

**RANCANG ULANG PROTOTIPE TURBIN ANGIN SUMBU  
VERTIKAL (*VERTICAL AXIS WIND TURBINE*)**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**AULIA RIZKI ANANDA  
198130025**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/1/25

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## HALAMAN JUDUL

# RANCANG ULANG PROTOTIPE TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL (*VERTICAL AXIS WIND TURBINE*)

## SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

Oleh :

**AULIA RIZKI ANANDA**  
**198130025**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MEDAN AREA**  
**MEDAN**  
**2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Rancang Ulang Prototype Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*)  
Nama Mahasiswa : Aulia Rizki Ananda  
NPM : 198130025  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh  
(Komisi Pembimbing)



Tanggal Lulus : 03 September 2024

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/FESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Aulia Rizki Ananda  
NPM : 198130025  
Program Studi : Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Rancang ulang prototipe turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*).

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan, Pada Tanggal : 17 Juli 2024

Yang menyatakan

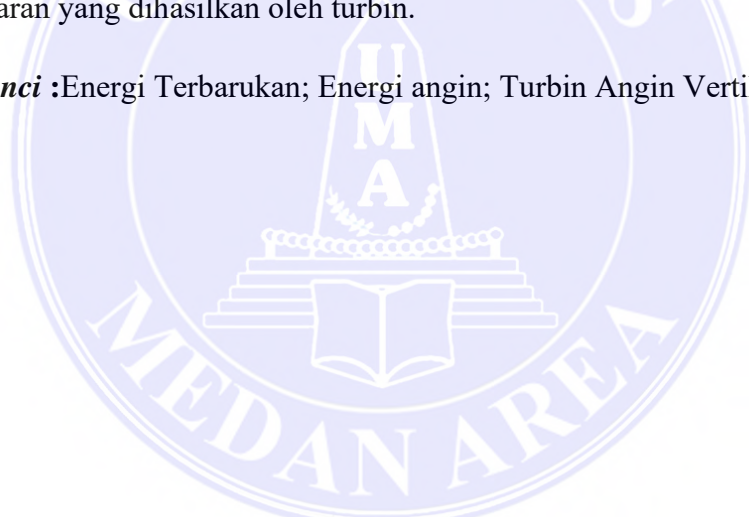
  
Aulia Rizki Ananda



## ABSTRAK

Pasokan energi fosil terbatas di masa yang akan datang, oleh karena itu pemanfaatan energi terbarukan menjadi sangat penting. Angin merupakan salah satu energi terbarukan yang potensial dan dapat diandalkan untuk menghasilkan listrik tanpa emisi gas rumah kaca. Selain itu kesadaran akan dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil terhadap lingkungan dan perubahan iklim global meningkatkan minat terhadap energi angin. Pengembangan turbin angin dilihat sebagai salah satu solusi untuk mengurangi emisi karbon dan mengatasi perubahan iklim. Tipe turbin angin yang direncanakan untuk pengembangan adalah turbin angin sumbu vertikal (VAWT), Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin yang memiliki sumbu rotor yang berorientasi secara vertikal, yang berarti sumbunya berdiri tegak lurus terhadap tanah atau permukaan tanah. Dengan variasi kecepatan angin, pada pengujian kecepatan angin 10,3 m/s turbin dapat menghasilkan daya listrik sebesar 1,36 watt dengan voltase 3,4 volt dan arus 0,4 ampere dengan putaran 51 rpm, untuk kecepatan angin 9,7 m/s turbin dapat menghasilkan daya listrik 0,6 watt dengan voltase 3,0 volt dan arus 0,2 ampere dengan putaran 48 rpm, sedangkan pada kecepatan angin 7,5 m/s menghasilkan daya listrik 0,27 watt dengan voltase 2,7 volt dan arus 0,1 watt dengan putaran 26 rpm, hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi kecepatan angin semakin tinggi pula putaran yang dihasilkan oleh turbin.

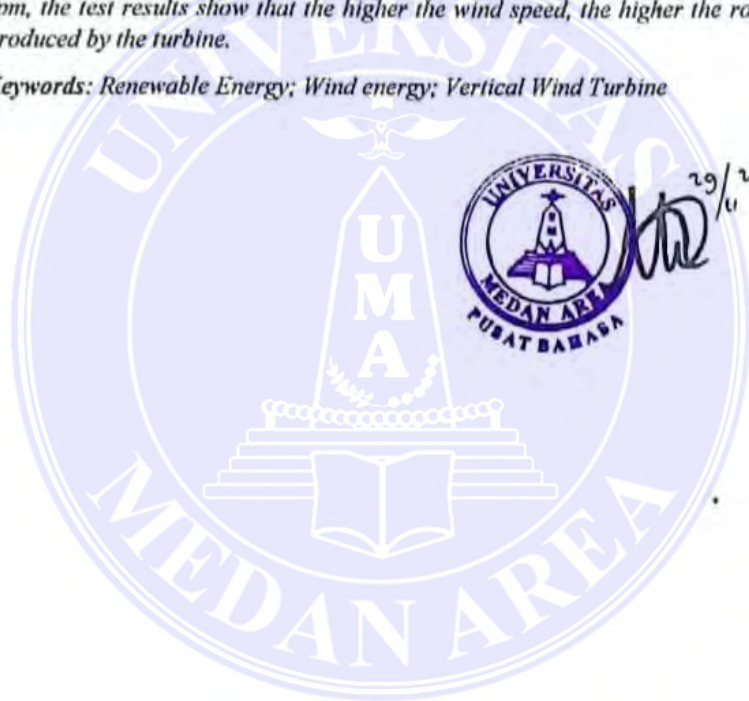
**Kata Kunci :** Energi Terbarukan; Energi angin; Turbin Angin Vertikal



### ABSTRACT

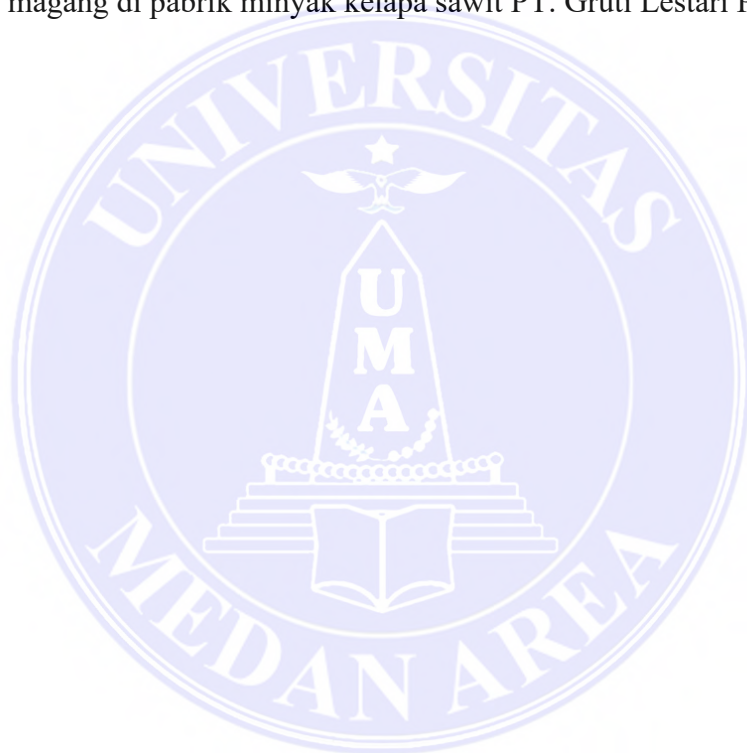
*The supply of fossil energy is limited in the future, therefore the use of renewable energy is very important. Wind is a renewable energy that has potential and can be relied on to produce electricity without greenhouse gas emissions. In addition, awareness of the negative impact of the use of fossil fuels on the environment and global climate change is increasing interest in wind energy. The development of wind turbines is seen as one solution to reduce carbon emissions and overcome climate change. The type of wind turbine planned for development is the vertical axis wind turbine (VAWT). A vertical axis wind turbine is a type of wind turbine that has a vertically oriented rotor axis, which means the axis stands perpendicular to the ground or ground surface. With variations in wind speed, in testing a wind speed of 10.3 m/s the turbine can produce 1.36 watts of electrical power with a voltage of 3.4 volts and a current of 0.4 amperes with a rotation of 51 rpm, for a wind speed of 9.7 m/s, a turbine can produce 0.6 watts of electrical power with a voltage of 3.0 volts and a current of 0.2 amperes with a rotation of 48 rpm, while at a wind speed of 7.5 m/s it produces 0.27 watts of electrical power with a voltage of 2.7 volts and a current of 0.1 watt with a rotation of 26 rpm, the test results show that the higher the wind speed, the higher the rotation produced by the turbine.*

**Keywords:** Renewable Energy; Wind energy; Vertical Wind Turbine



## RIWAYAT HIDUP

Penulis ini dilahirkan di Muarasoma, 09 April 2001 dari bapak Muhiddin Matondang dan ibu Lisdawati Hasibuan. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Tahun 2019 penulis lulus dari Madrasah Aliyah Negeri 5 Mandailing Natal dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai mahasiswa fakultas teknik Universitas Medan Area. Selama perkuliahan penulis melaksanakan program magang di pabrik minyak kelapa sawit PT. Gruti Lestari Pratama.





## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ialah Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan judul Rancang Ulang Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*).

Terimakasih penulis sampaikan kepada bapak Dr. Jufrizal, ST, MT selaku pembimbing serta bapak Dr. Iswandi, ST, MT yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya, ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada saudara kandung saya dan teman-teman yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian dan penulis juga banyak mengucapkan terimakasih kepada CV. Ira Publishing yang telah berkenan menjadi tempat riset bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir skripsi ini. Penulis berharap tugas akhir skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan Pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

Penulis



Aulia Rizki Ananda  
198130025

## DAFTAR ISI

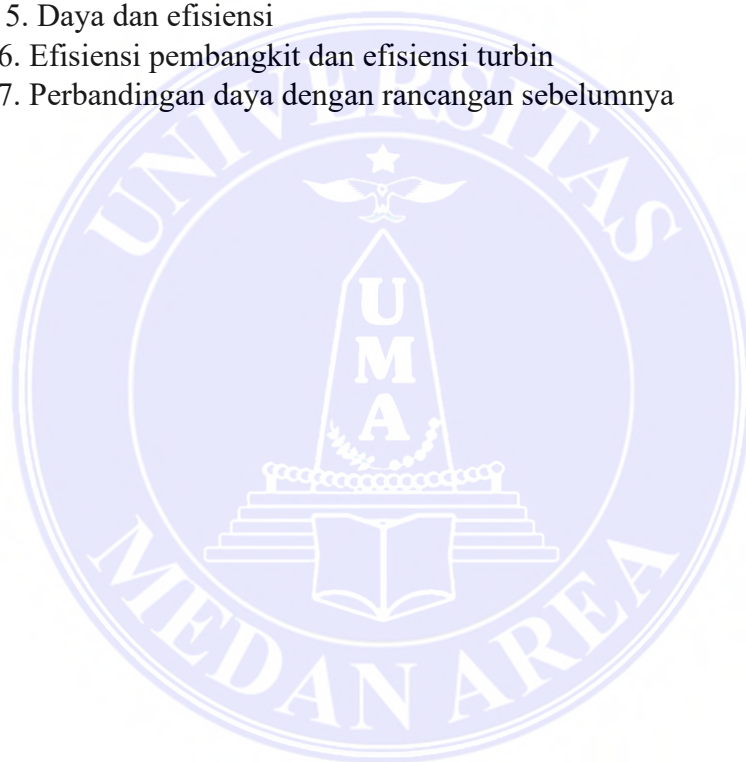
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACK.....	vi
RIWAYAT HIDUP .....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
DAFTAR NOTASI .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Hipotesis Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Rancang Ulang Prototipe.....	4
2.2 Energi Angin.....	5
2.3 Turbin Angin.....	9
2.4 Transmisi .....	19
2.5 Teori Momentum <i>Elementer Betz</i> .....	19
2.6 TSR ( <i>Tip Speed Ratio</i> ).....	20
2.7 Efisiensi .....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	25
3.2 Instrumen dan Bahan .....	26
3.3 Metode Penelitian .....	28
3.4 Populasi dan Sampel.....	29
3.5 Prosedur Kerja .....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	36
4.1 Hasil.....	36
4.2 Pembahasan .....	42
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	43

5.1	Simpulan .....	43
5.2	Saran .....	44
DAFTAR PUSTAKA.....		45
LAMPIRAN .....		46



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di Atas Tanah	7
Tabel 2.2. Kelas Angin dan Kecepatan Angin	8
Tabel 2.3. Perbandingan antara turbin angin	14
Tabel 2.4. Pemilihan bahan	18
Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir	25
Tabel 3.2. Variabel penelitian	30
Tabel 4.1. Nama dan bahan komponen	36
Tabel 4.2. Data hasil uji coba tanpa beban	39
Tabel 4.3. Hasil tip speed ratio	40
Tabel 4.4. Hasil ujicoba dengan beban	40
Tabel 4.5. Daya dan efisiensi	40
Tabel 4.6. Efisiensi pembangkit dan efisiensi turbin	41
Tabel 4.7. Perbandingan daya dengan rancangan sebelumnya	41



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jenis turbin angin berdsarakan porosnya.	10
Gambar 2.2. Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara	10
Gambar 2.3. Turbin Angin Sumbu Horizontal.	11
Gambar 2.4. Turbin angin sumbu horizontal berdasarkan jumlah sudu.	11
Gambar 2.5. Turbin Angin Sumbu Vertikal.	12
Gambar 2.6. Turbin angin darrieus	13
Gambar 2.7. Turbin angin savonius	13
Gambar 2.8. Blade turbin angin sumbu vertikal	15
Gambar 2.9. Generator	17
Gambar 3.1. Pensil	26
Gambar 3.2. Penggaris	27
Gambar 3.3. Penghapus	27
Gambar 3.4. Pulpen	27
Gambar 3.5. Buku Gambar	28
Gambar 3.6. Sketsa perancangan	29
Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 4.1. Desain Turbin Angin	36
Gambar 4.2. Hasil rancangan	39
Gambar 4.3. Perbandingan rancangan	41



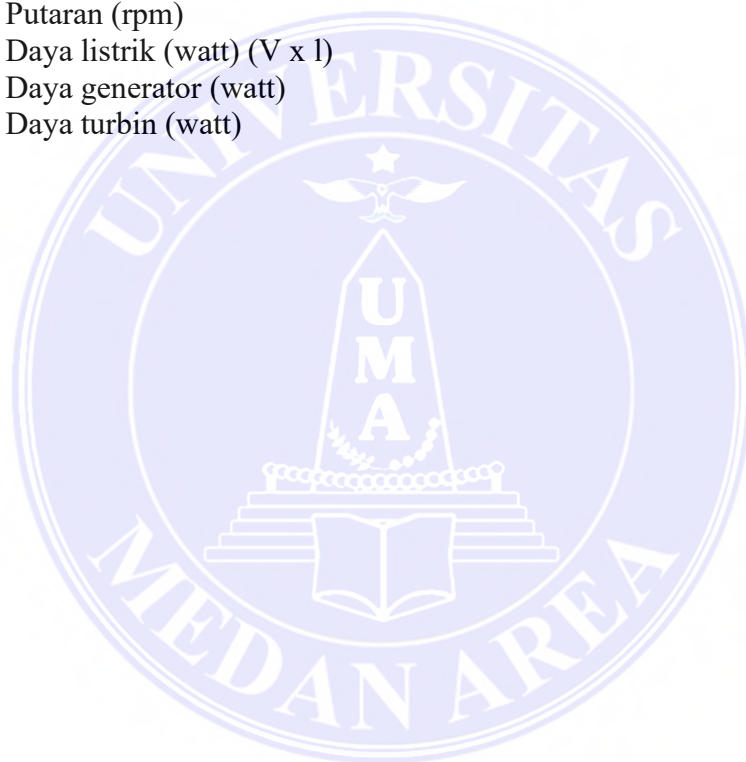
## DAFTAR LAMPIRAN

No	Nama	Bahan	Keterangan
1.	Rangka Turbin	Siku 35x35x3 mm	Sebagai Rangka Keseluruhan Turbin
2.	Dudukan Turbin	Siku 35x35x3mm dan Plat 5 mm	Penahan Turbin
3.	<i>Blade</i>	Pipa PVC 6"	Penerima Energi Angin
4.	Blower	-	Sumber Tenaga Angin
5.	Generator	-	Sumbu Utama dan Penghasil Energi Listrik
6.	Panel Listrik	-	Pengatur Sistem Kelistrikan



## DAFTAR NOTASI

$P_A$	: Daya angin (Watt)
$\rho$	: Densitas udara (1,225 Kg/m <sup>3</sup> )
$V$	: Kecepatan angin (m/s)
$A$	: Luas penampang (m <sup>2</sup> )
$r$	: Jari-jari <i>blade</i> turbin (m)
$t$	: Tinggi <i>blade</i> turbin (m)
$D$	: Diameter turbin (m)
$H$	: Tinggi turbin (m)
TSR	: <i>Tip Speed Ratio</i>
$R$	: Jari-jari rotor (m)
$\omega$	: Kecepatan sudut rotor (rad/s)
$N$	: Putaran (rpm)
$P_L$	: Daya listrik (watt) ( $V \times I$ )
$P_g$	: Daya generator (watt)
$P_T$	: Daya turbin (watt)



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat yang disebabkan pertumbuhan penduduk. Pasokan energi fosil terbatas di masa yang akan datang, oleh karena itu penggunaan energi terbarukan menjadi sangat penting. Angin merupakan salah satu energi terbarukan yang potensial dan dapat diandalkan untuk menghasilkan listrik tanpa emisi gas rumah kaca. Selain itu kesadaran akan dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil terhadap lingkungan dan perubahan iklim global meningkatkan minat terhadap energi angin. Pengembangan turbin angin dilihat sebagai salah satu solusi untuk mengurangi emisi karbon dan mengatasi perubahan iklim. (Estrada dkk.).

