

**ANALISA PENGARUH KECEPATAN ANGIN  
TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN  
VERTIKAL PROTOTIPE MODEL TULIP**

**TUGAS AKHIR**

**Di ajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana dari  
Universitas Fajar**

**Oleh :  
Syamsir Marwan  
NIM : 1920521021**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR  
MAKASSAR  
2023**

ANALISA PENGARUH KECEPATAN ANGIN  
TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN  
VERTIKAL PROTOTIPE MODEL TULIP

Oleh :

Syamsir Marwan

NIM : 1920521021

Menyetujui,

Tim Pembimbing

Tanggal 31/08/2023

Pembimbing I

Ir. Ahmad Thamrin Dahri, ST., MT., IPM  
NIDN.0919108103

Pembimbing II

Dr. Ir. Humayatul Ummah Svarif, ST., MT  
NIDN. 0923076801

Mengetahui,

Dekan

Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT  
NIDN. 0906107701

Ketua Program Studi

Dr. Ir. Humayatul Ummah Svarif, ST., MT  
NIDN. 0923076801

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir “Analisa Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Kinerja Turbin Angin Vertikal Prototipe Model Tulip” adalah karya seni orisinal saya dan setiap serta seluruh sumber acuan yang ditulis sesuai dengan panduan penulisan ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar, 31 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Syamsir Marwan

## ABSTRAK

**“Analisa Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Kinerja Turbin Angin Vertikal Prototipe Model Tulip”, Syamsir Marwan.** Kebutuhan energi Listrik di Indonesia semakin berkembang seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, sedangkan produksi rill sektor energi listrik belum dapat terpenuhi sepenuhnya karena masih bergantung pada energi fosil yang bersifat terbatas karena tidak dapat diperbaharui. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh kecepatan angin terhadap kinerja turbin angin vertikal prototipe model tulip. Adapun parameter yang digunakan adalah kecepatan angin 1 m/s – 5 m/s dan dengan beban berupa lampu 5 W, 12 W, 20 W. Hasil yang diperoleh, yaitu kecepatan angin 1 m/s yang belum dapat menggerakkan turbin angin, kemudian pada kecepatan angin 2 m/s menghasilkan daya sebesar 1,7 W, kemudian kecepatan angin 3 m/s menghasilkan daya sebesar 2,6 W, kecepatan angin 4 m/s menghasilkan daya generator sebesar 8,7 W , dan kecepatan 5 m/s menghasilkan daya generator sebesar 21,09 W. Pada saat turbin angin diberi pembebanan berupa lampu 5 W pada kecepatan angin 5 m/s daya generator menjadi 18,35 W, pada beban 12 W di kecepatan angin 5 m/s daya generator menjadi 13,86 W, dan pada saat diberi beban 20 W daya generator yang bisa dicapai hanya 10,74 W.

**Kata Kunci :** Kecepatan Angin, Turbin Angin, Daya Listrik

## ABSTRACT

**“Analysis of the Effect Of Wind Spin on the Performance of a Vertical Wind Turbin Prototype of the Tulip Model”, Syamsir Marwan.** The need for electrical energy in Indonesia is growing along with the increasing population, while the real production of the electric energy sector cannot be fully fulfilled because it still depends on fossil energy which is limited because it cannot be renewed. This study aims to analyze the effect of wind speed on the performance of a vertical wind turbine prototype of the tulip model. The parameters used are wind speed 1 m/s – 5 m/s and with a load of 5 W, 12 W, 20 W lamps. The results obtained are 1 m/s wind speed which cannot drive the wind turbine, then on a wind speed of 2 m/s produces a power of 1.7 W , then a wind speed of 3 m/s produces a power of 2.6 W, a wind speed of 4 m/s produces a generator power of 8.7 W, and a speed of 5 m/s produces a generator power of 21.09 W. When the wind turbine is loaded with a 5 W lamp at a wind speed of 5 m/s the generator power becomes 18.35 W, at a load of 12 W at a wind speed of 5 m/s the generator power becomes 13,86 W, and when given a load of 20 W the output power that can be achieved is only 10.74 W.

**Keywords :** Wind Speed, Wind Turbine, Electric Power

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini dengan judul “**Analisa Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Kinerja Turbin Angin Vertikal Prototipe Model Tulip**”. Karya tulis ini sebagai tugas akhir dan menjadi persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana.

Dalam penyelesaian karya tulis ini tak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak yang membantu secara langsung maupun yang membantu dalam do'a. Oleh karena itu, untuk kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Juti dan Sepreani Sumbia' yang selalu memberikan bantuan do'a bimbingan, dorongan dan semuanya.
2. Ibu Dr. Ir. Humayatul Ummah Syarif, ST., MT selaku ketua prodi teknik mesin universitas fajar juga sebagai pembimbing 2.
3. Bapak Ir. Ahmad Thamrin Dahri, ST., MT., IPM selaku pembimbing 1.
4. Seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Fajar yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat kepada penulis.
5. Serta saudara dan saudari yang selalu memberi dukungan serta do'a kepada penulis.
6. Teman-teman seperjuangan penulis di program studi teknik mesin Universitas Fajar angkatan 2019.

Dalam karya tulis ilmiah ini penulis menyadari banyak kekurangan dalam penulisannya, oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya bila ada kesalahan kata dan lain-lain.

Makassar, 31 Agustus 2023

Syamsir Marwan

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR ORISINALITAS .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xii
DAFTAR NOTASI .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
I.1    Latar Belakang .....	1
I.2    Rumusan Masalah .....	2
I.3    Tujuan Penelitian .....	2
I.4    Batasan Masalah.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA .....	3
II.1    Pembangkit Tenaga Listrik .....	3
II.2    Energi Angin .....	4
II.3    Pembangkit Listrik Tenaga Angin .....	7

II.4	Turbin Angin.....	8
II.4.1	Turbin angin sumbu horizontal (TASH).....	8
II.4.2	Turbin angin sumbu vertikal (TASV).....	11
II.5	Rumus Perhitungan.....	14
II.5.1	Daya Angin (Pa).....	14
II.5.2	Daya generator.....	15
II.5.3	Torsi.....	15
II.5.4	Efisiensi.....	15
II.7	Penelitian Terdahulu.....	16
BAB III	.....	20
METODOLOGI PENELITIAN	.....	20
III.1	Lokasi Dan Waktu Penelitian.....	20
III.2	Tabel Kegiatan.....	20
III.3	Alat Dan Bahan.....	21
III.3.1	Alat.....	21
III.3.2	Bahan.....	22
III.4	Metode Penelitian.....	23
III.5	Analisa Data.....	23
III.6	Prosedur Penelitian.....	23
III.6.1	Menyiapkan Peralatan.....	23
III.6.2	Pelaksanaan Penelitian.....	23
III.7	Teknik Pengumpulan Data.....	24
III.8	Bagan Alir Penelitian.....	25
BAB IV	.....	26
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	26

IV.1 Hasil Penelitian .....	26
IV.1.1 Pengujian Alat.....	26
IV.1.2 Pengambilan Data .....	28
IV.2 Pembahasan.....	29
IV.2.1 Kinerja Turbin Angin Tanpa Beban.....	29
IV.2.2 Daya Generator .....	30
IV.2.3 Torsi .....	33
IV.2.4 Efisiensi.....	37
IV.2.5 Kinerja Turbin Angin Dengan Penambahan Beban Lampu .....	42
BAB V.....	48
KESIMPULAN DAN SARAN.....	48
V.1 Kesimpulan .....	48
V.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	49
LAMPIRAN.....	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Sistem kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	5
Gambar II. 2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	7
Gambar II. 3 Turbin Angin .....	8
Gambar II. 4 Turbin Sumbu Horizontal.....	9
Gambar II. 5 Turbin Sumbu Vertikal.....	11

## DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel III. 1 Jadwal Kegiatan .....	20
Tabel III. 2 Alat.....	21
Tabel III. 3 Bahan .....	22
Tabel IV. 1 Hasil Pengukuran Turbin Tanpa Beban.....	29
Tabel IV. 2 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Generator .....	32
Tabel IV. 3 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Torsi.....	36
Tabel IV. 4 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi Turbin .....	40
Tabel IV. 5 Hasil Pengukuran Turbin Angin Beban Lampu 5 W .....	42
Tabel IV. 6 Hasil Pengukuran Turbin Angin Beban Lampu 12 W .....	42
Tabel IV. 7 Hasil Pengukuran Turbin Angin Beban Lampu 20 W .....	43
Tabel IV. 8 Perbandingan Daya Generator Terhadap Beban.....	45

## DAFTAR GRAFIK

Grafik IV. 1 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Generator.....	32
Grafik IV. 2 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Torsi.....	36
Grafik IV. 3 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi Turbin Angin .....	41
Grafik IV. 4 Tegangan Keluaran Generator Berbeban .....	44
Grafik IV. 5 Arus Keluaran Generator Berbeban .....	44
Grafik IV. 6 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Generator Berbeban ...	46

## DAFTAR NOTASI

$P_a$	= Daya Angin (W)
$\rho$	= Densitas Udara ( $1,22 \text{ Kg/m}^3$ )
$A$	= Luas Penampang Turbin ( $m^2$ )
$v$	= Kecepatan Angin (m/s)
$P_g$	= Daya Generator (W)
$V$	= Tegangan (Volt)
$I$	= Kuat Arus (Ampere)
$T$	= Torsi (Nm)
$n$	= Putaran Poros (rpm)
$\eta$	= Efisiensi (%)
$E_k$	= Energi Kinetik (N/m)
$m$	= Massa (Kg/s)

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Proses Pembuatan Turbin Angin Vertikal Model Tulip .....	52
<b>Lampiran 2</b> Pengangkutan Turbin Angin Tulip ke Lokasi Penelitian .....	54
<b>Lampiran 3</b> Proses Pengujian dan Pengambilan Data.....	55
<b>Lampiran 4</b> Lembar Pengambilan Data di Lapangan.....	58

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Seiring berjalannya waktu dan penduduk semakin berkembang, begitu pula dengan kebutuhan energi listrik yang semakin banyak. Dalam keadaan tersebut produksi riil sektor energi tidak dapat terpenuhi secara sepenuhnya. Untuk saat ini energi nasional masih bergantung pada energi fosil yaitu minyak bumi, batu bara, dan gas bumi. Namun energi ini termasuk energi yang tidak dapat diperbaharui jika energi ini habis maka diperlukan energi-energi baru (Adam, dkk, 2019). Selain itu penggunaan energi fosil juga dapat berdampak negatif terhadap lingkungan, baik itu secara langsung maupun tidak langsung seperti pemanasan global yang berdampak pada kerusakan ekologi (Wachid & Siregar 2018).

Untuk mengatasi ketergantungan terhadap energi fosil yang sifatnya terbatas maka kita dituntut untuk mengeksplorasi energi terbarukan untuk mencukupi energi kedepannya (Adam, dkk, 2019). Untuk memproduksi energi terbarukan dalam jumlah yang besar perlu memanfaatkan sumber energi yang mempunyai dampak minimum terhadap lingkungan. Salah satu energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan dan memiliki potensi besar untuk di kembangkan yaitu energi angin. Potensi angin yang dapat dikonversi kedalam bentuk energi lain seperti listrik. Didalam sistem konversi energi terdapat dua tantangan besar yaitu efisiensi energi keseluruhan dan kecepatan arah angin (Wachid & Siregar 2018).

Energi angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh secara gratis dengan jumlah yang banyak dan juga tersedia terus-menerus sepanjang tahun. Energi angin dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan turbin sebagai penggeraknya (Nurdiyanto & Haryudo, 2020).

Menurut Angraini & Hermawati (2020), energi angin di Indonesia saat ini tergolong rendah berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam jumlah besar. Walaupun demikian, potensi

angin di Indonesia hampir sepanjang tahun tersedia, sehingga sangat memungkinkan untuk mengembangkan alat pembangkit listrik dalam skala kecil.

