

**ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN DI DESA SIGARA  
GARA SEBAGAI PENGGERAK *VERTICAL AXIS WIND*  
*TURBINE (VAWT)***

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**ARGA ARDHIKA VITA MARU SIDABUTAR  
198130072**



**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**

**ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN DI DESA SIGARA  
GARA SEBAGAI PENGGERAK *VERTICAL AXIS WIND  
TURBINE (VAWT)***

**SKRIPSI**

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

**Oleh:**

**ARGA ARDHKA VITA MARU SIDABUTAR  
198130072**

**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  
Access From (repository.uma.ac.id)17/1/25

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Potensi Energi Angin di Desa Sigara Gara  
Sebagai Penggerak *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*  
Nama Mahasiswa : Arga Ardhika Vita Maru Sidabutar  
NPM : 198130072  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh

(Komisi Pembimbing)



Dr. Jufrizal, ST, MT

Pembimbing I



Dr. Nurhikmah, ST, MT  
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Iswandi, ST, MT  
Ka. Prodi

Tanggal Lulus : 03 September 2024

 Dilarang dengan CamScanner

## 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 dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 03 September 2024



Arga Ardhika Vita Maru Sidabutar  
198130072



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

Nama : Arga Ardhika Vita Maru Sidabutar

NIM : 198130072

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, Menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Potensi Energi Angin di Desa Sigara Gara Sebagai Penggerak Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Dengan Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area Berhak menyimpan, mengalih mediakan / formatkan, mengelola dalam bentuk data (data base ), 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 sebenar-benarnya.

Medan, 03 September 2024

Saya Yang Menyatakan



Arga Ardhika Vita Maru Sidabutar

198130072

## ABSTRAK

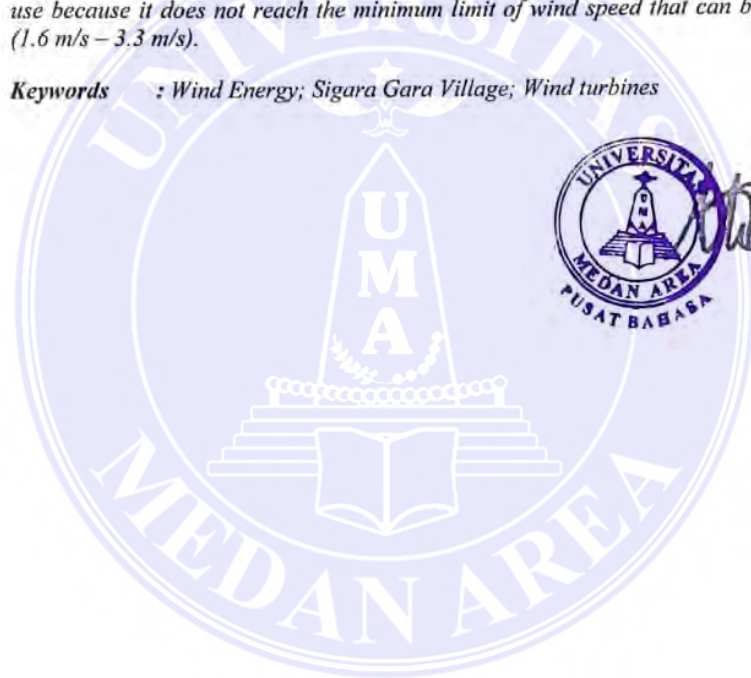
Pemanfaatan sumber energi angin di Indonesia khususnya kawasan pedesaan masih sangat sedikit, Salah satu pemanfaatan energi angin adalah dengan menggunakan turbin angin sebagai komponen utama. Turbin angin yang telah ada dipasaran dunia juga tidak dapat begitu saja dipasang dan dioperasikan di wilayah Indonesia. Ini karena perbedaan karakteristik tenaga angin. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik angin di daerah Kawasan pedesaan. Analisis Potensi Energi Angin ini menggunakan data sekunder kecepatan angin tahun 2021 milik CV. Ira Publishing yang ada di Desa Sigara Gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analitik dengan menganalisa data kecepatan angin serta menghitung daya efektif dari angin. Hasil analisa menunjukkan bahwa energi angin yang ada di wilayah desa sigaragara tidak berpotensi untuk dimanfaatkan karena kecepatan angin rata-rata pertahun hanya mencapai 0,7 m/s, dan daya efektif yang dihasilkan turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*) dengan luas penampang 1 meter dari kecepatan angin tersebut adalah 0,161 W. Kecepatan angin rata-rata tersebut tidak memenuhi kriteria kelayakan untuk didaya gunakan karena tidak menyentuh batas minimum kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan (1,6 m/s – 3,3 m/s).