Penggunaan energi angin sebenarnya sudah tidak asing lagi bagi manusia. Lebih dari 2.000 tahun yang lalu, manusia mengenal teknologi untuk mengembangkan sumber energi angin berupa kincir angin. Selain ramah lingkungan, sumber energi ini mudah didapat dan memiliki prospek komersial yang menguntungkan. Sekarang sebagian besar negara maju di Eropa dan Amerika Serikat telah menggunakan energi semacam ini (Napitupulu & Siregar, 2013).

Energi angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah atau dari suhu udara rendah ke suhu udara tinggi, yang terjadi akibat pemanasan matahari terhadap atmosfer dan permukaan bumi. Energi angin telah digunakan manusia selama berabad-abad untuk berbagai keperluan, seperti penggerak kapal layar, penggilingan biji-bijian, dan pengeringan hasil pertanian.

Namun, dalam konteks modern, energi angin merujuk pada penggunaan turbin angin atau kincir angin untuk menghasilkan energi listrik (Jaka Ariazena & Suprayitno, dkk.).

Maka dari latar belakang permasalahan diatas penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “Rancang Ulang Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*)”

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang masalah, terdapat objek yang berhubungan dengan penelitian ini diantaranya Bagaimana perancangan ulang turbin angin sumbu vertikal dengan menggunakan tiga buah *blade*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Membuat rancangan ulang dan menguji coba turbin angin savonius dengan jumlah *blade* 3 sebagai penghasil listrik
- b. Pengukuran kecepatan angin, pengukuran putaran, pengukuran tegangan dan arus listrik
- c. Menghitung efisiensi turbin angin yang dihasilkan

## 1.4 Hipotesis Penelitian

Pengaruh rancangan dalam menghitung efesiensi operasional turbin angin sumbu vertikal dengan tiga buah *balde*, diharapkan dapat memenuhi tujuan yang ingin dicapai seperti mengetahui kualitas turbin angin.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat teoritis penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan ilmu kepada pembaca mengenai turbin angin sumbu vertikal.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi tentang turbin angin sumbu vertikal.
3. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi pada peneliti selanjutnya dalam bidang yang sama.

Manfaat praktis penelitian ini adalah :

### 1) Bagi Peneliti

Hasil dari penelitian memberikan penambahan pengetahuan tentang energi dari sumber energi terbarukan dan pengetahuan tentang energi angin dengan mengaplikasikannya menjadi sumber energi melalui turbin angin sumbu vertikal.

### 2) Bagi masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi atau sumber percontohan bagi masyarakat.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Rancang Ulang Prototipe

Rancang ulang (*redesign*) adalah proses untuk mengubah atau memodifikasi sesuatu yang sudah ada dengan tujuan meningkatkan kualitas, kinerja, atau efisiensi. Adapun dalam penelitian ini *redesign* perancangan dengan rancangan sebelumnya yaitu pada jurnal Pratama dkk, 2023. Perancangan turbin angin sumbu vertikal sebagai pembangkit listrik (skala laboratorium). *Machinery* jurnal teknologi terapan vol.4 No.3 Oktober 2023.

Prototipe adalah model awal atau representasi fisik atau konseptual dari suatu produk, sistem, atau proyek yang sedang dikembangkan. Tujuan utama dari pembuatan prototipe adalah untuk menguji ide, desain, atau konsep secara praktis sebelum menghabiskan waktu dan sumber daya yang besar untuk produksi atau implementasi penuh. Ini adalah langkah penting dalam pengembangan produk atau proyek karena membantu dalam pemahaman lebih baik tentang bagaimana suatu produk atau sistem akan berfungsi dan bagaimana pengguna akan berinteraksi dengannya. Beberapa ciri umum dari prototipe adalah:

1. Sederhana, Prototipe biasanya lebih sederhana daripada produk finalnya, dengan fokus pada fitur atau fungsi yang paling penting.
2. Fleksibel, Prototipe bisa diubah atau dimodifikasi dengan cepat sesuai dengan umpan balik dan perubahan yang mungkin diperlukan.
3. Digunakan untuk Pengujian: Prototipe digunakan untuk menguji dan mengidentifikasi masalah atau kekurangan dalam desain atau konsep.

4. Komunikasi: Prototipe membantu dalam berkomunikasi dengan anggota tim proyek, pemangku kepentingan, atau pengguna potensial tentang ide atau konsep yang akan dikembangkan.
5. Menghemat Waktu dan Sumber Daya: Dengan mengidentifikasi masalah lebih awal dalam pengembangan, prototipe dapat membantu menghemat waktu dan biaya dalam jangka panjang.
6. Beragam Jenis: Prototipe dapat berupa model fisik, model perangkat lunak (yang sering disebut prototipe perangkat lunak), atau bahkan konsep visual.

## 2.2 Energi Angin

Pengembangan energi alternatif baru dan terbarukan didorong kebijakan pemerintah untuk mempromosikan dan memfasilitasi penggunaan sumber daya sumber energi terbarukan seperti air, matahari, energi panas bumi, biomassa dan juga angin. Energi angin adalah energi terbarukan yang sangat fleksibel. Penggunaan energi angin bisa dibuat dimana saja, baik di lereng maupun di dataran tinggi, dapat digunakan, bahkan di laut.

Angin sebagai sumber alami dapat digunakan sebagai salah satu sumber energi listrik. Angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya bahwa penggunaan sistem konversi energi angin memiliki efek positif ke lingkungan. Angin juga didefinisikan sebagai bentuk energi yang tersedia di alam yang diperoleh dengan mengubah energi kinetik, energi dari angin diubah menjadi energi kinetik atau listrik. Energi angin dapat memberikan kontribusi penting yaitu mengurangi emisi karbon dioksida dalam produksi listrik dengan kincir angin (Mulkan & Abd, 2022).

Angin adalah udara yang bergerak karena perbedaan tekanan. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Energi angin dapat digunakan untuk menggerakkan turbin di pembangkit listrik tenaga angin. Memanfaatkan energi angin dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi dampak terhadap lingkungan (Indriani dkk).

### 2.2.1 Kecepatan Angin

Kecepatan angin adalah kecepatan udara yang bergerak secara horizontal yang dipengaruhi oleh ketinggian wilayah, geografi regional, topografi regional dan geometri regional. Arah angin adalah arah dimana arah angin bertiup dalam derajat. Angin dapat diklasifikasikan dalam dua jenis yaitu angin global dan angin lokal. Angin global disebabkan oleh panas dari matahari intensitas tinggi di dekat khatulistiwa dan ini menyebabkan suhu udara naik pada daerah tropis, yang kemudian mengalir melalui lapisan atas atmosfer ke kutub dan udara dingin ke kutub mengalir kembali ke khatulistiwa.

Angin dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu angin darat, angin laut, angin gunung, angin lembah, angin monsun, angin fohn, angin muson timur dan barat. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yaitu anemometer. Prinsip kerja anemometer adalah hembusan angin menyentuh baling-baling anemometer. Berikutnya adalah putaran baling-baling diubah menjadi besaran (Murniati, 2022). Tingkat kecepatan dari angin dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di Atas Tanah

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di Atas Permukaan Tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/s	Kondisi alam di daratan
1	00.0 – 0.02	
2	0.3 – 1.5	Asap bergerak mengikuti arah angin
3	1.6 – 3.3	Angin tenang, asap lurus keatas
4	3.4 – 5.4	Wajah terasa ada angin, daun-daun baergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 – 7.9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0 – 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 – 13.8	Ranting pohon besar berkibar, air plumping berombak kecil
8	13.9 – 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa ditelinga
9	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan
10	20.8 – 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 – 28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 – 36.9	Tornado

(Sumber : Daryanto,Y.2007. *Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin*)

Skala di atas merupakan tingkat kecepatan angin dilihat dari fenomena yang terjadi pada benda-benda sekitar. Dengan kecepatan angin tersebut sudah tentu daya yang di hasilkan setiap kelas angin berbeda, maka berikut rumus untuk menentukan daya kecepatan angin dapat dilihat pada persamaan 2.1.

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$P_A$  : Daya angin (Watt)

$\rho$  : Densitas udara (1,225 Kg/m<sup>3</sup>)

$A$  : Luas penampang turbin (m<sup>2</sup>)

$V$  : Kecepatan angin (m/s)

Kelas angin dan kecepatan angin dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kelas Angin dan Kecepatan Angin

Kelas angin	Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan angin (Km/jam)	Kecepatan angin (Knot/jam)
1	0,00 - 0,02	0	0
2	0,03 - 1,5	1 – 5,4	0,58 – 2,92
3	1,6 - 3,3	5,5 – 11,9	3,11 – 6,42
4	3,4 - 5,4	12,0 – 19,5	6,61 – 10,5
5	5,5 - 7,9	19,6 – 28,6	10,7 – 15,4
6	8,0 – 10,7	28,6 – 38,5	15,6 – 20,8
7	10,8 – 13,8	38,6 – 49,7	21,0 – 26,8
8	13,9 – 17,1	49,8 – 61,5	27,0 – 33,3
9	17,2 – 20,7	61,6 – 74,5	33,5 – 40,3
10	20,8 – 24,4	74,6 – 87,9	40,5 – 47,5
11	24,5 – 28,4	88,0 - 102,3	47,7 – 55,3
12	28,5 – 32,6	102,4 – 117,0	55,4 – 63,4
13	>32,6	>118	63,4



## 2.3 Turbin Angin

Turbin angin merupakan kincir angin yang dipergunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Pada awalnya turbin angin diciptakan untuk membantu para petani melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi dan lain-lain. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di wilayah eropa, seperti di Denmark dan Belanda yang dikenal dengan *windmill* (Maulana & Sidiq, 2018). Turbin angin dipengaruhi oleh peningkatan kecepatan angin yang menyebabkan peningkatan energi yang dihasilkan. Prinsip pengoperasian pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) adalah penggunaan turbin angin mengubah energi angin menjadi energi kinetik, faktor dari daya turbin adalah seperti densitas, volume, dan kecepatan angin (Murniati, 2022).