Bila dilihat dari kecepatan angin di Indonesia dan pemanfaatan energi yang berdampak negatif terhadap lingkungan, maka turbin yang sesuai dengan kecepatan angin yang rendah adalah turbin vertikal prototipe model tulip. Turbin ini merupakan turbin tipe sumbu tegak yang rotornya dapat berputar untuk semua arah angin.

Berdasarkan latar belakang diatas yang telah diuraikan peneliti ingin mengetahui bagaimana kinerja turbin vertikal prototipe model tulip. Maka peneliti ingin melakukan penelitian dengan judul **“Analisa Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Kinerja Turbin Angin Vertikal Prototipe Model Tulip”**.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang dapat diambil dalam penelitian ini yaitu:

- 1) Bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap daya generator yang dihasilkan turbin angin ?
- 2) Bagaimana pengaruh daya generator setelah diberi beban lampu?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukan penelitian, yaitu :

- 1) Untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap daya generator yang dihasilkan turbin angin.
- 2) Untuk mengetahui pengaruh daya generator setelah diberi pembebanan berupa lampu LED 5 W, 12 W, dan 20 W.

## **I.4 Batasan Masalah**

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

- 1) Tidak mengukur putaran generator
- 2) Tidak menghitung daya di kecepatan tinggi putaran Turbin angin
- 3) Hanya menguji kinerja turbin angin pada kecepatan angin 1 m/s - 5 m/s.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Pembangkit Tenaga Listrik**

Pembangkit tenaga listrik merupakan bagian alat industri yang digunakan untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dengan berbagai jenis pembangkit seperti PLTA, PLTU, PLTB, PLTN dan sebagainya (Tama 2018). Menurut Suropto 2016, pembangkit tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang fungsinya dapat membangkitkan energi listrik dengan mengubah sumber lain menjadi energi listrik. Energi listrik pada zaman sekarang merupakan sumber energi utama bagi manusia seperti menggunakan bahan bakar fosil sebagai pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari (Tama 2018).

Sumber energi merupakan segala sesuatu yang ada dilingkungan yang mampu menghasilkan energi. Sumber energi dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu energi terbarukan dan energi tidak terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang dihasilkan dari berbagai sumber energi seperti matahari, angin, air, panas bumi, biomassa, energi ombak dan sebagainya. Kelebihan dari sumber energi terbarukan ini yaitu sumber energinya bersih atau bebas dari polusi yang dihasilkan dari sumber energi konvensional sebelumnya, selain itu sumber energinya tidak pernah habis. Sedangkan energi tidak terbarukan merupakan energi yang diperoleh dari sumber daya alam dan memerlukan waktu hingga jutaan tahun dalam proses pembentukannya seperti batu bara, minyak bumi, gas alam dan nuklir. Energi tersebut dikatakan tidak terbarukan karena jika pengambilan sumber dayanya secara berlebihan maka sulit mengganti sumber daya alam dengan jumlah yang sama (Yuniarti & Aji 2019).

Menurut Suropto (2016), unit pembangkit biasanya terdiri dari tiga komponen yaitu:

1. Penggerak mula, yang fungsinya dapat menghasilkan energi gerak berupa putaran poros kemudian digunakan untuk memutar generator

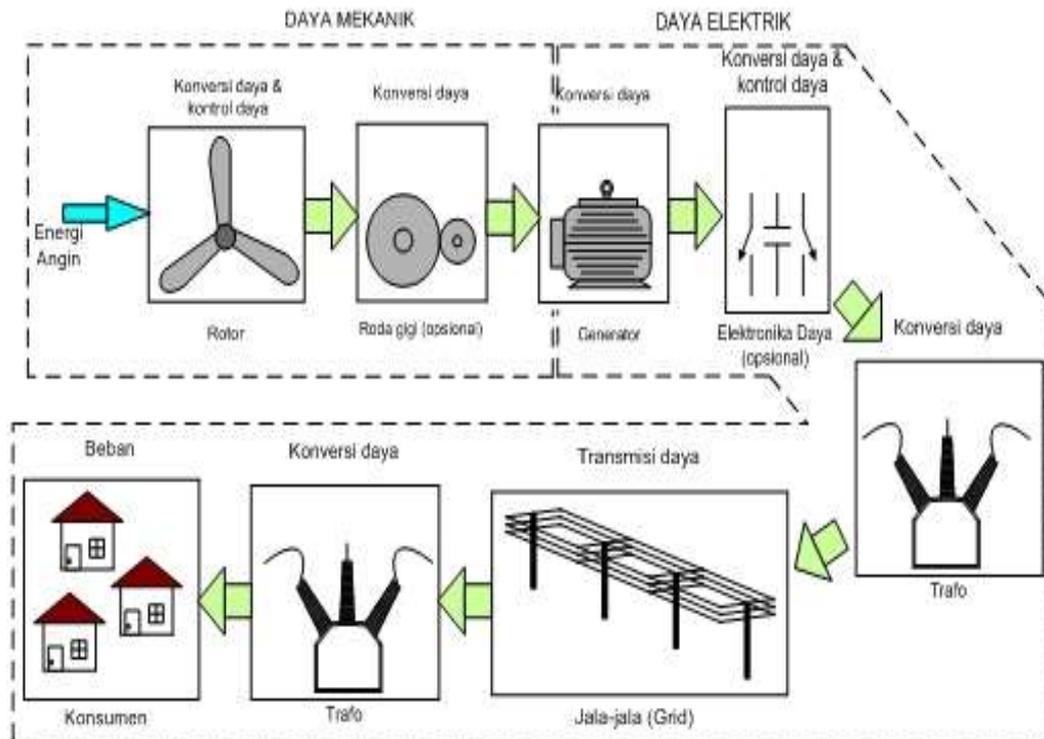
2. Generator, berfungsi untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik yang siap dikirimkan ke pusat beban.
3. Gardu induk, berfungsi untuk mengatur pengiriman energi dan untuk menyesuaikan level agar sesuai dengan tegangan pengiriman.

## **II.2 Energi Angin**

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur disuatu area. Angin dapat bergerak secara horisotal maupun vertikal dengan kecepatan yang dinamis. Pergerakan tersebut menyebabkan adanya energi kinetik yang ditimbulkan oleh angin (Stepanus dkk 2018).

Energi angin merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan kembali. Energi angin juga merupakan energi alternative yang baik karena selalu tersedia di alam. Energi angin merupakan energi yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk memanfaatkan putaran sudu-sudu kincir angin . Energi angin adalah salah satu energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi listrik domestik. Energi angin merupakan bentuk tidak langsung dari energi matahari karena angin terjadi akibat pemanasan yang tidak merata pada permukaan bumi oleh matahari sehingga terjadilah perbedaan tekanan pada atmosfer. Aliran angin yang bergerak dari daerah yang memiliki tekanan tinggi ke rendah, oleh karena itu energi angin juga merupakan suatu energi kinetik (Wicaksana 2020).

Menurut Fachri & Hendrayana (2017), pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), energi angin biasanya dimanfaatkan untuk memutar bagian yang bergerak , dimana energi angin dikonversikan untuk memutar bagian mekanik dan diubah kembali menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan maka dapat ditransmisikan dan didistribusikan untuk kebutuhan pelanggan-pelanggan listrik. Prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) seperti ditunjukkan pada gambar II.1 berikut:



Gambar II.1 Sistem kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Menurut Habibie dkk (Fuadi 2022), dua tahapan konversi dalam proses pemanfaatan energi angin yaitu aliran angin akan menggerakkan rotor yang akan menyebabkan rotor berputar sesuai angin yang bertiup dan putaran rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Dengan demikian energi angin dapat diubah menjadi energi listrik melalui kipas yang digerakkan melalui kipas yang digerakkan oleh angin, yang kemudian menggerakkan turbin yang di hubungkan dengan generator (Stepanus dkk 2018).

Listrik yang dihasilkan dari tahapan konversi tenaga angin akan bekerja secara optimal dimana angin berhembus cukup kencang di siang hari dibandingkan dengan di malam hari, namun biasanya penggunaan listrik akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasi hal tersebut, baiknya tidak digunakan langsung pada keperluan produk-produk elektronik namun terlebih dahulu disimpan dalam suatu baterai atau aki agar listrik yang akan dipakai besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja (Tama 2018).

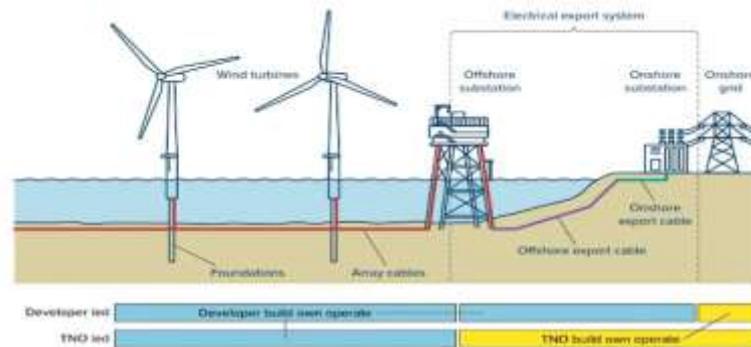
Angin adalah massa udara yang bergerak menjauh dari sumber energi utamanya, yaitu matahari. Karena panas matahari yang tidak tersebar merata di seluruh permukaan bumi berdampak pada angin itu sendiri. Tekanan udara di atmosfer bervariasi ketika ada lapisan udara hangat. Notosidjono berpendapat bahwa mengingat kedekatan Indonesia dengan garis khatulistiwa, secara alami negara ini memiliki potensi energi angin menengah.

Angin akan bergerak di permukaan bumi dikarenakan adanya perbedaan tekanan, dimana akan bergerak dari wilayah yang bertekanan tinggi ke wilayah bertekanan rendah. Indonesia rata-rata suhunya tinggi karena terletak pada garis ekuator dan akan mendapat sinar matahari setiap tahun. Dimana sudut datangnya matahari besar atau tegak lurus sehingga menyebabkan adanya perbedaan tekanan yang menyebabkan angin berhembus. Cuaca dan iklim dipengaruhi oleh kondisi angin. Penyebab hembusan atau tiupan di suatu tempat atau di darat adalah pergerakan angin. Keadaan pantai sendiri mempengaruhi kecepatan angin di sepanjang pantai dimana perbedaan waktu siang dan malam berpengaruh besar terhadap kecepatan angin di setiap wilayah pesisir pantai.

Pemanfaatan angin darat dan angin laut di pantai memiliki hubungan materi fisis, yakni pada materi fisika yaitu tentang perpindahan kalor. Mengingat angin darat dan angin laut sama-sama merupakan bentuk konveksi alami. Angin laut adalah sebutan untuk pergerakan udara dari laut ke darat yang terjadi sepanjang hari sebagai akibat dari pemanasan daratan yang lebih cepat dibandingkan dengan laut. Hal ini mengakibatkan udara panas di darat naik dan mengisi daerah tersebut dengan udara yang lebih dingin dari permukaan laut.

Nelayan biasanya menggunakan angin laut untuk melakukan perjalanan kembali ke darat setelah berlayar. Berbanding terbalik dengan angin darat pada situasi malam hari. Angin dari darat akan lebih dingin daripada angin dari permukaan laut. Akibatnya udara panas di laut naik dan permukaan laut dipenuhi udara dingin dari daratan. Akibatnya terjadi angin dari darat ke laut yang dikenal dengan angin darat. Nelayan biasanya menggunakan angin darat ini untuk mencari ikan di laut. (Bektiarso et al., 2023)

### II.3 Pembangkit Listrik Tenaga Angin



Gambar II. 2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin adalah pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik (Aprinasyah dkk 2017). Pembangkit listrik tenaga angin atau pembangkit listrik tenaga bayu merupakan salah satu listrik yang terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi kerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan pembangkit listrik terbarukan lainnya. Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dapat bekerja dengan memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk kedalam area turbin untuk memutar baling-baling atau kincir angin, kemudian energi akan diteruskan ke generator untuk menghasilkan atau membangkitkan energi listrik. Kriteria yang harus dipenuhi untuk mendapatkan daya yaitu dilihat dari kecepatan angin yang membutuhkan sekitar 2 sampai 17 meter/detik dan konstan, serta kestabilan angin. Jika daya yang dihasilkan akan sedikit bahkan turbin tidak bisa berputar artinya angin terlalu pelan, sebaliknya jika angin terlalu kencang maka dapat merusak turbin (Fuadi 2022).

