaya Lorentz, kita dapat lebih baik memahami berbagai fenomena fisika yang terjadi di sekitar kita.

E. Diagram Alir Penelitian

Penelitian disini dapat dilihat pada diagram alir gambar 2 berikut ini.

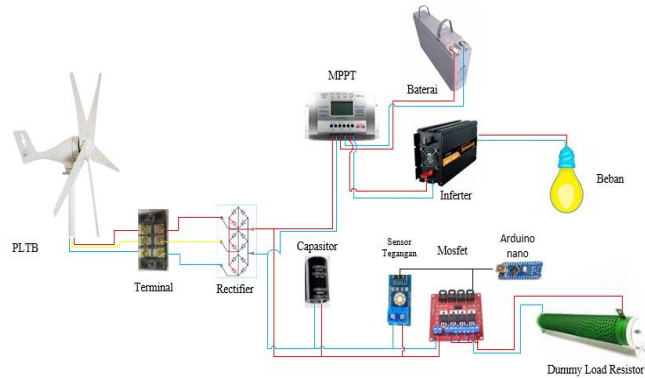


Gambar 2. Flowchart Keseluruhan Sistem

Algoritma dari diagram alir pada gambar 2 sebagai berikut:

1. Mulai
2. Melakukan iniliasisasi perangkat keras;
3. Menentukan set point $n=300$ rpm;
4. Pembacaan sensor kecepatan;
5. Cek putaran lebih dari 300 rpm?
6. Jika Tidak maka ke langkah 7 Jika Iya ke langkah 8;
7. Proses pengisian baterai, lanjut ke langkah 9;
8. Proses pengendalian dummy load terjadi dan ke langkah 4;
9. Pemeriksaan mppt bekerja;
10. Jika Iya Kembali ke langkah 4, Jika tidak ke langkah 11.
11. Selesai

F. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 3. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada gambar 3 yaitu sistem pengereman turbin menggunakan pembangkit listrik tenaga bayu membutuhkan beberapa komponen seperti, pltb, rectifier, inverter, sensor tegangan, arduino nano, kapasitor, mosfet, mppt, baterai 12V 100Ah, dan dammy load agar dapat menjalankan sistem sesuai dengan kinerja yang diinginkan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pengukuran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

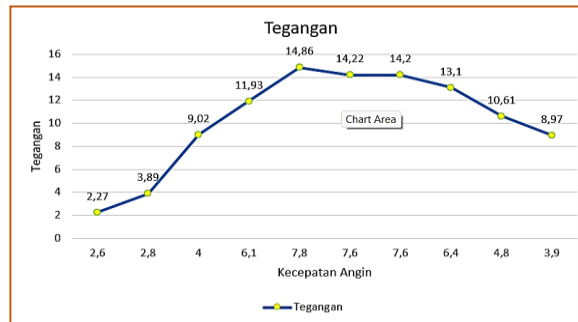
Analisa ini diperlukan untuk melihat bagaimana Pada penelitian ini, pengujian akan dilakukan dengan cara mengukur hasil keluaran dari pembangkit Listrik tenaga bayu dengan menentukan nilai tegangan, nilai arus yang dihasilkan dan berapa tegangan (volt) yang akan di serap pada sistem dummy load resistor serta menentukan daya (watt) yang dihasilkan pada pembangkit listrik tenaga bayu tersebut. Dengan pengambilan data yang dilakukan selama 3 hari.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sensor Hari Kesatu pada Pembangkit

Tegangan (Volt)	Kecepatan Angin (m/s)	Arah Angin	Tegangan yang masuk pada Dummy load resistor (Volt)
2,27	2,6	Selatan	0
3,89	2,8	Timur	0
9,02	4	Utara	0
11,93	6,1	Timur	0
14,86	7,8	Utara	0,86
14,22	7,6	Utara	0,22
14,2	7,6	Utara	0,2
13,1	6,4	Utara	0
10,61	4,8	Timur	0
8,97	3,9	Timur	0