**Kata Kunci** : Energi Angin;Desa Sigara Gara;Turbin angin

## ABSTRACT

*There is still very little use of wind energy sources in Indonesia, especially in rural areas. One of the uses of wind energy is to use wind turbines as the main component. Wind turbines that already exist on the world market cannot simply be installed and operated in Indonesia. This is due to differences in wind power characteristics. For this reason, further research needs to be carried out to determine the characteristics of wind in rural areas. This analysis of wind energy potential uses secondary data on wind speed for 2021 belonging to CV. Ira Publishing is in Sigara Gara Village, Patumbak District, Deli Serdang Regency, North Sumatra Province. The method used in this research is an analytical method by analyzing wind speed data and calculating the effective power of the wind. The analysis results show that the wind energy in the Sigaragara village area does not have the potential to be utilized because the average annual wind speed only reaches 0.7 m/s, and the effective power produced by a vertical axis wind turbine (VAWT) with a cross-sectional area of 1 meter from the speed The wind is 0.161 W. The average wind speed does not meet the eligibility criteria for use because it does not reach the minimum limit of wind speed that can be used (1.6 m/s – 3.3 m/s).*

**Keywords** : Wind Energy; Sigara Gara Village; Wind turbines



## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Pematang Siantar pada tanggal 26 Maret 2000 dari ayah Hirasman Sidabutar dan ibu Erida Ambarita. Penulis merupakan putra ke lima dari lima bersaudara.

Tahun 2018 penulis lulus dari SMK Swasta Persiapan Pematang Siantar dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis juga bekerja sebagai mekanik di CV. AS Jl. Medan-Binjai Kilometer 12 pada tahun 2018 hingga 2020 dan juga Kawasan Industri Medan pada tahun 2022 hingga 2023.

Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PKS Pagar Merbau PT. Perkebunan Nusantara II.





## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur senantiasa terpanjatkan kehadiran Tuhan Yesus Kristus, karena dengan berkat dan penyertaan Nya maka penulis dapat menyelesaikan Penulisan proposal Skripsi ini. Yang mana sudah menjadi kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Adapun Judul skripsi ini adalah : “Analisis Potensi Energi Angin di Desa Sigara Gara Sebagai Penggerak *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*”

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Dr. Jufrizal, ST, MT selaku pembimbing yang telah banyak mmemberi saran dalam penulisan skripsi ini. Disamping itu ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada bapak DR. Rahmadsyah, S. Kom, M. Kom selaku Dekan Fakultas Teknik dan Bapak Muhammad Idris, ST, MT selaku ketua program studi yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada kedua Orang Tua penulis Bapak Hirasman Sidabutar Dan Ibu Erida Ambarita yang telah banyak memberi dukungan moral dan juga materil serta kepada seluruh keluarga atas Doa dan perhatiannya. Begitu juga ungkapan terima kepada kasih kepada CV. IRA PUBLISHING Stasiun Pemantauan Cuaca Komplek Graha Garuda Mas Desa Sigara Gara yang telah memberikan data kecepatan angin untuk keperluan pada proses penelitian ini. Terima kasih juga diucapkan kepada semua teman teman seperjuangan mahasiswa Teknik mesin stambuk 2019 yang telah memberi dorongan semangat dan motivasi dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangan penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun Masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Medan, 03 September 2024