Pembangkit ini dapat merubah energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem ini sangat berkembang pesat karena mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam. (Aprinasyah dkk 2017). Secara umum, sistem alat ini memanfaatkan tiupan angin untuk memutar motor. Hembusan angin yang ditangkap oleh baling-baling, dan putarannya tersebut akan menghasilkan putaran motor yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik (Fuadi 2022).

## II.4 Turbin Angin



*Gambar II. 3 Turbin Angin*

Turbin angin (*wind turbin*) merupakan salah satu mesin fluida yang dapat merubah energi kinetik menjadi energi mekanik putaran poros. Turbin angin pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi dan sebagainya. Turbin angin banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan Negara-negara Eropa lainnya. Kini turbin angin lebih banyak digunakan masyarakat untuk kebutuhan listrik, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (PLTD, PLTU dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui. Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi gerak angin menjadi energi mekanik putaran poros yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator (Achdi 2017).

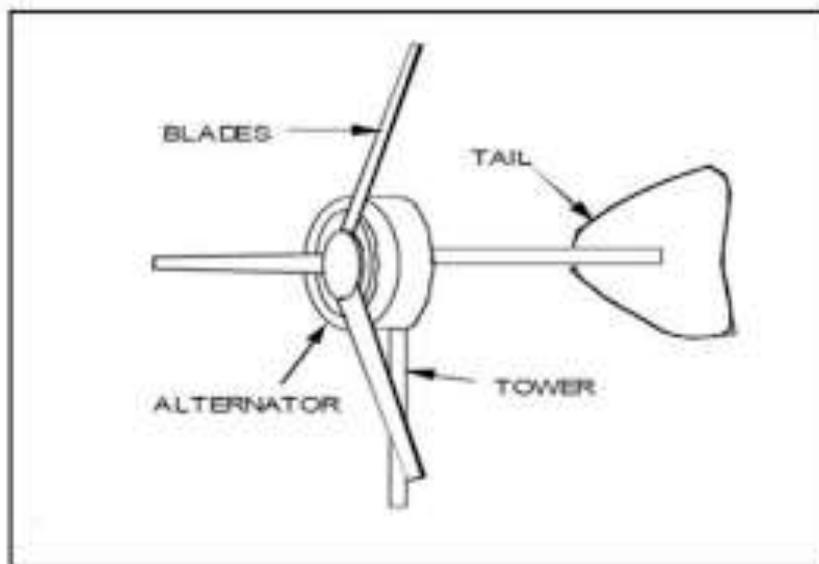
Menurut Wicaksana (2020), terdapat dua jenis turbin yaitu :

### II.4.1 Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

Turbin angin horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik dipuncak menara. Turbin angin yang berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana, sedangkan yang menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor yaitu turbin yang

berukuran besar. Kincir yang pergerakannya lebih pelan dapat diubah menjadi lebih cepat berputar karena sebagian besar memiliki sebuah gearbox.

Turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara karena sebuah menara menghasilkan turbulensi. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar tidak terdorong menuju menara oleh angin kecepatan tinggi. Selain itu, bilah-bilah diletakkan didepan menara pada jarak tertentu dan sedikit di miringkan. Karena turbulensinya dapat menyebabkan kerusakan struktur menara dan reailitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi empat bagian yaitu turbin angin satu sudu (*single blade*), turbin angin dua sudu (*double blade*), turbin angin tiga sudu (*three blade*) dan turbin angin banyak sudu (*multi blade*).



*Gambar II. 4 Turbin Sumbu Horizontal*

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki keunggulan atau kelebihan yaitu:

1. Memiliki efisiensi yang tinggi karena blade selalu bergerak tegak lurus terhadap angin.
2. Tawernya tinggi memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar.

Adapun keterbatasan atau kekurangan dari turbin angin sumbu horizontal yaitu:

1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkat dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin
2. TASH yang tinggi sulit dipasang karena membutuhkan Derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil
3. Kontruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox dan generator
4. TASH yang tinggi dapat memengaruhi radar airport
5. Ukurannya yang tinggi merintangangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan *landscape*
6. Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan turbulensi

Menurut Achdi (2017), turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. *Upwind*, turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin. Rotor pada turbin tersebut terletak didepan turbin yang posisinya mirip dengan pesawat terbang yang didorong oleh baling-baling. Untuk menjaga turbin tetap menghadap arah angin, diperlukan mekanisme yaw seperti ekor turbin. Adapun keuntungannya yaitu udara akan mulai menekuk disekitar menara sebelum berlal, sehingga jika kehilangan daya dari gangguan yang terjadi.
2. *Downwind*, turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor disisi bagian belakang turbin. Bentuk *nacelle* didesain untuk menyesuaikan arah angin. Adapun keunggulan dari jenis turbin angin ini yaitu sudu rotor dapat lebih fleksibel karena tidak ada bahaya tabrakan dengan menara. Selain itu, biaya pembuatan sudu lebih murah, mengurangi tegangan pada tower selama keadaan angin dengan kecepatan tinggi karena melentur memberikan beban angin didistribusikan secara langsung kesudu dibandingkan ke menara. Sudu yang flesibel juga memiliki kekurangan

dimana kelenturannya menyebabkan keletihan sudu. Mesin downwind yang berada dibelakang menara menyebabkan turbulensi aliran dan meningkatkan kelelahan pada turbin.

#### **II.4.2 Turbin angin sumbu vertikal (TASV)**

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) merupakan turbin angin poros yang rotasinya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Turbin vertikal pada dasarnya tidak harus diarahkan keangin dan sangat berguna bila berada ditempat yang anginnya bervariasi. Dengan sumbu yang vertikal, generator dan gearbox bisa ditempatkan didekat tanah sehingga menara tidak perlu menyokongnya dan tentunya lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Turbin sumbu tegak ini biasanya dipasang lebih dekat ke dasar seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan karena sulit dipasang diatas menara berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal.



*Gambar II. 5 Turbin Sumbu Vertikal*

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki keunggulan atau kelebihan yaitu:

1. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar
2. Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah sehingga pemeliharaan bagian-bagiannya jadi lebih mudah
3. TASV memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi
4. Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada tiupan berbentuk lingkaran (TASH)
5. TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah dari pada TASH karena biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10km/jam
6. TASV biasanya memiliki tip *speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bila dengan laju angin) yang lebih rendah sehingga kecil kemungkinannya rusak disaat angin berhembus sangat kencang
7. TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun
8. TASV yang ditempatkan didekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit)
9. TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah
10. Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung

Adapun kekurangan dari turbin angin sumbu vertikal yaitu:

1. Kebanyakan TASV memproduksi energinya hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar
2. TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi
3. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah dan membutuhkan energi untuk mulai berputar

4. Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karna semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan dipuncak bantalan meningkatkan daya dorong kebawah saat angin bertiup.

Menurut Achdi (2017), turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yang dilihat dari prinsip aerodinamis rotor yang digunakan yaitu:

1. Turbin angin *darrieus*

Turbin angin *darrieus* dikenal sebagai turbin *eggbeater*. Turbin angin darrieus pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin darrieus merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamis dengan memanfaatkan gaya *lift* pada *airfoil* dalam mengekstrak energi angin.

Turbin darrieus memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan turbin angin savonius sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin darrieus pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi turbin angin darrieus disebut sebagai turbin angin H.

2. Turbin angin *savonius*

Turbin angin *savonius* pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu yang berbentuk setengah silinder yang dirangkai sehingga membentuk S, satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lain berbentuk cekung yang dilalui angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (*drag*) saat mengekstrak angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar daripada permukaan cembung. Oleh sebab itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar dari pada sisi lain sehingga rotor berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan

potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan angin yang melaluinya.

Dengan memanfaatkan gaya hambat turbin angin savonius memiliki putaran dan daya yang rendah dibandingkan dengan turbin angin darrieus meskipun demikian, turbin savonius tidak memerlukan energi awal untuk memulai rotor berputar yang merupakan keunggulan turbin ini dibanding turbin darrieus. Daya dan putaran yang dihasilkan turbin savonius relative rendah, sehingga pada penerapannya digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air. Turbin ini kurang sesuai digunakan untuk pembangkit listrik karena tip *speed ratio* dan daya yang relative rendah.

## II. 5 Rumus Perhitungan

### II.5.1 Daya Angin (Pa)

Angin merupakan udara yang bergerak diakibatkan oleh adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya dan juga diakibatkan karena rotasi bumi. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutarakan sudu yang terdapat pada kincir angin, dimana sudu ini terhubung dengan poros dan memutarakan poros yang telah terhubung dengan generator dan akan menimbulkan arus listrik. Energi yang dihasilkan angin dapat di hitung menggunakan rumus:

- 1) Udara yang memiliki massa (m) dan kecepatan (v) akan menghasilkan energi kinetik sebesar:  $E_k = \frac{1}{2}mv^2(Nm)$
- 2) Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan (v) dan melewati daerah seluas (A) yaitu:  $V = v \cdot A$
- 3) Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan  $\rho$  yaitu:  $m = \rho \cdot A \cdot v (kg/s)$
- 4) Substitusi persamaan (3) ke persamaan (1) menghasilkan daya angin yang menggerakkan turbin. (Herrapstanti dkk, 2020)

$Pa = \frac{1}{2} \rho Av^3$	..... ( Persamaan 1 )
------------------------------	-----------------------

Keterangan

$P_a$  = Daya Angin (W)

$\rho$  = Densitas Udara ( $1,22 \text{ Kg/m}^3$ )

$A$  = Luas Penampang Turbin ( $m^2$ )

$v$  = Kecepatan Angin (m/s)

### II.5.2 Daya generator

Besarnya daya generator dapat diketahui dengan mengukur besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan. Daya generator dapat dihitung dengan menggunakan rumus: (Herraprastanti dkk, 2020)

$$P_g = V \cdot I \dots\dots\dots ( \text{Persamaan 2} )$$

Keterangan :

$P_g$  = Daya Generator (W)

$V$  = Tegangan (V)

$I$  = Kuat Arus (A)

### II.5.3 Torsi

Torsi adalah sebuah gaya yang bekerja pada poros yang dihasilkan oleh gaya dorong pada sumbu turbin angin, dimana gaya dorong ini memiliki jarak terhadap sumbu poros yang berputar. Torsi sebuah turbin angin dapat dihitung menggunakan rumus: (Herraprastanti dkk, 2020)

$$T = \frac{P_g}{2 \pi n} \dots\dots\dots ( \text{Persamaan 3} )$$

Keterangan :

$T$  = Torsi (N/m)

$P_g$  = Daya Generator (W)

$n$  = Putaran Poros (Rpm)

### II.5.4 Efisiensi

Efisiensi merupakan kinerja dari suatu alat yang membandingkan antara daya generator dengan daya angin. Efisiensi dapat dihitung menggunakan rumus, yaitu: (Valentino dkk, 2018)

$$\eta = \frac{P_g}{P_a} \times 100\% \dots\dots\dots ( \text{Persamaan 4} )$$

Keterangan :