Dari hasil pengukuran sensor tegangan dapat dilihat dalam tabel 1 yaitu keluaran dari pembangkit mengalami kenaikan dan penurunan. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor angin pada lingkungan sekitar, sehingga ketika pembangkit mendapatkan angin yang tinggi maka nilai

tegangan akan memperoleh nilai yang tinggi. Dapat dilihat hasil grafik pada gambar 4 dan 5 sebagai berikut :



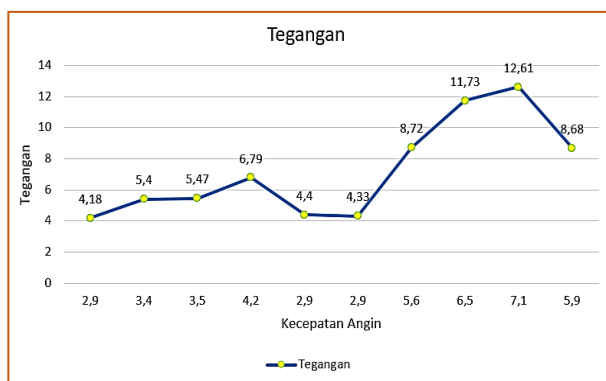
Gambar 4. Grafik Tegangan Pembangkit

Dari gambar 4 menunjukkan bahwa hasil keluaran tegangan dari pltb pada hari pertama mendapatkan hasil paling tinggi pada tegangan 14,86 volt, Hasil tersebut dapat terjadi karena kondisi angin yang tinggi dengan nilai 7,8 m/s, sedangkan hasil paling rendah didapat tegangan 2,27 volt. Hasil tersebut dapat terjadi karena kondisi angin yang tidak terlalu ada dengan nilai 2,6 m/s.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Sensor Hari Kedua pada Pembangkit

Tegangan (Volt)	Kecepatan Angin (m/s)	Arah Angin	Tegangan yang masuk pada Dummy load resistor (Volt)
4,18	2,9	Timur	0
5,4	3,4	Timur	0
5,47	3,5	Utara	0
6,79	4,2	Utara	0
4,4	2,9	Timur	0
4,33	2,9	Timur	0
8,72	5,6	Utara	0
11,73	6,5	Utara	0
12,61	6,7	Utara	0
8,68	5,9	Utara	0

Dari hasil pengukuran sensor tegangan dapat dilihat dalam tabel 2 yaitu keluaran dari pembangkit mengalami kenaikan dan penurunan. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor angin pada lingkungan sekitar, dan pada tegangan yang dialirkan pada sistem dummy load resistor yaitu 0 volt, dikarenakan tegangan yang diperoleh kurang dari 14 volt. Dapat dilihat hasil grafik pada gambar 5 dan 6 sebagai berikut :



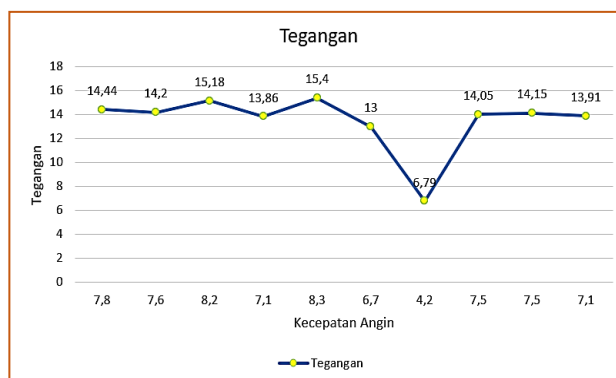
Gambar 5. Grafik Tegangan Pembangkit

Dari gambar 5 menunjukkan bahwa hasil keluaran tegangan dari pltb pada hari kedua mendapatkan hasil paling tinggi pada tegangan 12,61 volt, hasil tersebut dapat terjadi karena kondisi angin yang tinggi dengan nilai 7,1 m/s, sedangkan hasil paling rendah didapat tegangan 4,18 volt dengan nilai angin pada 2,9 m/s.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Sensor Hari Ketiga Pada Pembangkit

Tegangan (Volt)	Kecepatan Angin m/s	Arah Angin	Tegangan yang masuk pada Dummy load resistor (Volt)
14,44	7,8	Utara	0,44
14,2	7,6	Utara	0,2
15,18	8,2	Utara	1,18
13,86	7,1	Utara	0
15,4	8,3	Utara	1,4
13	6,7	Utara	0
6,79	4,2	Utara	0
14,05	7,5	Utara	0,05
14,15	7,5	Utara	0,15
13,91	7,1	Utara	0