Arga Ardhika Vita Maru Sidabutar

198130072

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
HALAMAN PERNYATAAN .....	ii
ABSTRAK .....	v
RIWAYAT HIDUP .....	vii
KATA PENGANTAR.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Hipotesis Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Angin .....	6
2.2 Potensi Energi Angin.....	10
2.3 Turbin Angin.....	14
2.4 Turbin Angin Sumbu Horizontal ( <i>Horizontal Axis Wind Turbine</i> ).....	15
2.5 Turbin Angin Sumbu Vertikal ( <i>Vertical Axis Wind Turbine</i> ) .....	19
2.6 Teori Momentum Elementer Betz .....	28
2.7 TSR (Tip Speed Ratio) .....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	34
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	34
3.2 Peralatan Penelitian .....	35
3.3 Metode penelitian .....	38
3.4 Populasi dan sampel .....	39
3.5 Prosedur Kerja.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Hasil.....	43
4.2 Pembahasan .....	60
4.3 Tabel Tingkatan Kecepatan Angin Yang Dapat Dimanfaatkan .....	64
BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....	66
5.1 Simpulan.....	66
5.2 Saran .....	66
DAFTAR PUSTAKA .....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Skala Beaufort	12
Tabel 2.2. Tingkat kecepatan angin 10 meter di Atas Tanah	13
Tabel 2.3. Kelebihan dan kekurangan TASH	17
Tabel 2.4. Kelebihan dan kekurangan TASV	22
Tabel 3.1. Jadwal tugas akhir	34
Tabel 3.2. Spesifikasi Anemometer WS-WH6007-1 Misol	36
Tabel 4.1. Kecepatan rata-rata angin harian bulan januari	44
Tabel 4.2. Kecepatan rata-rata angin harian bulan februari	45
Tabel 4.3. Kecepatan rata-rata angin harian bulan maret	46
Tabel 4.4. Kecepatan rata-rata angin harian bulan april	48
Tabel 4.5. Kecepatan rata-rata angin harian bulan mei	49
Tabel 4.6. Kecepatan rata-rata angin harian bulan juni	50
Tabel 4.7. Kecepatan rata-rata angin harian bulan juli	52
Tabel 4.8. Kecepatan rata-rata angin harian bulan agustus	53
Tabel 4.9. Kecepatan rata-rata angin harian bulan september	54
Tabel 4.10. Kecepatan rata-rata angin harian bulan oktober	56
Tabel 4.11. Kecepatan rata-rata angin harian bulan november	58
Tabel 4.12. Kecepatan rata-rata angin harian bulan desember	59
Tabel 4.13. Tabel Kecepatan rata-rata angin 12 bulan	62

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2. TASH dipasang di laut utara Belgia menggubakan turbin 5 MW	16
Gambar 2.3. Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara	17
Gambar 2.4. Turbin angin sumbu horizontal berdasarkan jumlah sudu	17
Gambar 2.5. Turbin Angin Sumbu Vertikal	21
Gambar 2.6. Turbin angin darrieus	21
Gambar 2.7. Turbin angin savonius	22
Gambar 2.8. Blade turbin angin sumbu vertikal	24
Gambar 2.9. Generator	26
Gambar 2.10. Prinsip kerja generator	27
Gambar 3. 1. Anemometer WS-WH6007-1 Misol	37
Gambar 4.1. Grafik kecepatan angin harian bulan januari	43
Gambar 4.2. Grafik kecepatan angin harian bulan februari	44
Gambar 4.3. Grafik kecepatan angin harian bulan maret	46
Gambar 4.4. Grafik kecepatan angin harian bulan april	47
Gambar 4.5. Grafik kecepatan angin harian bulan mei	48
Gambar 4.6. Grafik kecepatan angin harian bulan juni	50
Gambar 4.7. Grafik kecepatan angin harian bulan juli	51
Gambar 4.8. Grafik kecepatan angin harian bulan agustus	53
Gambar 4.9. Grafik kecepatan angin harian bulan september	54
Gambar 4.10. Grafik kecepatan angin harian bulan oktober	56
Gambar 4.11. Grafik kecepatan angin harian bulan november	57
Gambar 4.12. Grafik kecepatan angin harian bulan desember	59
Gambar 4.13 Grafik kecepatan rata-rata angin perbulan	63

## DAFTAR NOTASI

$E$	= Energi kinetis
$m$	= Laju aliran udara
$V$	= Kecepatan angin
$A$	= Luas penampang blok udara
$\rho$	= Kerapatan udara
$P$	= Energi yang dihasilkan per satuan waktu
$E_a$	= Daya efektif turbin
$C_p$	= Koefisien daya turbin
$D$	= Diameter turbin
$\eta_{tr}$	= Efisiensi turbin
$\eta_g$	= Efisiensi generator
$\eta_b$	= Efisiensi baterai
$c$	= Konstanta
$n$	= Kecepatan (rad/s)
$\Phi$	= Fluks (welber)
$E$	= ggl Induksi (volt)
$B$	= Induksi magnet (T)
$l$	= Panjang kawat (m)
$v$	= Kecepatan potong medan (rad/s)
$v'$	= Kecepatan aliran udara pada rotor (m/detik)
$F$	= Gaya (N)
$P_0$	= Power output
$\rho$	= Massa jenis udara (kg/ m <sup>3</sup> )

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi final Indonesia terus meningkat, dilansir dari situs resmi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, kebutuhan listrik di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 1.172kWh/kapita dan akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi Indonesia yang ditargetkan mencapai 5,3% ditahun 2023. Untuk itu, diperlukan penambahan kapasitas pembangkit yang berasal dari energi baru terbarukan (EBT) (Humas EBTKE, 2023).