H = efisiensi

P<sub>g</sub> = Daya Generator

P<sub>a</sub> = Daya Angin

## II.7 Penelitian Terdahulu

Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul	Hasil
1	1.Immanuel O. Silla 2.Arifin Sanusi 3. Yeremias M.Pell	ANALISIS KINERJA TURBIN SAVONIUS SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF	Hasil perhitungan dan analisa yang didapatkan: 1. Kecepatan rata-rata angin yang terukur adalah 8.26 m/s mampu memutar turbin savonius dengan putaran rata-rata sebesar 654 rpm dan putaran rotor tersebut menghasilkan torsi turbin sebesar 0.33 N.m 2. Berdasarkan putaran turbin, maka diperoleh koefisien torsi (CT) sebesar 8.7% pada TSR sebesar 0.1 3. Berdasarkan putaran turbin, maka diperoleh koefisien daya (CP) sebesar 2.8%, pada TSR sebesar 0.6

2	Fathi Rahma Susianto	ANALISIS KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE H-DARRIEUS DENGAN NACA 0015 PADA GEDUNG PERKANTORAN	<p>Hasil pengujian yang didapatkan yaitu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kecepatan angin sebesar 0,03-8,63 m/s dengan kecepatan rata-rata 3,55 m/s. kondisi angin ini mempengaruhi kinerja TASV.</li> <li>2. TASV dengan jumlah bilah sudu 300 memiliki kinerja terbaik dibandingkan variasi lainnya.</li> <li>3. Daya keluaran tertinggi adalah 0,22 watt pada kecepatan angin 7,28 m/s. nilai efisiensi maksimum adalah 1,41%.</li> </ol>
3	1. Subagyo 2. Basir	ANALISA KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TANPA DENGAN PENAMBAHAN VERTICAL STATOR	<p>Hasil analisa analitik terhadap turbin savonius 6-blade dengan dan tanpa VSA yaitu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rancangan turbin 6-blade tanpa VSA dihasilkan daya 0.112 watt, sedangkan turbin dengan VSA menghasilkan daya sebesar 0.162 watt</li> <li>2. Performansi turbin savonius 6-blade bekerja optimal pada kecepatan angin 6m/s</li> <li>3. Berdasarkan grafik koefisien daya dapat diamati bahwa turbin savonius 6-blade dengan vertical stator assembly memiliki performansi yang lebih bagus sebesar 66.3%</li> </ol>

4	Mariska Lustia Dewi	ANALISIS KINERJA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL DENGAN MODIFIKASI ROTOR SAVONIUS L UNTUK OPTIMASI KINERJA TURBIN	<p>Hasil yang didapatkan yaitu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kecepatan putar terbesar dialami oleh turbin 1 dengan <math>\theta=20^\circ</math> dan putaran terkecil dialami oleh turbin 8 dengan <math>\theta=80^\circ</math> untuk setiap perubahan kecepatan angin</li> <li>2. Semakin besar sudut kelengkungan turbin , jari-jari turbin semakin besar, ini menyebabkan gaya hambat yang dialami turbin pun semakin besar sehingga kecepatan putar turbin berkurang</li> <li>3. Kecepatan putar turbin bertambah sebanding dengan penambahan kecepatan angin</li> <li>4. Nilai TSR maksimum untuk setiap turbin savonius L modifikasi terjadi ketika kecepatan angin sebesar 4,6 m/s</li> <li>5. Semakin besar jari-jari turbin, semakin besar pula torsinya, namun putaran yang dihasilkan turbin semakin kecil</li> </ol>
5	1. M. Andi Wardhana 2. M. Irfansyah 3. M. Firman	ANALISA KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU HORISONTAL	<p>Hasil yang didapatkan yaitu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kecepatan angin berpengaruh terhadap kecepatan poros yang dihasilkan turbin, makin besar kecepatan anginnya maka semakin tinggi/besar putaran</li> </ol>

			<p>yang dihasilkan</p> <p>2. Turbin dengan jumlah sudu 2 menghasilkan putaran yang lebih tinggi yaitu 163,08 Rpm pada kecepatan angin 6 m/s. sedangkan jumlah sudu 3 menghasilkan putaran lebih rendah yaitu 133,25 Rpm pada kecepatan angin 6 m/s</p> <p>3. Torsi yang didapatkan pada jumlah sudu 2 lebih rendah pada kecepatan angin 6 m/s. sedangkan sudu 3 akan menghasilkan torsi yang lebih besar pada kecepatan angin 6 m/s</p>
--	--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### III.1 Lokasi Dan Waktu Penelitian

Pengujian dan penelitian kinerja Turbin Vertikal Prototipe model tulip untuk daya yang dihasilkan, akan dilakukan di lokasi yang kecepatan angin mencapai 5 m/s. Waktu penelitian ditargetkan selama 4 bulan terhitung mulai bulan Mei sampai Agustus 2023.

#### III.2 Tabel Kegiatan

Tabel III. 1 Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Jadwal kegiatan															
		Bulan Pelaksanaan 2023															
		Mei				Juni				Juli				Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan	■	■														
2	Studi literatur			■	■												
3	Pengajuan judul					■											
4	Penyusunan proposal						■	■									
5	Asistensi proposal								■	■							
6	Seminar Proposal									■							
7	Pengujian Alat dan Pengambilan Data										■	■	■				
8	Penyusunan Hasil												■				
9	Asistensi Hasil													■			
10	Seminar Hasil														■		
11	Asistensi															■	
12	Ujian Tutup															■	

### III.3 Alat Dan Bahan

#### III.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian Kinerja Turbin Vertikal Prototipe model tulip :

Tabel III. 2 Alat

No.	Gambar Alat	Nama Alat
1.	 Anemometer	Anemometer
2.	 Tachometer	Tachometer
3.	 AVOmeter	AVOmeter

### III.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

Tabel III. 3 Bahan

NO.	Gambar Bahan	Nama Bahan
1.		Turbin Vertikal Model Tulip
2.		Pulley dan Vbelt
3.		Generator
4.		Kabel
5.		Bola Lampu
6.		Fitting

### **III.4 Metode Penelitian**

Beberapa metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini, yaitu :

1) Penelitian Lapangan

Melakukan Observasi terhadap lokasi yang memungkinkan turbin berdiri tegak dengan keseimbangan yang sempurna.

2) Kajian Pustaka

Kajian dari beberapa sumber referensi jurnal maupun atikel sebagai landasan umum penelitian ini di lakukan dan juga melihat hasil penelitian dari beberapa sumber referensi yang telah didapatkan.

3) Pengujian Alat

Tahapan metode ini dilakukan dengan beberapa prosedur yang telah disiapkan .Pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian kinerja turbin dan daya yang dihasilkan generator dengan variasi kecepatan angin.

### **III.5 Analisa Data**

Analisis data yang akan dilakukan yaitu bervariasi kecepatan angin untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap daya yang dihasilkan dan pengaruh penambahan beban pada turbin angin.

### **III.6 Prosedur Penelitian**

Untuk prosedur penelitian kinerja pada alat Pembangkit Listrik tenaga angin, yaitu turbin vertikal prototipe model tulip dengan variasi kecepatan angin.

#### **III.6.1 Menyiapkan Peralatan**

Prosedur diawali dengan menyiapkan segala peralatan yang dibutuhkan untuk pengambilan data.

#### **III.6.2 Pelaksanaan Penelitian**

Pengukuran kecepatan angin yang menggerakkan turbin, dengan waktu yang telah ditentukan, kemudian mengukur tegangan yang dihasilkan oleh generator.

1. Pengukuran kecepatan angin

- a. Mengukur kecepatan angin dengan anemometer pada variasi angin mulai dari 1 m/s sampai dengan 5 m/s.

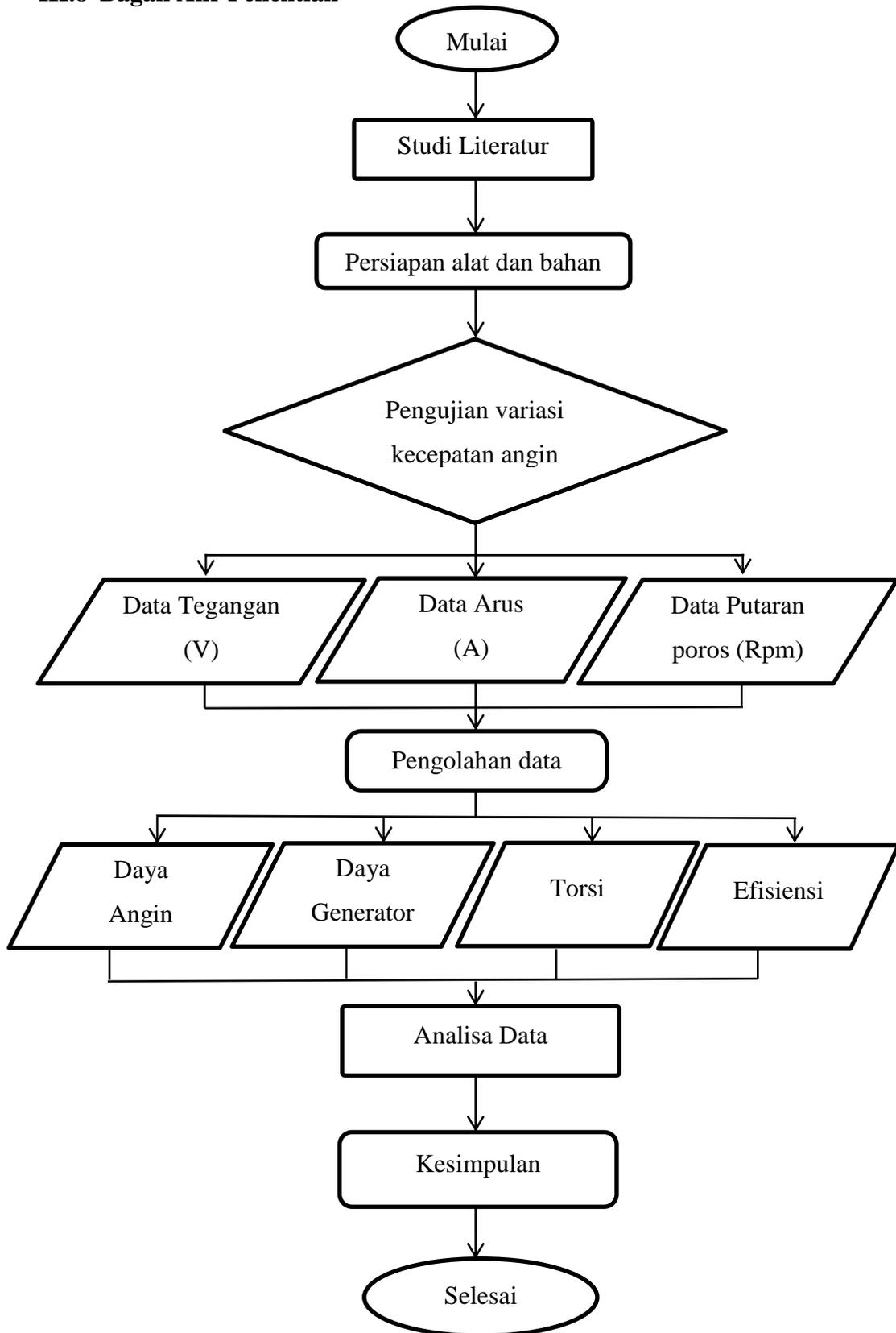
- b. Mencatat hasil dari pengukuran yang tertera di anemometer.
2. Pengukuran Kelistrikan
- a. Pengukuran kelistrikan yang dilakukan adalah pengukuran arus listrik, dan tegangan yang dihasilkan oleh generator dalam variasi kecepatan angin yang telah ditentukan.
  - b. Kemudian, mencatat setiap hasil pengukuran yang tertera di Multitester.