Dari hasil pengukuran sensor tegangan dapat dilihat dalam tabel 3 yaitu keluaran dari pembangkit mengalami nilai rata-rata yang tinggi. Pada tegangan yang dialirkan pada sistem dummy load resistor yaitu 0,44; 0,2; 1,18; 1,4; 0,05; 0,15 volt, dikarenakan tegangan yang diperoleh lebih dari 14 volt. Dapat dilihat hasil grafik pada gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Tegangan Pembangkit

Dari gambar 6 menunjukkan bahwa hasil keluaran tegangan dari pltb pada hari ketiga mendapatkan hasil pada tegangan yang cenderung tinggi, Hasil tersebut dapat terjadi karena kondisi angin yang tinggi dengan rata-rata nilai 7,2 m/s.

B. Proses Perhitungan Daya Pada Pembangkit

Pada tahap ketiga yaitu proses perhitungan keluaran daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga bayu. Dengan menggunakan rumus :

$$P = 0,5 \times \rho \times A \times V^3 \quad (1)$$

Ket: P = Daya listrik (W)

ρ = Kepadatan udara (kg/m³)

A = luas blade (m²)

v = kecepatan angin (m/s)

Untuk contoh hasil perhitungan daya pada hari pertama dan hari kedua data kesatu sebagai berikut:

Daya hari pertama

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \times \rho \times A \times V^3 \\ &= 0,5 \times 1,21 \text{ kg/m}^3 \times 0,475 \text{ m}^2 \times 2,6^3 \\ &= 5,05 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil Daya pada Pembangkit Hari Pertama

No	Daya Hari Kesatu (Watt)	Kecepatan Angin (m/s)
1	5,05	2,6
2	6,31	2,8
3	18,39	4
4	65,23	6,1
5	136,37	7,8
6	126,15	7,6
7	126,15	7,6
8	75,33	6,4
9	31,78	4,8
10	17,05	3,9

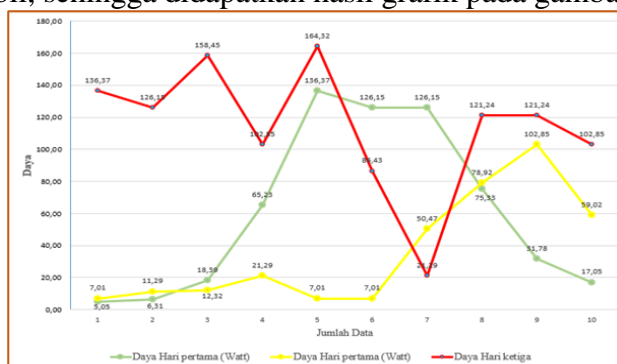
Tabel 5. Hasil Daya pada Pembangkit Hari Kedua

No	Daya Hari Kedua (Watt)	Kecepatan Angin (m/s)
1	7,01	2,9
2	11,29	3,4
3	12,32	3,5
4	21,29	4,2
5	7,01	2,9
6	7,01	2,9
7	50,47	5,6
8	78,92	6,5
9	102,85	7,1
10	59,02	5,9

Tabel 6. Hasil Daya pada Pembangkit Hari Ketiga

No	Daya Hari Ketiga (Watt)	Kecepatan Angin (m/s)
1	136,37	7,8
2	126,15	7,6
3	158,45	8,2
4	102,85	7,1
5	164,32	8,3
6	86,43	6,7
7	21,29	4,2
8	121,24	7,5
9	121,24	7,5
10	102,85	7,1

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa keluaran daya dari pembangkit mengalami penurunan dan kenaikan. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi angin disekitar yang mengakibatkan hasil energi listrik tidak stabil, sehingga didapatkan hasil grafik pada gambar 10 sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Daya Pembangkit

Dari gambar 7 menunjukkan hasil kuluaran daya dari ketiga hari, pembangkit mengalami kenaikan dan penurunan yang mana pada hari pertama mengalami kenaikan dan mengalami penurunan daya. Pada data hari kedua mengalami daya yang rendah dari data 1 hingga data ke 6 dan mengalami kenaikan daya yang tertinggi pada data ke 9 dan pada hari ketiga daya cenderung tinggi dengan nilai rata-rata angin 7,2 m/s, hal tersebut terjadi karena kondisi angin yang tidak menentu jika terdapat nilai angin yang tinggi maka nilai daya akan tinggi, dan begitu sebaliknya jika terdapat angin yang tidak besar maka akan mendapatkan daya yang rendah.