Kinerja turbin angin berhubungan dengan 3 jenis skala kecepatan angin, yaitu kecepatan *cut-in*, kecepatan optimal, dan kecepatan *cut-off*. Kecepatan *cut-in* adalah kecepatan terendah diperlukan untuk menghasilkan daya generator. Kecepatan optimal adalah kecepatan angin menghasilkan tenaga maksimal. Sebaliknya kecepatan *cut-off* adalah kecepatan maksimum turbin sedang berjalan, yang biasanya dipilih untuk memastikan keamanan konstruksi turbin angin. Turbin angin dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu *Horizontal Wind Turbin* dan *Vertical Wind Turbin*. (Napitupulu & Siregar, 2013)

### 2.3.1 Jenis-Jenis Turbin Angin

Turbin angin berdasarkan bentuk rotornya dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu turbin angin sumbu mendatar atau *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT), dan turbin angin sumbu vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT).



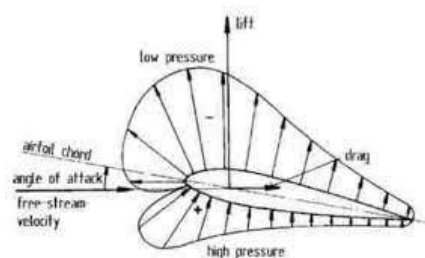
Gambar 2.1. Jenis turbin angin berdsarakan porosnya.

Sumber : (Napitupulu & Siregar, 2013)

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*)

Turbin angin sumbu horizontal adalah jenis turbin angin yang memiliki sumbu rotor yang berorientasi secara horizontal atau sejajar dengan permukaan tanah. Jenis turbin angin ini merupakan jenis kincir angin yang saat ini yang paling banyak digunakan. Turbin ini terdiri dari menara yang dipuncaknya terdapat baling-baling yang berfungsi sebagai rotor dan menghadap atau membelakangi arah angin. Sebagian besar turbin angin jenis ini diproduksi sekarang ada dua atau tiga bilah baling-baling, meskipun ada juga sudu turbin baling-baling lebih atau kurang dari dua atau tiga.

Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin pada sumbu horizontal mengalami gaya *lift* dan daya *drag*, tetapi daya *lift* jauh lebih besar dari gaya *drag* sehingga rotor Turbin ini lebih dikenal dengan turbin rotor jenis *lift*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara

(Sumber : Napitupulu & Siregar, 2013).

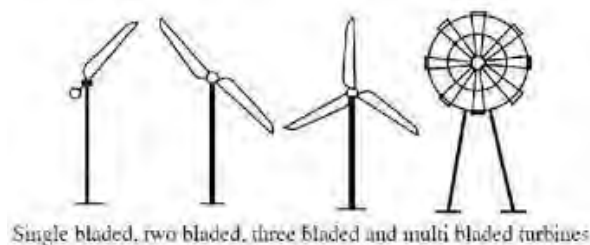


Gambar 2.3. Turbin Angin Sumbu Horizontal.

(Sumber : Jumlah Blade dkk., 2018).

Turbin angin berdimensi besar memanfaatkan sensor angin yang dapat dikontrol oleh *servo motor*. Di mana terletak *gearbox* yang dapat mengonversikan putaran lambat kincir jadi semakin cepat. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk turbin angin sumbu horizontal. Bilah turbin dibuat kaku agar tidak mengalami daya dorong yang dapat merusak landasan atau pangkalan generator ketika angin kencang (Indriani dkk 2019). Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi empat dan dapat dilihat pada gambar 2.4 :

1. Turbin angin satu sudu (*single blade*)
2. Turbin angin dua sudu (*double blade*)
3. Turbin angin tiga sudu (*three blade*)
4. Turbin angin banyak sudu (*multi blade*)



Gambar 2.4. Turbin angin sumbu horizontal berdasarkan jumlah sudu.

(Sumber : Indriani dkk.)

## 2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*)

Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin yang memiliki sumbu rotor yang berorientasi secara vertikal, yang berarti sumbunya berdiri tegak lurus terhadap tanah atau permukaan tanah.

Turbin angin sumbu vertikal memiliki poros atau Sumbu rotor utama tegak lurus. turbin angin sumbu vertikal dapat menggunakan angin dari arah yang berbeda. Pada turbin angin sumbu vertikal, generator dan *gearbox* dapat ditempatkan di bawah atau ditanah. Gambar 2.5 menunjukkan turbin angin sumbu vertikal.



Gambar 2.5. Turbin Angin Sumbu Vertikal.

(Sumber : Jumlah Blade et al., 2018).

Dilihat oleh efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih efektif mengekstrak energi angin dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal.

Jika mempertimbangkan prinsip aerodinamika rotor yang digunakan, turbin angin vertikal dibagi menjadi dua bagian:

### a) Turbin Angin *Darrieus*

Turbin angin *Darrieus* adalah jenis turbin angin sumbu vertikal yang dikenal dengan desain berbentuk seperti roda dengan baling-baling melengkung yang berputar sekitar sumbu vertikalnya. Turbin ini dinamai dari penemunya,

*Georges Darrieus*, seorang insinyur Prancis, yang mengembangkan desain ini pada tahun 1931 (Lubis, 2018).

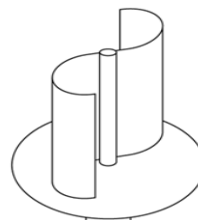
Turbin angin Darrieus mempunyai torsi rotor relatif kecil tapi sirkulasi yang lebih besar begitu juga dengan turbin angin *Savonius* lebih tepatnya menghasilkan energi listrik Tapi turbin itu membutuhkan kekuatan awal yang lebih tinggi bagus untuk memulai putaran. Turbin angin *darrieus* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Turbin angin *darrieus*  
(Sumber : Jumlah Blade dkk., 2018).

b) Turbin Angin *Savonius*

Turbin angin *Savonius* pertama yang diperkenalkan oleh para insinyur Finlandia *Sigurd J. Savonius* 1922. Turbin angin sumbu vertikal ini terdiri dari dua baja setengah berbentuk silinder runtuh (atau elips). sehingga membentuk huruf "S" (Napitupulu & Siregar, 2013). Turbin angin savonius dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7. Turbin angin *savonius*  
(Sumber : Estrada dkk.)



Perbandingan anantara turbin angin sumbu vertikal (TASV) dan turbin angin sumbu horizontal (TASH) dapat dilihat pada 2.3.

Tabel 2.3. Perbandingan antara turbin angin sumbu vertikal dan sumbu horizontal

No	Pertunjukan	VAWT	HAWT
1	Efisiensi pembangkit Listrik	Diatas 70%	50%-
2	Gangguan Elektromagnetik	Tidak	Iya
3	Mekanisme Kemudi Angin	Tidak	Iya
4	Kotak Persneling	Tidak	Lebih 10 Kw
5	Ruang Rotasi	Cukup Kecil	Cukup besar
6	Kemampuan Tahan Air	Kuat	Lemah
7	Kebisingan	0-10db	5-60db
8	Mulai Kecepatan Angin	Rendah 1.5-3m/s	Tinggi 2.5-5m/s
9	Perawatan	Nyaman	Rumit
10	Kecepatan Berputar	Rendah	Tinggi

### 2.3.2 Komponen Utama Turbin Angin Sumbu Vertikal

Komponen utama dari turbin angin sumbu vertikal (*vertical Axis Wind Turbin*) terdiri dari poros, sudu, bantalan (*bearing*), dan sistem transmisi. Adapun komponen utama dari turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) adalah sebagai berikut :

#### 1. *Blade* (Baling-baling)

*Blade* (baling-baling) turbin angin sumbu vertikal adalah jenis struktur turbin angin yang digunakan untuk mengubah energi angin menjadi energi mekanik atau listrik. Keunikan turbin angin sumbu vertikal terletak pada posisi sumbunya yang tegak lurus dengan arah aliran angin. Hal ini berbeda dengan kincir angin sumbu horizontal yang sumbunya sejajar dengan arah angin. *Blade* turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Blade* turbin angin sumbu vertikal

Sumber : (Maulana & Sidiq, 2018).