### **III.7 Teknik Pengumpulan Data**

Teknik Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan cara mengukur kecepatan angin yang menggerakkan turbin angin sehingga mampu menghasilkan energi listrik dengan melakukan variasi kecepatan angin, kemudian menghitung dengan rumus persamaan.

Pengukuran kelistrikan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara pengaruh kecepatan angin untuk memutar turbin sehingga menghasilkan tegangan pada output generator yang diputar turbin dan ada poros sebagai penghubung. Pengukuran kelistrikan di output generator menggunakan alat berupa AVO meter untuk mengetahui tegangan listrik, dan besarnya arus listrik yang dihasilkan oleh generator.

### III.8 Bagan Alir Penelitian



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Hasil Penelitian

##### IV.1.1 Pengujian Alat

Pengujian Turbin angin vertikal prototipe model tulip dilakukan sebanyak tiga kali di lokasi yang berbeda – beda, yaitu

1. Pengujian Pertama

Tempat : Danau Mawang (Kelurahan Borongloe Kecamatan Somba Opu)

Hari : Minggu 30 Juli 2023,

Pukul : 13: 00 – 14: 00 wita

Pada saat pengujian alat, kecepatan angin maksimum yang bisa dicapai yang terlihat di alat ukur Anemometer hanya mencapai 3,2 m/s , Putaran poros turbin angin sebesar 45,2 Rpm, dengan tegangan listrik 23 V, dan kuat arus listrik sebesar 0,14 A. Untuk mengetahui daya generator yang dihasilkan dapat dihitung dengan (persamaan 2). (Herraprastanti dkk, 2020)

Diketahui ;

$$V = 32 \text{ V}$$

$$I = 0,14 \text{ A}$$

Ditanyakan :

$$P_g = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$P_g = V \cdot I$$

$$= 23 \times 0,14$$

$$= 3,22 \text{ W}$$

Keterangan :

$P_g$  = Daya Generator (W)

$V$  = Tegangan (V)

$I$  = Kuat Arus (A)

Daya generator yang dihasilkan pada kecepatan maksimum turbin angin di Danau Mawang, yaitu kecepatan 3,2 m/s sebesar 3,22 W.

## 2. Pengujian Kedua

Tempat : Pantai Batu Baru (Kota Makassar Sulawesi Selatan)

Hari : Rabu 02 Agustus 2023,

Pukul : 15:00 – 18:00 wita

Pada saat pengujian alat, kecepatan angin maksimum yang bisa dicapai yang terlihat di alat ukur Anemometer hanya mencapai 2,6 m/s , Putaran poros turbin sebesar 37,8 Rpm, dengan tegangan listrik 16,2 V, dan kuat arus listrik sebesar 0,11 A. Untuk mengetahui daya generator yang dihasilkan dapat dihitung dengan (persamaan 2). (Herraprastanti dkk, 2020)

Diketahui ;

$$V = 16,2 \text{ V}$$

$$I = 0,11 \text{ A}$$

Ditanyakan :

$$P_g = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$P_g = V \cdot I$$

$$= 16,2 \times 0,11$$

$$= 1,78 \text{ W}$$

Keterangan :

$P_g$  = Daya Generator (W)

$V$  = Tegangan (V)

$I$  = Kuat Arus (A)

Daya generator yang dihasilkan pada kecepatan maksimum turbin angin di Pantai Batu Baru, yaitu kecepatan 3,2 m/s sebesar 1,78 W.

## 3. Pengujian Ketiga

Tempat : Pantai Tanjung Bayang (Kota Makassar Sulawesi Selatan)

Hari : Jum'at 04 Agustus 2023,

Pukul : 09:00 – 17:30 Wita.

Pada saat pengujian alat, kecepatan angin maksimum yang bisa dicapai yang terlihat di alat ukur Anemometer yaitu 5,3 m/s , Putaran poros turbin sebesar 82,0 Rpm, dengan tegangan listrik 41 V, dan kuat arus listrik sebesar 0,61 A.

Untuk mengetahui daya generator yang dihasilkan dapat dihitung dengan (persamaan 2). (Herrapstanti dkk, 2020)

Diketahui ;

$$V = 41 \text{ V}$$

$$I = 0,61 \text{ A}$$

Ditanyakan :

$$P_g = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$P_g = V \cdot I$$

$$= 41 \times 0,61$$

$$= 25,01 \text{ W}$$

Keterangan :

$P_g$  = Daya Generator (W)

$V$  = Tegangan (V)

$I$  = Kuat Arus (A)

Daya generator yang dihasilkan pada kecepatan maksimum turbin angin, yaitu kecepatan 5,3 m/s sebesar 25,01 W.

#### **IV.1.2 Pengambilan Data**

Pada saat pengujian turbin angin yang pertama yaitu di Danau Mawang, kecepatan angin hanya mencapai 3,2 m/s dan tidak memenuhi untuk variasi kecepatan angin yang diinginkan, kemudian yang kedua pengujian yang dilaksanakan di Pantai Batu Baru Kota Makassar juga tidak memenuhi untuk kecepatan angin yang dibutuhkan. Kemudian pada pengujian yang ketiga yang dilakukan di Pantai Tanjung Bayang kecepatan angin maksimumnya mencapai 5,2 m/s, dan ini sesuai dengan variasi kecepatan angin yang dibutuhkan.

Cara pengambilan data yang dilakukan, yaitu dengan mengukur kecepatan angin dengan menggunakan anemometer kemudian mengukur tegangan dan kuat arus dengan AVOMeter, dan mengukur putaran poros dengan menggunakan Tachometer, dengan bervariasi kecepatan angin mulai dari 1 m/s – 5 m/s, dan dengan penambahan beban lampu sebesar 5 W, 12 W, dan 20 W.

## IV.2 Pembahasan

### IV.2.1 Kinerja Turbin Angin Tanpa Beban

Setelah dilakukan pengujian kinerja turbin angin tanpa diberi beban, yaitu dengan bervariasi kecepatan angin 1 m/s – 5 m/s, maka di dapatkan data tegangan listrik, arus listrik, dan putaran poros yang diperlihatkan dalam tabel dibawah ini.

*Tabel IV. 1 Hasil Pengukuran Turbin Tanpa Beban*

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan ( V )	Kuat Arus (A)	Putaran Poros (Rpm)
1.	1 m/s	-	-	-
2.	2 m/s	13	0,09	29,5
3.	3 m/s	20,1	0,13	44,7
4.	4 m/s	29,5	0,30	64,0
5.	5 m/s	37	0,57	79,3

Dari tabel IV.1 hasil pengujian sebanyak 5 kali variasi angin yaitu kecepatan angin 1 m/s, angin yang masuk di sudu turbin belum memungkinkan untuk menggerakkan turbin angin. Di Kecepatan angin 2 m/s menghasilkan tegangan listrik sebesar 13 V, kuat arus listrik 0,09 A, dan putaran poros sebesar 29 Rpm. Kemudian pada kecepatan angin 3 m/s menghasilkan tegangan listrik 20,1 V, dengan kuat arus listrik 0,13 A, dan putaran poros 44,7 Rpm. Pada kecepatan angin 4 m/s menghasilkan tegangan listrik 29,5 V, dengan kuat arus listrik 0,30 A, dan putaran poros 64,0 Rpm. Pada kecepatan angin 5 m/s menghasilkan tegangan listrik 37 Volt, dengan kuat arus listrik 0,57 A, dan putaran poros sebesar 79,3 Rpm.

## IV.2.2 Daya Generator

Daya Generator adalah perkalian nilai tegangan dan arus yang terukur pada pengujian yang telah dilakukan. Dari hasil pengukuran pada tabel IV.1, maka dilakukan pengolahan data untuk mengetahui daya generator dengan menggunakan rumus (Persamaan 2). (Herraprastanti dkk, 2020)

### 1. Pada kecepatan angin 2 m/s

Diketahui :

$$V = 13 \text{ V}$$

$$I = 0,09 \text{ A}$$

Ditanyakan :

$$P_g = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$P_g = V \cdot I$$

$$= 13 \times 0,9$$

$$= 1,17 \text{ W}$$

Keterangan :

$P_g$  = Daya Generator (W)

$V$  = Tegangan (V)

$I$  = Kuat Arus (A)

### 2. Pada kecepatan angin 3 m/s

Diketahui :

$$V = 20,1 \text{ V}$$

$$I = 0,13 \text{ A}$$

Ditanyakan :

$$P_g = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$P_g = V \cdot I$$

$$= 20,1 \times 0,13$$

$$= 2,613 \text{ W}$$

Keterangan :

$P_g$  = Daya Generator (W)

V = Tegangan (V)

I = Kuat Arus (A)

**3. Pada kecepatan angin 4 m/s**

Diketahui :

V = 29,5 V

I = 0,30 A

Ditanyakan :

Pg= ... ?

Penyelesaian :

Pg= V . I

= 29,5 x 0,30

= 8,85 W

Keterangan :

Pg = Daya Generator (W)

V = Tegangan (V)

I = Kuat Arus (A)

**4. Pada kecepatan angin 5 m/s**

Diketahui :

V = 37 V

I = 0,57 A

Ditanyakan :

Pg= ... ?

Penyelesaian :

Pg= V . I

= 37 x 0,57

= 21,09 W

Keterangan :

Pg = Daya Generator (W)

V = Tegangan (V)

I = Kuat Arus (A)

Dari hasil pengolahan data di atas maka di dapatkan pengaruh kecepatan angin terhadap daya generator pada kecepatan 1 m/s sampai 5 m/s yang diperlihatkan dalam tabel berikut ini.

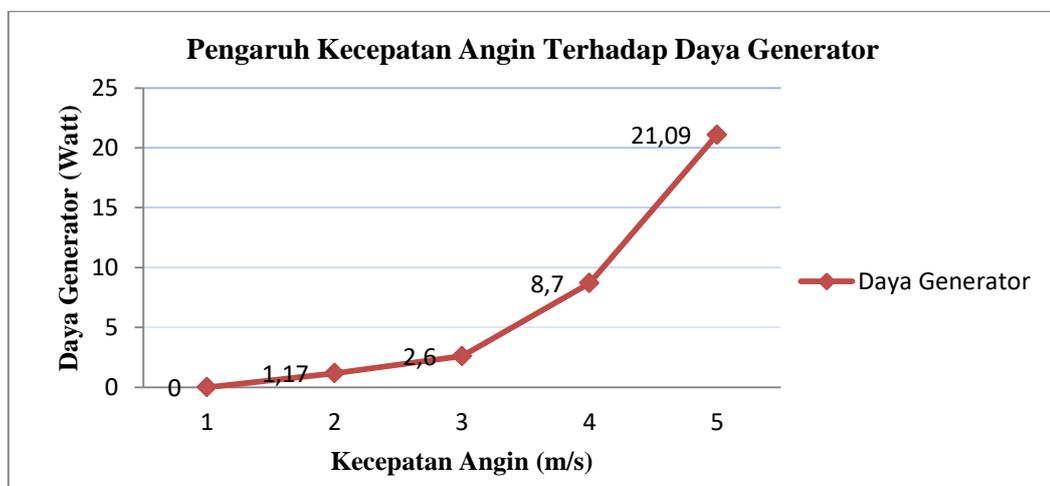
*Tabel IV. 2 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Generator*

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Generator (W)
1.	1 m/s	0
2.	2 m/s	1,17
3.	3 m/s	2,613
4.	4 m/s	8,85
5.	5 m/s	21,09

Dari Tabel IV.2 di atas, yaitu pengaruh kecepatan angin terhadap daya generator, yaitu Pada kecepatan angin 1 m/s dengan daya generator 0 W , kecepatan angin 2 m/s dengan daya generator 1,17 W, kecepatan angin 3 m/s dengan daya generator 2,61 W, kecepatan angin 4 m/s dengan daya generator 8.85 W, dan kecepatan angin 5 m/s dengan daya generator 21,09 watt.