C. Analisis Ketika Sistem Dummy Load Bekerja

Pada tahap keempat paa penelitian yaitu proses perhitungan sistem penyerapan daya yang dilakukan dummy load resistor, dengan rumus :

$$Duty = \frac{P \times R}{V^2} \quad (2)$$

Dimana : Duty : nilai yang akan diserap oleh Dummy load (%)

V^2 : tegangan dari baterai (14,4 Volt)

P : Daya dari PLTB yang akan diserap

R : Nilai resistansi dari rumus 2.7

- a. Untuk perhitunga hari kesatu:
 1. Tegangan 0,86 volt dengan daya 6,71 watt:
 $Duty = \frac{6,71 \times 0,5}{14,4^2} = 1,62 \%$
 2. Tegangan 0,22 volt dengan daya 1,67 watt:
 $Duty = \frac{1,67 \times 0,5}{14,4^2} = 0,4 \%$
 3. Tegangan 0.2 volt dengan daya 1,52 watt:
 $Duty = \frac{1,52 \times 0,5}{14,4^2} = 0,36\%$
- b. Untuk perhitunga hari ketiga:
 1. Tegangan 0,44 volt dengan daya 6,27 watt:
 $Duty = \frac{6,27 \times 0,5}{14,4^2} = 1,51 \%$
 2. Tegangan 0,2 volt dengan daya 2,65 watt:
 $Duty = \frac{2,65 \times 0,5}{14,4^2} = 0,64 \%$
 3. Tegangan 1,18 volt dengan daya 17,51 watt:
 $Duty = \frac{17,51 \times 0,5}{14,4^2} = 4,22 \%$
 4. Tegangan 1,4 volt dengan daya 21,34 watt:
 $Duty = \frac{21,34 \times 0,5}{14,4^2} = 5,14 \%$
 5. Tegangan 0,05 volt dengan daya 0,69 watt:
 $Duty = \frac{0,69 \times 0,5}{14,4^2} = 0,16 \%$
 6. Tegangan 0,15 volt dengan daya 2,11 watt:
 $Duty = \frac{2,11 \times 0,5}{14,4^2} = 0,51 \%$

Dasil tersebut dapat di ketahui bahwa nilai daya yang di serap pada sistem dummy load resistor hari kesatu adalah 1,62 %; 0,4 %; dan 0,36 % dan pada hari kedua 1,51%; 0,64%; 4,22%; 5,14%; 0,16%; 0,51 % dari jumlah maksimal daya yang bisa di serap 500 watt.

D. Analisis Gaya Lorentz pada Generator Pembangkit

Pada tahap kelima adalah menghitung berapa gaya Lorentz yang terjadi pada generator saat terjadi penambahan beban dengan dummy load resistor, dengan rumus berikut ini:

$$F = B \times I \times L \quad (3)$$

Dimana :

F = Gaya Lorentz (dalam Newton)

I = Arus yang pakai beban (Ampere)

B = Medan magnet (Tesla)

L = Panjang Kumparan (Meter)

$F = 0,5 \times 28,8 \times 1,85$

$F = 14,4 \times 1,85$

$F = 26,64$ Newton

Jadi ketika generator berputar dan menghasilkan tegangan lebih dari 14 volt maka generator akan mengalami penambahan beban dan yang akan terjadi pada generator akan melambat dengan nilai beban yaitu 26,64 newton