Ada beberapa hal penting dalam desain, pemasangan dan pengoperasian *blade* (baling-baling) turbin angin vertikal. Berikut adalah beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan.

- a. Desain *blade* yang Efisien, Desain bilah turbin angin vertikal sangat penting untuk efisiensi dan efektivitas turbin. Bentuk, panjang dan sudut sudu harus diatur dengan hati-hati untuk mendapatkan hasil pemulihan energi angin yang optimal.
- b. Bahan dan Kekuatan, Bahan yang digunakan untuk membuat bilah harus kuat dan tahan terhadap angin, getaran, dan perubahan cuaca. Memilih bahan yang tepat dapat memastikan masa pakai yang lama dan pengoperasian turbin yang lancar.
- c. Keseimbangan dan Getaran, Keseimbangan bilah sangat penting untuk menghindari getaran berlebihan, yang dapat merusak turbin atau mengurangi efisiensi. Keseimbangan bilah harus diperiksa dan disetel secara teratur.
- d. Penyesuaian Sudut *Blade*, Beberapa desain turbin angin vertikal memungkinkan penyesuaian sudut *blade* untuk mengoptimalkan tangkapan angin pada berbagai kecepatan angin. Sistem kontrol yang tepat dapat membantu meningkatkan efisiensi turbin.

- e. Ketahanan terhadap angin kencang dan kondisi cuaca ekstrem, Bilah turbin harus dirancang untuk tahan terhadap angin kencang dan kondisi cuaca ekstrem. Struktur yang dapat menahan beban angin ekstrim dapat mencegah kerusakan serius pada turbin.

Pada penelitian ini *blade* dibuat dengan menggunakan bahan pipa pvc 6 inch, berbentuk setengah silinder, dengan dimensi ukuran yaitu diameter 140 mm, dengan tinggi 750 mm, jumlah *blade* pada penelitian ini berjumlah 3 buah *blade*, dimana faktor yang menjadi pengacu pemilihan jumlah *blade* adalah dengan tiga buah *blade* turbin angin memiliki keseimbangan yang baik, hal ini mengurangi getaran dan meningkatkan umur peralatan, selain itu dengan tiga buah *blade* turbin angin dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah dan dengan tiga buah *blade* desain turbin lebih sederhana dan hemat pada biaya dan pemeliharaan. Sementara luas satu buah *blade* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A = 2\pi r(r + t) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- A : Luas penampang (m<sup>2</sup>)
- r : Jari-jari *blade* turbin (m)
- t : Tinggi *blade* turbin (m)

Dan adapun rumus mencari luas area sapuan (*swept area*) pada turbin angin yaitu dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut,

$$A = D \times H \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

D : Diameter turbin (m)

H : Tinggi turbin (m)

### 2. Sumbu (*Axis*)

Poros adalah struktur utama yang menopang baling-baling dan menghubungkannya dengan generator atau mekanisme penggerak lainnya. Pada rancangan ini poros yang digunakan yaitu memanfaatkan poros pada generator secara langsung atau disebut *direct drive*.

### 3. Generator

Setelah energi angin diubah menjadi gerakan berputar oleh baling-baling, energi tersebut harus diubah kembali menjadi energi listrik atau mekanik yang berguna. Mekanisme generator atau penggerak adalah komponen yang melakukan konversi ini. Dalam turbin angin untuk produksi listrik, generator mengubah gerakan rotasi menjadi energi listrik.

Pemilihan generator tergantung pada desain turbin angin, karakteristik angin di lokasi, serta kebutuhan dan tujuan penggunaan listrik yang dihasilkan. Pada penelitian ini menggunakan generator AC seperti gambar 2.9 di bawah ini, dengan spesifikasi 220 V, 550 Watt.



Gambar 2.9. Generator

#### 4. Rangka dan Pondasi (*Frame and Foundation*)

rangka dan pondasi digunakan untuk menopang seluruh struktur turbin angin. rangka harus dirancang untuk menahan beban dan tekanan yang dihasilkan oleh baling-baling dan poros pusat. Pondasi harus dirancang untuk menahan beban turbin angin dan mampu menstabilkan turbin angin di lokasi yang dipilih, rangka pada rancangan ini menggunakan bahan besi siku 35 mm.

#### 5. Sistem Kontrol

Sistem pengendali memantau kinerja turbin angin dan mengatur berbagai parameter. Sistem kontrol terdiri dari berbagai sensor yaitu sensor tegangan dan arus listrik, dan menggunakan dimer untuk mengontrol kecepatan blower.

Adapun bahan yang digunakan pada setiap bagian turbin angin pada perancangan ini serta keunggulan dan kelemahannya dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 2.4. Pemilihan bahan

No	Bagian Turbin Angin	Bahan yang Digunakan	Keunggulan	Kelemahan
1.	<i>Blade</i>	Pipa PVC	Ringan dan tidak berkarat serta harga terjangkau.	Tidak tahan lama terhadap panas matahari.
2.	Poros	Baja	Daya tahan terhadap korosi dan daya tahan terhadap lingkungan yang keras.	Keterbatasan elastisitas dan berat.
3.	Lengan <i>Blade</i> dan Rangka	Besi profil L	Kekuatan struktural tinggi, ketersediaan dalam berbagai ukuran serta harga terjangkau.	Rentan terhadap korosi.
4.	Piringan dan Dudukan Turbin	Besi plat	Memiliki daya tahan yang tinggi serta mudah untuk dibentuk.	Rentan terhadap korosi.



## 2.4 Transmisi

Pada rancangan ulang turbin angin menggunakan transmisi langsung atau *direct drive* adalah metode transmisi daya dimana poros dihubungkan langsung ke penggerak utama. Berikut karakteristik dan keuntungan dari transmisi ini :

1. Efisiensi Tinggi, karena tidak ada perantara yang menyebabkan kerugian daya tambahan.
2. Kesederhanaan Desain, karena tidak memerlukan komponen tambahan seperti roda gigi dan sabuk.
3. Pengurangan Perawatan, dengan lebih sedikitnya komponen mekanis yang bisa rusak atau aus maka kebutuhan perawatan akan lebih sedikit.
4. Kinerja yang Lebih Handal, kurangnya komponen perantara juga berarti ada lebih sedikit titik kegagalan potensial dalam sistem.
5. Pengurangan Kerugian Mekanis, dengan kopel langsung, kerugian mekanis yang dihasilkan oleh gesekan dan konversi daya dalam komponen perantara dapat diminimalisir.

## 2.5 Teori Momentum *Elementer Betz*

Teori momentum *elementer Betz* berdasarkan pemodelan aliran sederhana dua dimensi ketika angin menyentuh rotor. Menjelaskan prinsip konversi energi angin dalam turbin angin. Kecepatan aliran udara menurun dan garis aliran membelok jika dilihat melalui rotor pada satu bidang. penurunan kecepatan aliran udara disebabkan karena energi kinetika angin diserap ke dalam rotor turbin angin. faktanya, rotor berputar menyebabkan perubahan kecepatan angin sebagai akibat arah tangensial mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil oleh angin.

Menurut teori momentum elementer Betz, ada batasan maksimum seberapa banyak energi kinetik yang dapat diambil dari aliran angin oleh turbin angin. Efisiensi maksimum yang dicapai ketika turbin angin mengambil  $16/27$  atau sekitar 59,3% dari energi kinetik aliran angin. Sisanya,  $1/3$  dari energi kinetik, harus tetap ada untuk menjaga aliran angin setelah melewati turbin. Ini disebabkan oleh sifat aliran fluida di sekitar turbin. Prinsip utama dari teori ini adalah bahwa saat angin melewati turbin, tekanan udara di belakang turbin akan berkurang. Tekanan ini berkurang karena energi kinetik angin diubah menjadi energi mekanis oleh turbin. Namun, tidak mungkin mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi mekanis karena itu akan menghasilkan kevakuman di belakang turbin. Oleh karena itu, sebagian energi kinetik harus tetap ada dalam bentuk energi kinetik setelah melewati turbin (Fadila dkk., 2019).

## 2.6 TSR (*Tip Speed Ratio*)

Rasio kecepatan ujung atau *Tip speed ratio* (TSR) adalah konsep yang umum digunakan di bidang energi angin dan aerodinamika, khususnya dalam desain dan analisis turbin angin. Istilah ini mengacu pada hubungan antara kecepatan ujung sudu turbin angin dan kecepatan angin masuk. Untuk kecepatan angin nominal tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor (Fadila dkk., 2019).

Rasio Kecepatan Ujung (*Tip Speed Ratio* atau TSR) pada turbin angin dihitung dengan membagi kecepatan ujung baling-baling dengan kecepatan angin yang masuk. Secara matematis, rumusnya adalah sebagai berikut:

$$TSR = \frac{R \cdot \omega}{V} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

TSR : *Tip Speed Ratio*

R : Jari-jari rotor (m)

$\omega$  : Kecepatan sudut rotor (rad/s)

v : Kecepatan angin (m/s)

Sementara itu untuk menggunakan rumus TSR, perlu menghitung nilai kecepatan sudut rotor terlebih dahulu menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

N : Putaran (rpm)

## 2.7 Efisiensi

Efisiensi dapat dihitung dengan cara yang berbeda dalam konteks yang berbeda, tetapi pada dasarnya melibatkan perbandingan *output* yang dihasilkan dengan *input* yang dibutuhkan (Fadila dkk., 2019).