Dari variasi kecepatan angin 1 m/s sampai 5 m/s pengaruhnya terhadap daya generator di perlihatkan perbandingannya pada grafik berikut.

*Grafik IV. 1 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Generator*



Terlihat pada grafik IV.1 pengaruh kecepatan angin terhadap daya generator dapat dijelaskan bahwa semakin besar kecepatan angin yang masuk ke sudu-sudu turbin dan menggerakkan turbin angin maka daya generator semakin meningkat, sehingga grafik kecepatan angin berbanding lurus dengan daya generator, dimana daya generator meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin, mulai dari kecepatan 2 m/s dengan daya generator sebesar 1,17 W, sampai pada kecepatan angin paling tinggi, yaitu kecepatan angin 5 m/s menghasilkan daya sebesar 21,09 W. Sesuai dengan penelitian sebelumnya ( Herraprastanti dkk, 2022 ) menyatakan, hasil pengujian yang dilakukan kecepatan angin yang dihasilkan turbin Archimedes menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara perhitungan pada kecepatan angin yang ada. Berdasarkan penelitian bahwa semakin bertambahnya kecepatan angin maka putaran turbin yang dihasilkan semakin tinggi . Pada kecepatan angin 3,4 m/s mendapatkan daya 1,2 W, kecepatan angin meningkat 8,3 m/s mendapatkan daya 1,68 W, dan pada kecepatan angin 12,8 m/s mendapatkan daya 4 W.

### IV.2.3 Torsi

Torsi adalah sebuah gaya yang bekerja pada poros yang dihasilkan oleh gaya dorong pada sumbu turbin angin, gaya dorongnya memiliki jarak terhadap sumbu poros yang berputar. Dari data tabel IV.1 kita dapat mengetahui torsi turbin angin dengan menggunakan (Persamaan 3). (Herraprastanti dkk, 2020)

#### 1. Pada kecepatan angin 2 m/s

Diketahui:

$$P_g = 1,17 \text{ W}$$

$$\pi = 3,14$$

$$n = 29,7 \text{ Rpm}$$

Ditanyakan :

$$T = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$T = \frac{P_g}{2 \pi n}$$

$$= \frac{1,17}{2 \times 3,14 \times 29,5}$$

$$= 0,0063 \text{ N/m}$$

Keterangan :

T = Torsi (N/m)

Pg = Daya Generator (W)

n = Putaran Poros (Rpm)

## 2. Pada kecepatan angin 3 m/s

Diketahui :

Pg = 2,613 W

$\pi$  = 3,14

n = 44,7 Rpm

Ditanyakan :

T = ... ?

Penyelesaian :

$$T = \frac{Pg}{2 \pi n}$$

$$= \frac{2,613}{2 \times 3,14 \times 44,7}$$

$$= 0,0093 \text{ N/m}$$

Keterangan :

T = Torsi (N/m)

Pg = Daya Generator (W)

n = Putaran Poros (Rpm)

## 3. Pada kecepatan angin 4 m/s

Diketahui:

Pg = 8,85 W

$\pi$  = 3,14

n = 64,0 Rpm

Ditanyakan :

T = ...?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P_g}{2 \pi n} \\
 &= \frac{8,85}{2 \times 3,14 \times 64,0} \\
 &= 0,022 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$T$  = Torsi (N/m)

$P_g$  = Daya Generator (W)

$n$  = Putaran Poros (Rpm)

#### 4. Pada kecepatan angin 5 m/s

Diketahui:

$P_g = 21,09 \text{ W}$

$\pi = 3,14$

$n = 79,3 \text{ Rpm}$

Ditanyakan :

$T = \dots?$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P_g}{2 \pi n} \\
 &= \frac{21,09}{2 \times 3,14 \times 79,3} \\
 &= 0,042 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$T$  = Torsi (N/m)

$P_g$  = Daya Generator (W)

$n$  = Putaran Poros (Rpm)

Dari hasil perhitungan di atas dapat diketahui pengaruh kecepatan angin terhadap Torsi yang dihasilkan dari kinerja turbin angin pada variasi kecepatan angin 1 m/s sampai 5 m/s dan diperlihatkan dalam tabel berikut ini.

Tabel IV. 3 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Torsi

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Torsi (N/m)
1.	1 m/s	0
2.	2 m/s	0,0063
3.	3 m/s	0,0093
4.	4 m/s	0,022
5.	5 m/s	0,042

Dari tabel IV.3 pengaruh kecepatan angin terhadap torsi yang dihasilkan turbin angin, yaitu pada kecepatan angin 1 m/s torsi yang dihasilkan sebanyak 0 N/m , pada kecepatan angin 2 m/s torsi yang dihasilkan 0,006 N/m , pada kecepatan angin 3 m/s torsi yang dihasilkan 0,009 N/m , pada kecepatan angin 4 m/s torsi yang dihasilkan sebesar 0,02 N/m , dan pada kecepatan 5 m/s torsi yang dihasilkan sebesar 0,04 N/m, maka dapat dilihat perbandingannya di dalam grafik berikut.

Grafik IV. 2 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Torsi



Terlihat pada Grafik IV.2 Kecepatan angin mempengaruhi tingkat torsi yang dihasilkan oleh turbin angin, seiring bertambahnya kecepatan angin yang menggerakkan turbin angin, torsi yang di hasilkan juga semakin besar. Jadi gaya yang bekerja pada poros turbin angin yang dihasilkan oleh gaya dorong pada sumbu turbin angin akan semakin meningkat jika kecepatan angin juga semakin meningkat, yang terlihat pada kecepatan angin 2 m/s hanya mencapai 0,0063 N/m, namun pada saat mencapai kecepatan angin 5 m/s gaya ini meningkat menjadi 0,042 N/m. Sesuai dengan penelitian ( Mahendra dkk, 2016 ) menyatakan hubungan antara kecepatan angin terhadap torsi pada jumlah sudu yang ada mengalami kecenderungan yang meningkat. Semakin meningkatnya kecepatan angin akan menyebabkan semakin besar momentum angin yang menumbuk sudu turbin . hal ini menyebabkan semakin tinggi kecepatan angin menyebabkan semakin besar gaya dorong yang dihasilkan yang akan meningkatkan putaran dari turbin. Semakin tinggi putaran maka daya poros yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Demikian dengan torsi, yang dihasilkan jga semakin besar.

#### **IV.2.4 Efisiensi**

Efisiensi di sini, yaitu kinerja dari turbin angin, yang merupakan perbandingan dari daya generator dan daya angin. Kita dapat mengetahui efisiensi turbin angin dengan menggunakan (Persamaan 4). (Valentino dkk, 2018)

##### **1. Pada kecepatan angin 2 m/s**

Diketahui :

$$P_g = 1,17 \text{ W}$$

$$A = 2,97 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,22 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = 2 \text{ m/s}$$

Ditanyakan :

$$\eta = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_g}{P_a} \times 100\% \\ &= \frac{P_g}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,17}{\frac{1}{2} \times 1,22 \times 2,97 \times 2^3} \times 100\% \\
&= \frac{1,17}{28,99} \times 100\% \\
&= 4,03 \%
\end{aligned}$$

Keterangan :

$\eta$  = efisiensi (%)

$P_g$  = Daya Generator (W)

$P_a$  = Daya Angin (W)

$\rho$  = Densitas Udara (Kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = Kecepatan Angin (m/s)

$A$  = Luas Penampang Turbin (m/s<sup>2</sup>)

## 2. Pada kecepatan angin 3 m/s

Diketahui :

$P_g$  = 2,613 W

$A$  = 0,38 m<sup>2</sup>

$\rho$  = 1,22 Kg/m<sup>3</sup>

$V$  = 3 m/s

Ditanyakan :

$\eta$  = ... ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
\eta &= \frac{P_g}{P_a} \times 100\% \\
&= \frac{P_g}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \times 100\% \\
&= \frac{2,613}{\frac{1}{2} \times 1,22 \times 2,97 \times 3^3} \times 100\% \\
&= \frac{2,613}{48,91} \times 100\% \\
&= 5,34 \%
\end{aligned}$$

Keterangan :

$\eta$  = efisiensi (%)

$P_g$  = Daya Generator (W)

$P_a$  = Daya Angin (W)

$\rho$  = Densitas Udara (Kg/m<sup>3</sup>)  
 $v$  = Kecepatan Angin (m/s)  
 $A$  = Luas Penampang Turbin (m/s<sup>2</sup>)

### 3. Pada kecepatan angin 4 m/s

Diketahui :

$$P_g = 8,85 \text{ W}$$

$$A = 2,97 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,22 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = 4 \text{ m/s}$$

Ditanyakan :

$$\eta = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_g}{P_a} \times 100\% \\ &= \frac{P_g}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \times 100\% \\ &= \frac{8,85}{\frac{1}{2} \times 1,22 \times 2,97 \times 4^3} \times 100\% \\ &= \frac{8,85}{115,94} \times 100\% \\ &= 7,63 \% \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\eta = \text{efisiensi (\%)}$$

$$P_g = \text{Daya Generator (W)}$$

$$P_a = \text{Daya Angin (W)}$$

$$\rho = \text{Densitas Udara (Kg/m}^3\text{)}$$

$$v = \text{Kecepatan Angin (m/s)}$$

$$A = \text{Luas Penampang Turbin (m/s}^2\text{)}$$

### 4. Pada kecepatan angin 5 m/s

Diketahui :

$$P_g = 21,09 \text{ W}$$

$$A = 2,83 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,22 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = 5 \text{ m/s}$$

Ditanyakan :

$$\eta = \dots ?$$

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Pg}{Pa} \times 100\% \\ &= \frac{Pg}{\frac{1}{2} \rho Av^3} \times 100\% \\ &= \frac{21,09}{\frac{1}{2} \times 1,22 \times 2,97 \times 5^3} \times 100\% \\ &= \frac{21,09}{226,46} \times 100\% \\ &= 9,31 \% \end{aligned}$$

Keterangan :

$\eta$  = efisiensi (%)

$Pg$  = Daya Generator (W)

$Pa$  = Daya Angin (W)

$\rho$  = Densitas Udara (Kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = Kecepatan Angin (m/s)

$A$  = Luas Penampang Turbin (m/s<sup>2</sup>)

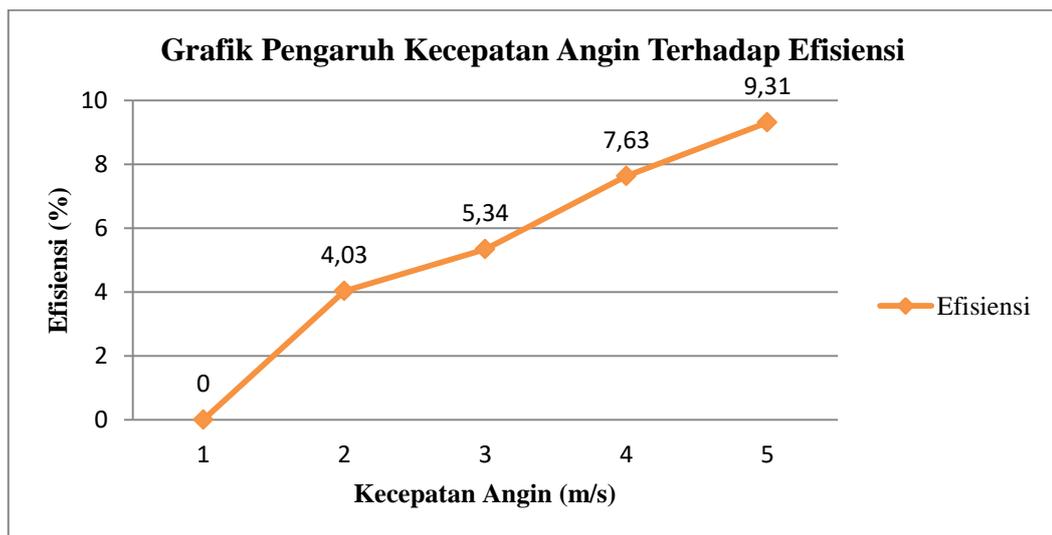
Dari hasil perhitungan di atas dapat diketahui pengaruh kecepatan angin terhadap efisiensi kinerja turbin angin dengan variasi kecepatan angin 1m/s sampai 5 m/s yang di perlihatkan dalam tabel berikut.