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. perancangan sistem dummy load resistor mampu beroperasi sesuai dengan yang diinginkan, yaitu berdasarkan set point 300 rpm, dan dengan menyerap tegangan berlebih pada titik setel (set point) sebesar 14 volt. Pada saat pengambilan data, tegangan yang masuk ke resistor beban dummy tercatat dengan nilai 0,86 volt, 0,22 volt, dan 0,20 volt pada hari pertama dan 0,44 volt, 0,2 volt, 1,18 volt, 1,4 volt, 0,05 volt, 0,15 volt pada hari ketiga pengambilan data. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan efektif dalam menyerap tegangan berlebih. Selain itu, ketika sistem aktif, putaran generator menjadi lebih berat dan putaran turbin sedikit terhambat. Hal ini mungkin disebabkan oleh beban tambahan yang diberikan oleh dummy load resistor, yang menyerap energi berlebih dari generator untuk menjaga stabilitas sistem.
2. Pada saat tegangan berada pada atau di bawah 14 volt, tegangan akan dialihkan untuk mengisi baterai. Ini menunjukkan bahwa sistem memiliki mekanisme pengaturan yang baik untuk memastikan bahwa tegangan yang berlebih diserap oleh dummy load resistor, sementara tegangan yang stabil dan aman dialihkan untuk pengisian baterai, sehingga dapat menjaga efisiensi dan keandalan sistem secara keseluruhan.
3. Saran untuk kedepannya penelitian ini dapat dikembangkan lagi dari segi desain resistor beban dummy untuk mengurangi dampak negatif pada putaran generator dan turbin. Ini bisa mencakup penggunaan material yang lebih efisien atau pengaturan konfigurasi yang lebih optimal.
4. Pada bagian percobaan sensor tegangan, dan daya lebih dioptimalkan lagi supaya pembacaannya bisa akurat dan sesuai dengan pembacaan multimeter
5. Untuk pengukuran sensor arus harus dilakukan penelitian lebih lanjut.

v. Daftar Pustaka

- [1] D. Lambang Pristiandaru, "Potensi Energi Angin di Indonesia," Kompas, Mei 2023. [Online]. Available: <https://lestari.kompas.com/read/2023/05/10/100302486/potensi-energi-angin-di-indonesia-tersebar-luas-di-berbagai-wilayah?page=all>
- [2] K. A. Adeyeye, N. Ijumba, and J. Colton, "The Effect of the Number of Blades on the Efficiency of A Wind Turbine," IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., vol. 801, no. 1, p. 012020, Jun. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/801/1/012020.
- [3] A. Setiawan, M. N. Hidayat, and M. Nizar, "Analisis Kinerja Sistem Pengereman Turbin Savonius Pada Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Politeknik Negeri Malang," ELPOSYS, vol. 6, no. 3, pp. 127–132, Sep. 2019, doi: 10.33795/elposys.v6i3.127.

- [4] T. B. Prayogo, "Simulator Fungsi Dummy Load Menggunakan Kontrol Komputerise," *energi*, vol. 11, no. 2, pp. 197–202, Dec. 2019, doi: 10.33322/energi.v11i2.783.
- [5] A. Jamil, "Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)," Apr. 2022, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/360258659_Cara_Kerja_Pembangkit_Listrik_Tenaga_Bayu_PLTB
- [6] S. Pindado, A. Ramos-Cenzano, and J. Cubas, "Improved analytical method to study the cup anemometer performance," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 10, p. 107001, Oct. 2015, doi: 10.1088/0957-0233/26/10/107001.
- [7] M. Hansen, *Aerodynamics of Wind Turbines*, 0 ed. Routledge, 2015. doi: 10.4324/9781315769981.
- [8] D. Mulyadi, N. Mulyono, and D. Septianto, "Perancangan Polynomial Dummy Load untuk Motor Listrik Berbasis Arus Eddy 1000 Watt," *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Semina*, pp. 497–503, 5 Agustus 2021.
- [9] M. H. Riaz et al., "Micro hydro power plant dummy load controller," in *2018 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid (ICPESG)*, Mirpur Azad Kashmir: IEEE, Apr. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICPESG.2018.8384511.
- [10] A. Fitriani, I. Noor, and A. Jahrudin, "Rancang Bangun Alat Peraga Gaya Lorentz," *Navigation Physics : Journal of Physics Education*, vol. 5, no. 1, pp. 17–21, Jun. 2023.