### 2.7.1 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin angin adalah ukuran seberapa baik turbin angin mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanis atau energi listrik yang dapat digunakan. Efisiensi ini terutama ditentukan oleh koefisien daya atau *power coefficient* ( $C_p$ ), yang menunjukkan persentase energi angin yang dapat diubah menjadi energi mekanis oleh rotor turbin.

$$C_p = \frac{P_L}{P_A} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

$P_L$  : Daya listrik (watt) ( $V \times I$ )

$P_A$  : Daya angin (watt)

Efisiensi turbin angin adalah ukuran yang menunjukkan seberapa baik energi angin yang tersedia dapat diubah menjadi energi listrik. Meskipun tidak semua energi angin dapat dimanfaatkan karena batasan fisik dan teknis, efisiensi turbin angin modern biasanya berada dalam kisaran 30% hingga 45%, tergantung pada desain dan kondisi operasi.

Untuk mencari efisiensi turbin langkah pertama yaitu mencari efisiensi pembangkit terlebih dahulu, berikut rumus mencari efisiensi pembangkit,

$$\eta_{PLTB} = \frac{P_L}{P_A} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$P_L$  : Daya listrik (watt)

$P_A$  : Daya angin (watt)

Langkah berikutnya untuk menggunakan rumus efisiensi turbin adalah mencari daya turbin menggunakan rumus sebagai berikut,

$$P_T = \eta_{PLTB} \times P_A \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

maka rumus efisiensi turbin adalah sebagai berikut,

$$\eta_{Turbin} = \frac{P_T}{P_A} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

### 2.7.2 Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem turbin angin merujuk pada seberapa efektif turbin angin mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik. Ini melibatkan beberapa komponen utama seperti *blade* (baling-baling), generator, dan sistem

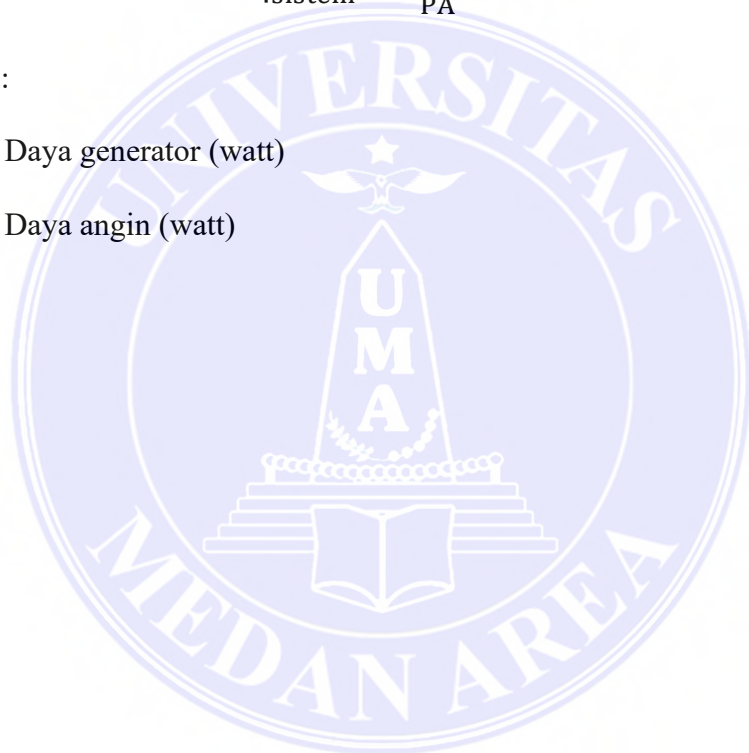
konversi daya. Efisiensi keseluruhan turbin angin adalah hasil dari efisiensi masing-masing komponen tersebut. Jadi, efisiensi sistem turbin angin adalah ukuran penting yang mencerminkan seberapa efektif turbin angin dalam mengubah energi angin menjadi energi listrik yang berguna, dengan mempertimbangkan seluruh proses dari rotor hingga konversi daya. Berikut rumus untuk menghitung efisiensi sistem turbin angin,

$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{P_g}{P_A} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

$P_g$  : Daya generator (watt)

$P_A$  : Daya angin (watt)





## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

#### 3.1.1 Lokasi Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di CV. Ira Publishing, perumahan graha garuda mas blok II No. 39, Deli Serdang, Sumatera Utara.

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah :

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	2023/2024											
	Jul	Sep	Des	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	
Pengajuan Judul	■											
Penulisan Proposal		■										
Seminar Proposal			■									
Proses Penelitian				■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pengolahan Data								■	■	■	■	■
Penyelesaian Laporan										■	■	■
Seminar Hasil											■	■
Evaluasi dan persiapan Sidang												■
Sidang Sarjana												■

## 3.2 Instrumen dan Bahan

### 3.2.1 Instrumen Perancangan

Alat-alat yang digunakan untuk merancang turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) adalah :

a. AutoCAD

AutoCAD adalah perangkat lunak desain berbantu komputer (CAD) yang dikembangkan dan dipasarkan oleh *Autodesk*. AutoCAD banyak digunakan untuk membuat gambar 2D dan 3D, pembuatan denah, pemodelan, dan dokumentasi dalam berbagai industri seperti arsitektur, rekayasa, konstruksi, dan manufaktur, pada penelitian ini *software* AutoCAD yang digunakan yaitu *software* tahun 2021.

b. Pensil

Pensil adalah alat tulis yang digunakan untuk membuat tanda atau gambar pada permukaan kertas atau media lainnya. Dalam perancangan ini pensil berfungsi untuk pembuatan sketsa. Berikut gambar pensil pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Pensil

c. Mistar atau Penggaris

Mistar atau penggaris biasa digunakan saat menentukan jajaran suatu Lukis gambar. Alat ini sering digunakan oleh pelukis untuk merancang ide gagasan. Mistar atau penggaris dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Penggaris

d. Penghapus

Penghapus adalah alat yang digunakan untuk menghapus atau menghilangkan tanda yang dibuat dengan pensil atau bahan tulis yang dapat dihapus lainnya dari permukaan kertas atau media lainnya. pulpen dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Penghapus

e. Pulpen

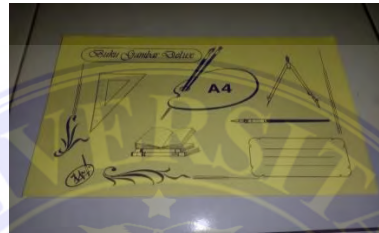
Pulpen merupakan alat tulis yang mempunyai berbagai ragam warna, pulpen dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Pulpen

f. Buku Gambar

Buku gambar adalah sebuah buku yang berisi halaman-halaman kosong atau bergaris yang dirancang khusus untuk menggambar atau membuat sketsa. Buku ini memberikan ruang bagi seseorang untuk mencatat gagasan, membuat gambar, mengembangkan desain, atau melukis, buku gambar dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Buku Gambar

### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada proses penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, yaitu metode kuantitatif. Dimana metode penelitian ini bertujuan untuk Mengukur aspek tertentu dari rancangan menggunakan data numerik dan statistik, seperti dalam uji coba atau eksperimen. Metode penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut :

a. Sistematika Penelitian

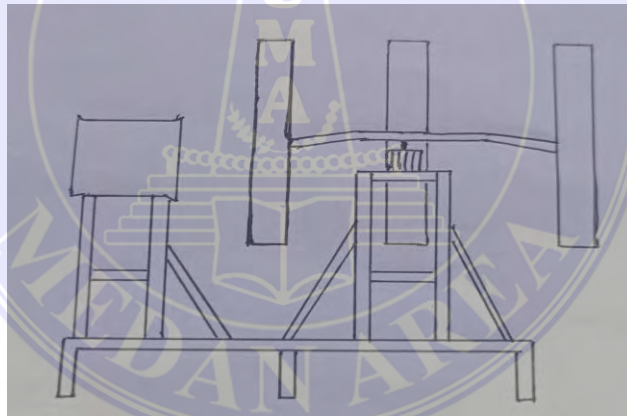
Sistematis yang digunakan pada perancangan ulang turbin angin sumbu vertikal sebagai berikut :

1. Studi literatur dengan cara mencari dan mengumpulkan sumber informasi yang menjadi acuan.
2. Desain penelitian, menentukan desain penelitian yang akan digunakan, seperti survey, eksperimen, atau studi korelasi.

3. Pengambilan data, Data dikumpulkan menggunakan instrumen yang terstandarisasi, seperti kuesioner, tes, atau alat pengukuran lainnya. Data yang dikumpulkan berbentuk angka atau skor.
4. Analisis data, Data dianalisis menggunakan teknik statistik untuk menjawab pertanyaan peneliti.
5. Menarik kesimpulan.

b. Pembuatan Sketsa Perancangan

Pembuatan rancangan menggunakan proyeksi amerika standart operasional prosedur. Dalam merancang turbin angin, digunakan AutoCAD sebagai pandangan atas, pandangan depan, dan pandangan samping. Berikut gambar 3.6 Pembuatan sketsa perancangan.