*Tabel IV. 4 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi Turbin*

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Efisiensi (%)
1.	1 m/s	0
2.	2 m/s	4,03
3.	3 m/s	5,34
4.	4 m/s	7,63
5.	5 m/s	9,31

Berdasarkan data dari tabel IV.4 pengaruh kecepatan angin terhadap efisiensi turbin angin yaitu , yaitu pada kecepatan angin 1 m/s efisiensi 0 pada kecepatan angin 2 m/s efisiensi turbin angin 4,03 % , pada kecepatan 3 m/s efisiensi turbin angin 5,34 % , kemudian pada kecepatan 4 m/s efisiensi turbin angin 7,63 % , dan pada kecepatan 5 m/s menghasilkan efisiensi 9,31 % , maka dapat dilihat perbandingan kecepatan angin terhadap efisiensi kinerja turbin angin dalam grafik berikut.

*Grafik IV. 3 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi Turbin Angin*



Berdasarkan pada Grafik IV.3 efisiensi kinerja turbin angin sangat terpengaruh dengan kecepatan angin, yaitu semakin besar kecepatan angin yang masuk ke sudu-sudu turbin maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin besar, sesuai dengan penelitian ( Mahendra dkk, 2016 ) menyatakan hubungan antara kecepatan angin terhadap efisiensi, dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya kecepatan angin maka kenaikan daya poros semakin besar. Hal ini dikarenakan efisiensi merupakan perbandingan antara daya poros dengan daya angin, seperti yang telah dijelaskan sehingga nilai efisiensi yang dihasilkan semakin meningkat . kemudian itu dibuktikan dalam penelitian ini, yaitu seiring meningkatnya kecepatan angin pada grafik di atas maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin besar.

#### IV.2.5 Kinerja Turbin Angin Dengan Penambahan Beban Lampu

Setelah diberi pembebanan pada turbin angin dengan variasi kecepatan angin 1 m/s – sampai dengan 5 m/s maka di dapatkan data Tegangan Listrik dan Kuat arus listrik dalam tabel berikut.

*Tabel IV. 5 Hasil Pengukuran Turbin Angin Beban Lampu 5 W*

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Kuat Arus (A)
1.	1 m/s	0	0
2.	2 m/s	12,3	0,06
3.	3 m/s	18,6	0,11
4.	4 m/s	27,1	0,27
5.	5 m/s	35,3	0,52

*Tabel IV. 6 Hasil Pengukuran Turbin Angin Beban Lampu 12 W*

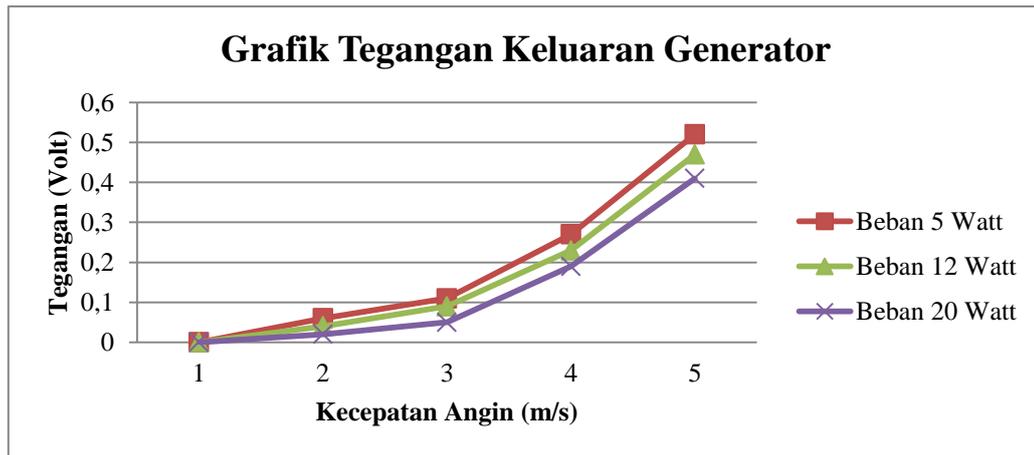
No.	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Kuat Arus (A)
1.	1 m/s	0	0
2.	2 m/s	10,2	0,04
3.	3 m/s	16,7	0,09
4.	4 m/s	25,1	0,23
5.	5 m/s	29,5	0,47

*Tabel IV. 7 Hasil Pengukuran Turbin Angin Beban Lampu 20 W*

<b>No.</b>	<b>Kecepatan Angin (m/s)</b>	<b>Tegangan (V)</b>	<b>Kuat Arus (A)</b>
1.	1 m/s	0	0
2.	2 m/s	7,6	0,02
3.	3 m/s	9	0,05
4.	4 m/s	22,3	0,19
5.	5 m/s	26,2	0,41

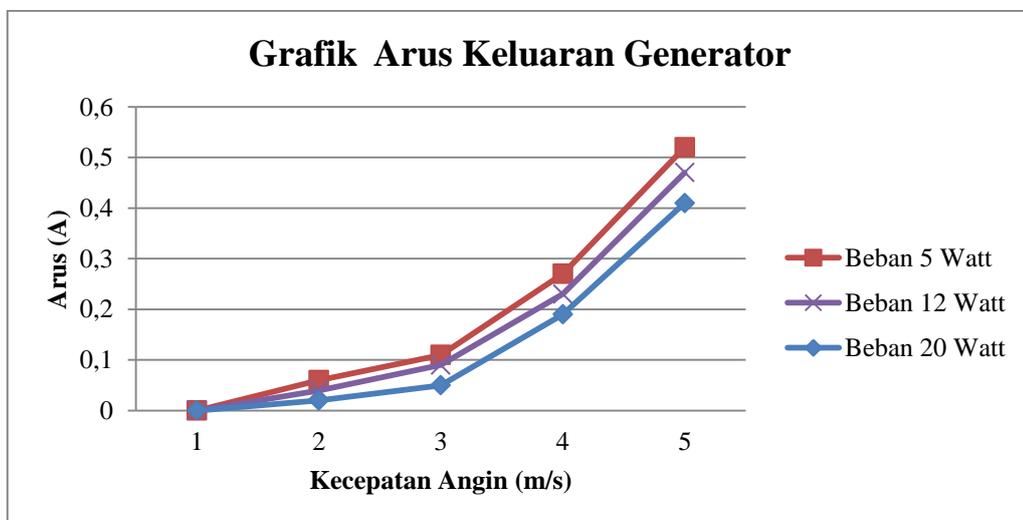
Dari Tabel IV. 5, IV. 6, dan IV. 7 hasil pengukuran yang telah dilakukan, yaitu pada beban lampu 5 W di kecepatan 2 m/s menghasilkan tegangan listrik sebesar 12,3 V, pada beban lampu 12 W di kecepatan angin 2 m/s menghasilkan tegangan listrik sebesar 10,2 W, dan Pada beban Lampu 20 W menghasilkan tegangan listrik sebesar 7,6 V. Kemudian Pada kecepatan angin 3 m/s dengan beban lampu 5 W menghasilkan tegangan listrik 18,6 V, kemudian pada beban lampu 12 W dengan kecepatan angin 3 m/s menghasilkan tegangan listrik sebesar 16,7 V, dan pada beban lampu 20 W di kecepatan 3 m/s menghasilkan tegangan sebesar 9 V. Pada kecepatan angin 4 m/s dengan beban lampu 5 W menghasilkan tegangan sebesar 27,1 V, masih di kecepatan 4 m/s kemudian diberikan beban lampu sebesar 12 W maka tegangan yang dihasilkan sebesar 25,1 V, dan pada saat diberi beban 20 W di kecepatan 4 m/s Tegangan yang dihasilkan menjadi 22,3 V. Kemudian yang terakhir pada kecepatan angin 5 m/s diberi beban lampu sebesar 5 W menghasilkan tegangan sebesar 35,5 V, kemudian pada saat diberi beban lampu 12 W tegangan menjadi 29,5 V, lalu pembebanan lampu 20 W tegangan yang dihasilkan sebesar 26,2 V, maka dapat dibuat grafik tegangan yang dihasilkan turbin angin setelah diberi pembebanan lampu sebesar 5 W, 12 W, dan 20 W sebagai berikut .

Grafik IV. 4 Tegangan Keluaran Generator Berbeban



Pada grafik IV.4 didapatkan perbandingan tegangan dengan kecepatan angin pada saat diberi pembebanan, berupa lampu LED sebesar 5 W, 12 W, dan 20 W. Menurut (Herraprastanti dkk, 2020) menyatakan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka tegangan listrik yang dihasilkan semakin kurang dan itu terbukti dalam penelitian ini. Grafik tegangan berbanding lurus dengan kecepatan angin terlihat pada saat kecepatan 2 m/s pada beban lampu 20 W tegangan sebesar 7,6 V dan menjadi tegangan paling rendah pada beban 20 W, namun pada saat kecepatan angin semakin meningkat maka tegangan yang dihasilkan juga semakin besar yaitu pada kecepatan 5 m/s dengan beban lampu sebesar 20 W maka tegangan yang dihasilkan sebesar 26,2 V.

Grafik IV. 5 Arus Keluaran Generator Berbeban



Pada Grafik IV.5 di atas adalah grafik arus listrik yang di hasilkan setelah penambahan beban pada turbin angin, dimana kecepatan angin sangat berpengaruh pada kuat arus listrik yang dihasilkan, menurut (Herrapstanti dkk, 2020) yaitu jika kecepatan angin meningkat maka kuat arus listrik juga semakin tinggi. Terbukti di penelitian ini pada kecepatan angin 2 m/s dengan beban lampu 20 W kuat arus sebesar 0,02 A, kemudian semakin bertambahnya kecepatan angin pada kecepatan angin 5 m/s dengan beban lampu 20 W kuat arus yang dihasilkan sebesar 0,41 A, begitu juga dengan pembebanan lampu yang lain.

Daya generator adalah hasil kali antara tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator . Daya generator yang dihasilkan setelah penambahan beban lampu 5 W, 12 W, dan 20 W diperlihatkan pada tabel berikut ini.