Gambar 3.6. Sketsa perancangan

### 3.4 Populasi dan Sampel

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang di inginkan, yang menjadi populasi penelitiannya yaitu seluruh proses perancangan turbin angin sumbu vertikal atau pokok yang menjadi fokus tujuan penelitian ini meliputi pembuatan



sketsa perancangan, pemilihan material, pengadaan bahan bahan, pembuatan, perakitan, pengujian hingga analisis hasil pengujian.

Sampel penelitian adalah Sebagian kecil elemen yang diambil dari populasi penelitian yang di ambil secara acak berdasarkan ciri tertentu yang selaras dengan tujuan penelitian. Pada studi ini yang menjadi sampel penelitian adalah alat dan bahan penelitian yang akan di analisis dari desain perancangan yang dipilih dan kekuatan bahan pembuatan.

#### 3.4.1 Variabel Penelitian

Berikut variabel penelitian, yang meliputi variabel bebas, terikat dan terkontrol, serta dengan sub variabel, diskriptor, dan instrumen penelitian

Tabel 3.2. Variabel penelitian

No.	Variabel	Sub Variabel dan Diskriptor	Instrumen
1.	Variabel Bebas :		
	Kecepatan Angin	Sub Variabel : Kecepatan angin rata rata Diskriptor : Nilai rata-rata kecepatan angin yang diterima turbin dalam satu periode waktu.	Anemometer
	Ketinggian Turbin	Sub-variabel: Kecepatan Angin pada Ketinggian Tertentu Deskriptor: Kecepatan angin yang diukur pada ketinggian spesifik dari permukaan tanah. Kecepatan angin biasanya meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian.	
	Luas Sapuan	Sub-variabel: Diameter Rotor ( <i>Rotor Diameter</i> ), Tinggi Rotor ( <i>Rotor Height</i> ) Deskriptor: Panjang bilah dari ujung ke ujung yang menentukan ukuran keseluruhan area sapuan. luas sapuan dan potensi energiditangkap.	

No.	Variabel	Sub Variabel dan Diskriptor	Instrumen
	Jumlah Sudu	<p>Sub-variabel: Torsi yang Dihasilkan (<i>Torque Generation</i>), Efisiensi Penangkapan Energi (<i>Energy Capture Efficiency</i>)</p> <p>Deskriptor: Torsi yang dihasilkan oleh turbin sebagai akibat dari jumlah sudu. Jumlah sudu yang lebih banyak biasanya menghasilkan torsi yang lebih besar, yang penting untuk memulai rotasi turbin pada kecepatan angin rendah, pengaruh jumlah sudu terhadap koefisien daya (<i>power coefficient, Cp</i>) turbin.</p>	
2.	Variabel Terikat		
	Daya yang dihasilkan	<p>Sub-variabel: Daya Rata-rata (<i>Average Power Output</i>)</p> <p>Deskriptor: Nilai rata-rata daya yang dihasilkan turbin selama periode waktu tertentu. Ini mencerminkan performa turbin dalam kondisi operasi normal.</p>	
	Tegangan (V)	<p>Sub-variabel: Tegangan Output Turbin (<i>Turbine Output Voltage</i>)</p> <p>Deskriptor: Tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin angin yang disuplai ke sistem kelistrikan atau beban. Tegangan ini bergantung pada kecepatan angin dan karakteristik generator.</p>	Voltmeter
	Arus (A)	<p>Sub-variabel: Arus Output Turbin (<i>Turbine Output Current</i>)</p> <p>Deskriptor: Arus listrik yang dihasilkan oleh turbin angin yang mengalir ke sistem kelistrikan atau beban.</p>	Amperemeter

No.	Variabel	Sub Variabel dan Diskriptor	Instrumen
	Putaran (rpm)	Sub-variabel: Rasio Kecepatan Ujung Bilah ( <i>Tip Speed Ratio</i> , TSR)  Deskriptor: Rasio antara kecepatan ujung bilah dan kecepatan angin, yang mempengaruhi efisiensi.	Tachometer
	Efisiensi Turbin	Sub-variabel: Koefisien Daya ( <i>Power Coefficient</i> , Cp), Luas Sapuan Rotor ( <i>Rotor Swept Area</i> ), Kecepatan Angin ( <i>Wind Speed</i> ).  Deskriptor: Rasio antara daya yang dihasilkan oleh turbin dan daya kinetik angin yang tersedia. Koefisien daya menunjukkan seberapa baik turbin mengonversi energi angin menjadi energi mekanik, Area yang dilalui oleh bilah turbin saat berputar. Luas sapuan yang lebih besar biasanya meningkatkan efisiensi penangkapan energi angin, Kecepatan angin di lokasi turbin, yang mempengaruhi jumlah energi kinetik yang tersedia untuk dikonversi. Efisiensi turbin dapat bervariasi dengan kecepatan angin.	
	Efisiensi Sistem	Sub-variabel: Efisiensi Konversi Energi ( <i>Energy Conversion Efficiency</i> ), Efisiensi Mekanis ( <i>Mechanical Efficiency</i> ).  Deskriptor: Efisiensi dalam mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik melalui rotor, dan kemudian menjadi energi listrik melalui generator, Efisiensi transmisi energi dari rotor ke generator, termasuk melalui poros, roda gigi, dan komponen mekanis lainnya.	

No.	Variabel	Sub Variabel dan Diskriptor	Instrumen
3.	Variabel Terkontrol		
	Beban Listrik	Sub-variabel: Jenis Beban ( <i>Load Type</i> )  Deskriptor : Jenis beban listrik yang terhubung ke turbin, seperti beban resistif (misalnya lampu pijar), beban induktif (misalnya motor), atau beban kapasitif (misalnya kapasitor).	
	Putaran (rpm)	Sub-variabel: Rasio Kecepatan Ujung Bilah ( <i>Tip Speed Ratio, TSR</i> )  Deskriptor: Rasio antara kecepatan ujung bilah dan kecepatan angin, yang mempengaruhi efisiensi.	Tachometer
	Ketinggian Turbin	Sub-variabel: Kecepatan Angin pada Ketinggian Tertentu  Deskriptor: Kecepatan angin yang diukur pada ketinggian spesifik dari permukaan tanah. Kecepatan angin biasanya meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian.	
	Kondisi Lingkungan	Sub-variabel: Kecepatan Angin ( <i>Wind Speed</i> ), Ketinggian Lokasi ( <i>Altitude</i> ), Suhu ( <i>Temperature</i> ), Tekanan Udara ( <i>Air Pressure</i> ).  Deskriptor: Kecepatan angin di lokasi turbin yang mempengaruhi daya yang dihasilkan. Turbin angin dirancang untuk bekerja optimal pada rentang kecepatan angin tertentu, Ketinggian tempat pemasangan turbin dari permukaan laut, yang dapat mempengaruhi densitas udara dan, dengan demikian, energi yang tersedia dalam angin, Pengaruh suhu harian dan musiman terhadap performa material, sistem pendingin, dan efisiensi energi turbin, Pengaruh perubahan tekanan udara.	

No.	Variabel	Sub Variabel dan Diskriptor	Instrumen
	Kecepatan Angin Saat Pengujian	<p>Sub-variabel: Kecepatan Angin Rata-rata (<i>Average Wind Speed</i>), Kecepatan Angin Maksimum (<i>Maximum Wind Speed</i>), Kecepatan Angin Minimum (<i>Minimum Wind Speed</i>).</p> <p>Diskriptor : Kecepatan angin rata-rata yang diukur selama periode pengujian. Ini memberikan gambaran umum tentang kondisi angin yang dialami turbin selama pengujian, Nilai tertinggi kecepatan angin yang dicapai selama pengujian. Kecepatan maksimum ini penting untuk menguji batas kemampuan turbin dan stabilitas operasional, Nilai terendah kecepatan angin yang tercatat selama pengujian. Ini penting untuk memahami performa turbin dalam kondisi angin rendah.</p>	Anemometer

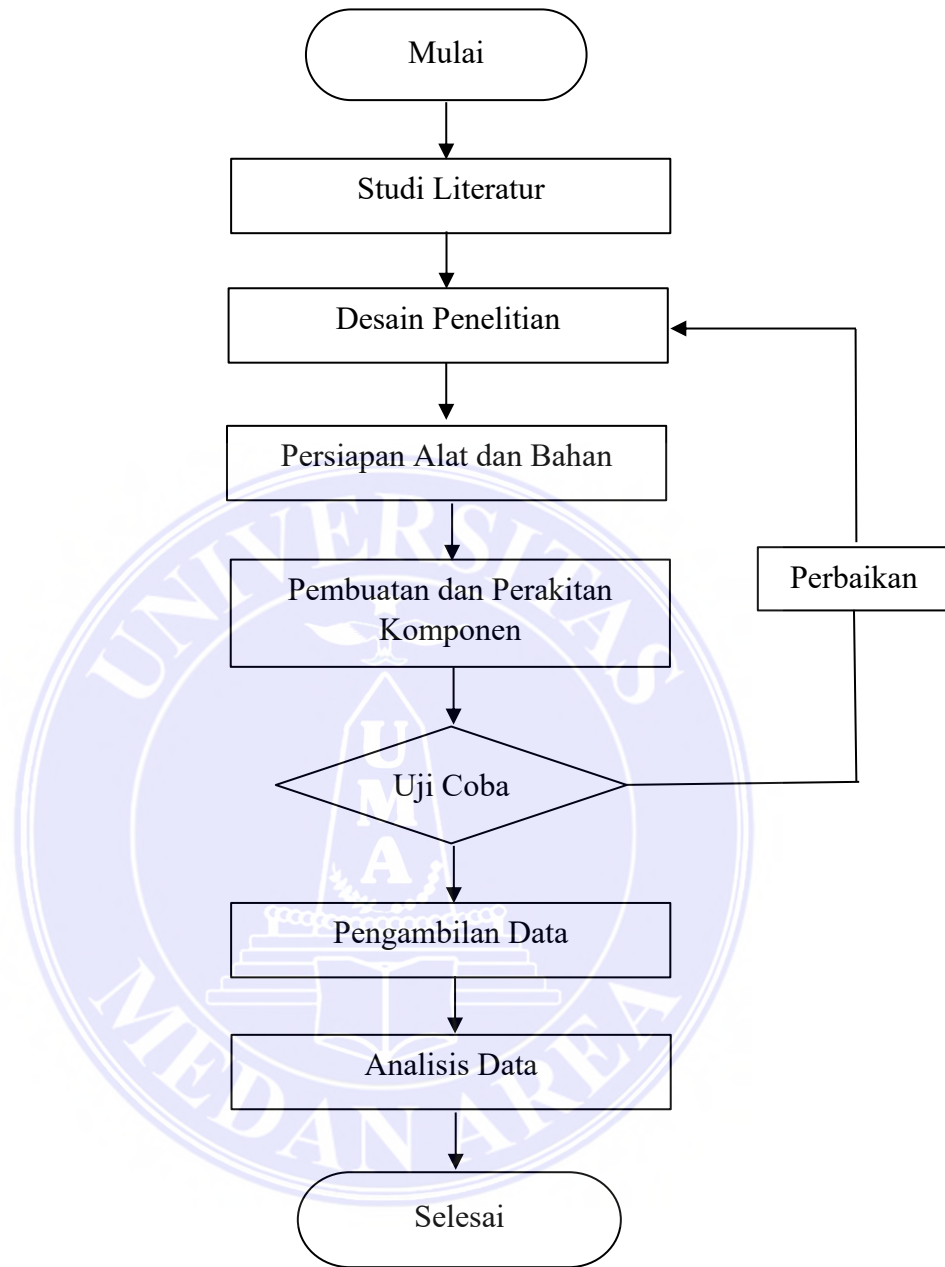
### 3.5 Prosedur Kerja

Berikut ini adalah proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pembuatan desain rancangan.
- b. Perakitan komponen.
- c. Melakukan pengujian hasil rancangan.
- d. Perhitungan data hasil pengujian
- e. Menyusun laporan penelitian.



### 3.5.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian

## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil rancangan dan uji coba diatas, maka kesimpulan yang dapat penulis simpulkan adalah sebagai berikut :

1. Variasi kecepatan angin yang digunakan pada penelitian ini terdapat tiga variasi dengan daya angin yang berbeda yaitu kecepatan 10,3 m/s dengan daya angin 118,01 watt, kecepatan 9,7 m/s daya angin yang dihasilkan 98,56 watt, dan kecepatan angin 7,5 m/s daya angin sebesar 45,56 watt.
2. Putaran pada rotor tubin dilakukan dengan dua pengukuran yaitu dengan beban dan tanpa beban dengan variasi kecepatan angin yang sama, yaitu kecepatan angin 10,3 m/s putaran yang dihasilkan tanpa beban adalah 102 rpm sedangkan dengan beban 51 rpm, pada kecepatan angin 9,7 m/s putaran tanpa beban yaitu sebesar 96 rpm dan 48 rpm dengan beban, sedangkan pada kecepatan angin 7,5 m/s putaran tanpa beban sebesar 52 rpm dan dengan beban sebesar 26 rpm.
3. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan turbin angin pada variasi kecepatan angin 10,3 m/s didapat tegangan sebesar 3,4 volt dan arus 0,4 ampere, pada kecepatan angin 9,7 m/s tegangan yang didapatkan 3,0 volt dan arus 0,2 ampere, sedangkan kecepatan angin 7,5 m/s didapatkan tegangan 2,7 volt dan arus 0,1 ampere.
4. Daya listrik yang dihasilkan turbin angin sumbu vertikal pada variasi kecepatan angin 10,3 m/s didapatkan daya listrik sebesar 1,36 watt,

kecepatan angin 9,7 m/s dan 7,5 m/s daya listrik yang dihasilkan adalah 0,6 watt dan 0,27 watt.

5. Efisiensi pada rancangan turbin angin yang didapatkan pada kecepatan angin 10,3 m/s yaitu sebesar 1,1 % efisiensi sistem, 0,011 % efisiensi pembangkit, dan 0,01 % efisiensi turbin.
6. Efisiensi pada rancangan turbin angin pada kecepatan angin 9,7 m/s yaitu, 0,6 % efisiensi sistem, 0,006 % efisiensi pembangkit, 0,005 % efisiensi turbin.
7. Efisiensi pada rancangan turbin angin yang didapatkan pada kecepatan angin 7,5 m/s yaitu sebesar 0,5 % efisiensi sistem, 0,005 % efisiensi pembangkit, dan 0,004 % efisiensi turbin.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil pembahasan pada paparan diatas, maka saran yang dapat penulis paparkan adalah sebagai berikut :

1. Turbin angin sebaiknya dibuat lebih ringan tetapi harus kuat, supaya mampu berputar pada kecepatan angin yang rendah.
2. Generator pada turbin angin baiknya menggunakan generator yang *low rpm*, supaya pada kecepatan angin rendah dapat menghasilkan listrik, dan pada kecepatan angin tinggi menghasilkan daya yang besar.
3. Rancangan dan pembuatan *blade* harus lebih diperhatikan, supaya mendapatkan hasil maksimal.
4. Pada saat pengujian pastikan alat-alat pengujian berfungsi dengan baik, supaya hasil pengujian lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, I., Nurdin, J., & Hasanuddin, H. (2006). Kajian Potensi Energi Angin Di Daerah kawasan Pesisir Pantai Serdang Bedagai Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Mekanik*, 2(1), 329147.
- Estrada, L. M. E., Mt, S. T., Natsir, A., & Mt, S. T. (n.d.). Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil Design Vertical Axis Wind Turbine Type (Savonius ) As Generating Electric Wind Power Small Scale.
- Fadila, A., Zakaria, I., Fauzan, M., & Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang Jl Sudarto, J. H. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin TlIpe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga Dengan Profil NACA 0006. In *Eksergi Jurnal Teknik Energi* (Vol. 15, Issue 3). <http://indonesia.windprospecting.com/>
- Indriani, A., Manurung, G., & Daratha, N. (n.d.). Perancangan Turbin Sumbu Horizontal dan Sumbu Vertikal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Studi Kasus di Kota Bengkulu).
- Jaka Ariazena, R., & Suprayitno, A. (n.d.). Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) Savonius 3 Sudu.
- Lubis, Z. (2018). Metode Baru Merancang Sistemmekanis Kincir Angin Pembangkit Listrik Tenaga Angin. In *Journal of Electrical Technology* (Vol. 3, Issue 3).
- Maulana, Y., & Sidiq, A. (2018). Perancangan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Jenis Straight Blade. *Jurnal JIEOM*, 1(2), 35–38.
- Mulkan, A., & Abd, M. (2022). Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik UNIDA*, 3(1).
- Murniati, M. E. (2022). Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Pembangkit Enegi Listrik Tenaga Angin Di Daerah Banyuwangi Kota Menggunakan Database Online BMKG. *Jurnal Surya Energy*, 6(1). <https://doi.org/10.32502/jse.v6i1.3364>
- Napitupulu, F. H., & Siregar, S. (2013). Perancangan Turbin Vertikal Axis Savonius Dengan Menggunakan 8 Buah Sudu Lengkung. *Jurnal Dinamis*, I(13).
- Perbandingan Efisiensi Yang Dihasilkan Dari Jumlah Blade, M., Jumlah Blade, D., Cipto Hasibuan, S., Purba, R., Widodo, B., Korespondensi, A., Kunci, K., Angin, T., & dan Efisiensi, D. (2018). Rancang Bangun Prototipe Turbin Angin Guna. *Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro*, 1, 2686–1534.
- Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, M., Teknik Mesin, J., Negeri Sriwijaya, P., Srijaya Negara, J., Besar -Palembang, B., Meidian Pratama, R., Arifin, F., Sundari, E., Okviyanto, T., & Satria Martomi, E. (2023). Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Sebagai Pembangkit Listrik (Skala Laboratorium) Informasi Artikel Abstrak. 4(3), 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10122311>

## LAMPIRAN