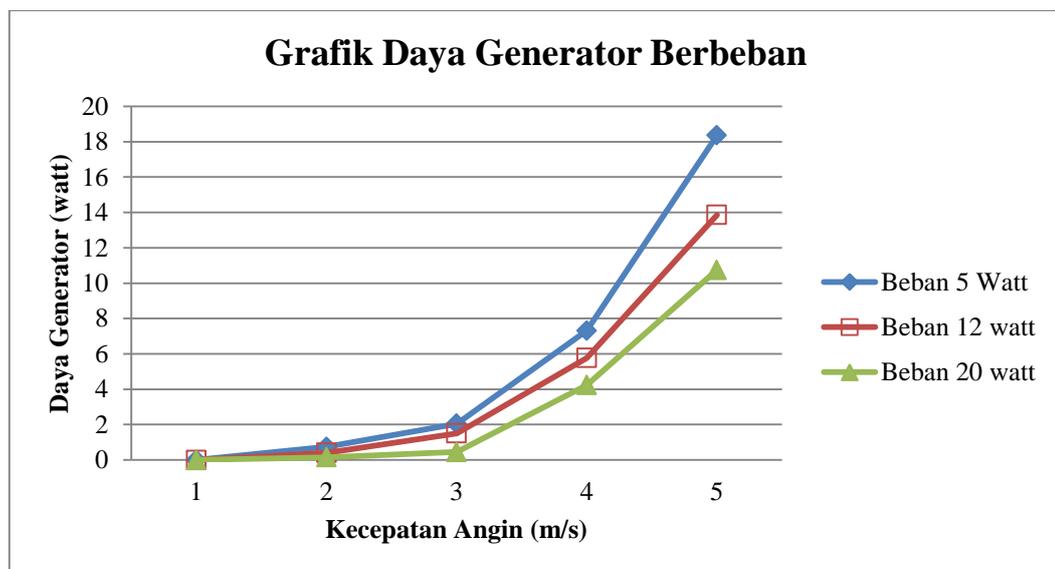
*Tabel IV. 8 Perbandingan Daya Generator Terhadap Beban*

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Generator		
		Beban 5 W	Beban 12 W	Beban 20 W
1.	1 m/s	0	0	0
2.	2 m/s	0,73	0,40	0,15
3.	3 m/s	2,04	1,50	0,45
4.	4 m/s	7,31	5,77	4,23
5.	5 m/s	18,356	13,86	10,74

Berdasarkan tabel IV.8 yaitu pengaruh kecepatan angin terhadap daya generator setelah diberi pembebanan. Dalam variasi kecepatan angin 1 m/s sampai 5 m/s terlihat Pada kecepatan angin 1 m/s daya yang dihasilkan 0 W. Pada kecepatan angin 2 m/s dengan beban lampu 5 W dengan daya keluaran generator sebesar 0,73 W kemudian pada saat diberi beban lampu 12 W daya generator menjadi 0,40 W, kemudian pada beban lampu 20 W daya generator menjadi 0,15 W. Pada kecepatan angin 3 m/s dengan beban lampu 5 W dengan daya keluaran

generator sebesar 2,4 W kemudian pada saat diberi beban lampu 12 W daya generator menjadi 1,50 W, kemudian pada beban lampu 20 W daya generator menjadi 0,45 W. Pada kecepatan angin 4 m/s dengan beban lampu 5 W dengan daya keluaran generator sebesar 7,31 W kemudian pada saat diberi beban lampu 12 W daya generator menjadi 5,77 W, kemudian pada beban lampu 20 W daya generator menjadi 4,23 W. Pada kecepatan angin 5 m/s dengan beban lampu 5 W dengan daya keluaran generator sebesar 18,356 kemudian pada saat diberi beban lampu 12 W daya generator menjadi 13,86 W, kemudian pada beban lampu 20 W daya generator menjadi 10,74 W. berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat perbandingannya dalam bentuk grafik berikut ini.

*Grafik IV. 6 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Generator Berbeban*



Pada Grafik IV.6, yaitu pengaruh daya generator terhadap kecepatan angin. Diketahui bahwa kecepatan angin 5 m/s yaitu kecepatan angin paling tinggi dan sekaligus memiliki daya generator paling tinggi dengan beban lampu sebesar 5 W, dan daya generator terendah di kecepatan angin paling tinggi, yaitu 5 m/s dengan beban 20 W. Jadi, dapat ditarik simpulan bahwa semakin berat pemberian beban pada generator maka pengaruh pada daya generator semakin besar, dan daya keluaran generator semakin berkurang. Sesuai dengan penelitian ( Lake dkk, 2013 ), yang menyatakan pengaruh kecepatan angin dan pembebanan terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertical tipe savonius 12 blade untuk sudut blade

menunjukkan bahwa unjuk kerja, koefisien daya terbaiknya terjadi pada sudut blade dengan kecepatan angin 3,14 m/s, dan tiap pembebanan yang digantungkan pada poros akan mengurangi kecepatan kincir, hal ini dikarenakan adanya pengereman yang disebabkan gesekan antara tali yang digantung beban dengan pulley yang berputar.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1 Kesimpulan

1. Kecepatan angin yang besar adalah hal paling penting untuk kinerja turbin angin vertikal prototipe model tulip ini , dimana pada saat angin dengan kecepatan yang besar menggerakkan turbin maka akan menghasilkan daya listrik yang besar pula. Berdasarkan penelitian diketahui mulai dari kecepatan angin 1 m/s yang belum dapat menggerakkan turbin angin, kemudian pada kecepatan angin 2 m/s menghasilkan daya sebesar 1,7 W , kemudian kecepatan angin 3 m/s menghasilkan daya sebesar 2,6 W, kecepatan angin 4 m/s menghasilkan daya generator sebesar 8,7 W , dan kecepatan 5 m/s menghasilkan daya generator sebesar 21 ,09 W.
2. Pada saat turbin angin diberi beban berupa lampu 5 W pada kecepatan angin 5 m/s daya listrik berkurang dari 21,09 W menjadi 18,35 W, pada beban 12 W di kecepatan angin 5 m/s penurunan daya listrik dari 21,09 W menjadi 13,86 W, dan pada saat diberi beban 20 W daya yang bisa dicapai hanya 10, 74 W.

#### V.2 Saran

Dalam penelitian ini pada pengujian turbin angin vertikal prototipe model tulip, sangat perlu untuk memperhatikan :

1. Kecepatan angin yang besar dan normal agar daya listrik yang dihasilkan tinggi, dan dengan putaran turbin yang normal, dan daya listrik yang dihasilkan stabil.
2. Memperhatikan pemilihan Generator yang lebih teliti agar daya listrik yang dihasilkan lebih sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achdi, E. (2017). Perancangan Turbin Angin Tipe Poros Silang.  
<http://repository.unpas.ac.id/35551/>
- Adam, dkk. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 30.
- Angraini, S. & Hermawati. (2020). Analisa Kinerja Putaran Turbin Angin Vertikal Savonius Pada Prototipe PLTB Dengan Variasi Sudut Pitch Terhadap Nilai Tegangan Dan Arus Keluaran. <http://repository.unsri.ac.id/id/eprint/30875>
- Aprinasyah, A., Gilang, A., Tiar, R., Tia, K., & Susanto, K. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Sistem Mekanik Vibrasi Pita Dawai. Pekan Ilmiah Nasional. <https://media.neliti.com/media/publications/169421-ID-none.pdf>
- Bektiarso, S., Jember, U., Kalor, P., & Darat, A. (2023). *STUDENT SCIENCE LITERACY ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN*. 5(2).  
<https://doi.org/10.31605/phy.v5i2.2207>
- Fachri, R. M & Hendrayana. (2017). Analisa Potensi Energi Angin Dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Elektro*. 1(1), 1-8
- Fuadi, A. (2022). Pembangkit Listrik Tenaga Angin.  
<http://repository.unas.ac.id/6209/>
- Herraprastanti dkk. (2022). Studi Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Generator Pada Turbin Archimedes. *Mekanika dan energi*, 4.
- Herraprastanti, H. E., Mubarak, N. M., Sarip, & Suryanto, H. (2020). Uji Eksperimental Pengaruh Panjang Chord Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal. *Jurnal Teknik Mesin*. 13(2), 38-45.
- Lake dkk. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin dan Sudut Blade Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Duabelas Blade . *Teknik Mesin*, 27.
- Mahendra dkk. (2016). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius tipe L. *Teknik Mesin* , 6 - 9.

- Nurdiyanto, A., & Haryudo, S. I. (2020). Rancangan Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius. *Jurnal Teknik Elektro*, 171.
- Silla, O. I., Sanusi, A., & Pell, M. Y. (2022). Analisis Kinerja Turbin Savonius Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Fisika*. 7(1), 64-68
- Stepanus, zulkarnaen, I., Mirza, A., & Mugni, F. (2018). Energi Angin Sebagai Sumber Daya Listrik Data Recovery Center. *Jurnal Lektrokom*. 1(1). (98-102). <http://repostory.uki.ac.id/id/eprint/1367>
- Subagyo & Basir. (2019). Analisa Kinerja Turbin Angin Savonius Tanpa Dan Dengan Penambahan Verical Stator. Seminar Nasional Iptek Penerbangan DanAntariksa.([http://repositori.lapan.go.id/122/1/Prosiding\\_Subagyo\\_LIPI\\_2019.pdf](http://repositori.lapan.go.id/122/1/Prosiding_Subagyo_LIPI_2019.pdf))
- Suripto, S. (2016). Sistem Tenaga Listrik. Teknik Elektro: Yogyakarta
- Susianto, R. F. (2022). Analisis Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe H-Darrieus Dengan Naca 0015 Pada Gedung Perkantoran. (<http://repository.mercubuana.ac.id/id/eprint/71637>).
- Tama, W. H. S. (2018). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Ventilator Sebagai Sumber Energi Alternatif.
- Wachid, A. & Siregar, H. I. (2018). Study Experimental Turbin Angin Savonius 2 Tingkat Dengan Penambahan Drag Reducing Pada Returning Blade (Studi Kasus Pada 2 Blade Peningkat). *JPTM*. 7(1), 78-82.
- Wardhana, A. M., Irfansyah, M., & Firman, M. (2022). Analisa Kinerja Turbin Angin Sumbu Horisontal.
- Wicaksana, L. (2020). Rancangan Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius Tiga Sudu Dengan Overlap. <http://eprints.polsri.ac.id/id/eprint/9035>
- Yuniarti, N., & Aji, W. I. (2019). Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik. Teknik Elektro : Yogyakarta

# **LAMPIRAN**

*Lampiran 1 Proses Pembuatan Turbin Angin Vertikal Model Tulip*





*Lampiran 2 Pengangkutan Turbin Angin Tulip ke Lokasi Penelitian*



**Lampiran 3** Proses Pengujian dan Pengambilan Data







Lampiran 4 Lembar Pengambilan Data di Lapangan

Panah Maubang → Daya maksimal →  $P = V \cdot I$   
 $= 23 \times 0,19$   
 $= 3,22 \text{ W}$

Kecepatan angin paling tinggi 3,2 m/s

Kecepatan angin maksimal 3,2 m/s  
 Putaran poros = 45,2 Rpm  
 kuat arus 0,19 A  
 Tegangan 23 V  
 Daya generator 3,22 W

Tidak cukup untuk variasi angin 1m/s - 5m/s

---

Panah Batu Baru

Kecepatan angin maksimal 2,6 m/s  
 Putaran poros 37,8 Rpm  
 Tegangan listrik 16,2 V  
 kuat arus listrik 0,11 A  
 Daya generator 1,78 W

Daya maksimal  
 $P = V \cdot I$   
 $= 16,2 \times 0,11 = 1,78 \text{ W}$

Tidak cukup untuk variasi angin 1m/s - 5m/s

Coba lagi di Lokasi lain

2023/08/20 23:39

- Lokasi Pengambilan data Turbin Model Tulip
  - Di Perahu Tunggang Banyar
  - Waktu 09:00 - 16:30 WITA
  - Hari Jumat
  - Kecepatan angin  $\rightarrow 2 \text{ m/s}$  -  $5 \text{ m/s}$
- Kecepatan maksimal  $5,8 \text{ m/s}$
- Tanpa Tangger paku alloy

Kecepatan angin	Pidangan Poros	Kuat arus	Tanggapan
1 m/s	-	0,09 A	13 V
2 m/s	23,5	0,13 A	20,1 V
3 m/s	44,7	0,30 A	29,5 V
4 m/s	64,0	0,57 A	37,8 V
5 m/s	79,3		

$P = V \cdot I$  ① ~~1 m/s~~

① 2 m/s  $\rightarrow P = V \cdot I$   
 $= 13 \cdot 0,09$   
 $= 1,17 \text{ WATT}$

② 3 m/s  $\rightarrow P = V \cdot I$   
 $= 20,1 \cdot 0,13$   
 $= 2,6 \text{ WATT}$

③ 4 m/s  $\rightarrow P = V \cdot I$   
 $= 29,5 \cdot 0,30$   
 $= 8,7 \text{ WATT}$

④ 5 m/s  $P = V \cdot I$   
 $= 0,57 \times 37,8$   
 $= 21,09$