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No.79 Tahun 2014 tentang kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai bauran energi primer tersebut (Djoko Siswanto, Sugeng Mujiyanto, 2019).

Energi terbarukan adalah energi yang dapat diperbaharui secara terus-menerus. Menurut (Al Hakim, 2020), Negara indonesia mempunyai energi terbarukan yang melimpah diantaranya energi angin, energi surya, energi air, panas bumi, bioenergy, energi nuklir, dan energi arus laut. Salah satu energi yang berkembang yaitu energi angin. Pemanfaatan sumber energi angin di indonesia masih sangat sedikit, hal tersebut dimungkinkan karena teknologi atau

pengetahuan yang belum populer, arah angin di Indonesia mudah berubah-ubah dan kecepatannya berfluktuasi dan kurang ekonomis. Namun daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternative lainnya (Mulkan & Abd, 2022).

Seperti dilansir dari situs resmi Balai Besar Survei dan Pengujian Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, target kapasitas PLT-Angin (pembangkit listrik tenaga angin) pada tahun 2025 adalah 225 MW. Sementara terhitung hingga tahun 2020 PLT-Angin baru terpasang sekitar 135 MW dengan perincian 75 MW di daerah Sidrap dan sebesar 60 MW di daerah Janeponto. Dengan demikian pengembangan energi angin di Indonesia masih menjadi tantangan nasional.

Salah satu pemanfaatan energi angin adalah dengan menggunakan turbin angin sebagai komponen utama. Energi angin dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengurangan emisi karena tidak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> selama produksi energi listrik oleh turbin angin. Turbin angin yang paling banyak digunakan adalah turbin angin dengan sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT*) dimana dalam penggunaannya harus dengan aliran angin yang berkecepatan tinggi dan arah angin yang sesuai dengan arah turbin. Tetapi pada daerah dengan kecepatan angin rendah seperti lembah dan pedesaan lebih efektif jika menggunakan jenis turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine/VAWT*) secara khusus diartikan turbin angin yang memerlukan dorongan tenaga angin kecil (Aditya Setiawan Aziz dkk., 2020).

*Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* atau turbin angin sumbu vertikal memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin yang rendah, turbin jenis ini juga mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*) dapat beroperasi secara efisien dalam perubahan arah angin, ukuran dan design nya yang ringkas membuat turbin jenis ini dapat dipasang diberbagai lokasi dengan kecepatan angin rendah seperti atap, balkon dan dinding.

Turbin angin yang telah ada dipasaran dunia juga tidak dapat begitu saja dipasang dan dioperasikan di wilayah Indonesia. Ini karena perbedaan karakteristik tenaga angin. Ketersediaan peta potensi energi angin yang akurat di seluruh wilayah Indonesia sangat diperlukan sebagai langkah awal dalam identifikasi dan pemilihan lokasi proyek energi angin. Peta tersebut memberikan informasi mengenai karakteristik angin di berbagai wilayah seperti kecepatan angin rata-rata, kecepatan maksimum dan minimum yang dapat dikonversi menjadi peta rapat daya dan peta energi tahunan (dalam kWh/ atau  $W/m^2$ ). Informasi tersebut sangat berguna sebagai dasar penentuan lokasi dan pemilihan teknologi turbin yang tepat. Untuk itu perlu dilakukan penelitian-penelitian lebih lanjut untuk mengetahui berapa kecepatan angin maksimum, minimum, dan rata-rata di daerah kawasan pedesaan serta menganalisa kecepatan angin yang didapat selama penelitian, sehingga diperoleh kesimpulan terkait potensi energi angin sebagai penggerak turbin.

Penelitian dan Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Penggerak Turbin angin sumbu vertikal ini akan di lakukan di Desa Sigara gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara.



## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana potensi energi angin yang ada di desa Sigara Gara?
- b. Berapakah kecepatan angin maksimum, minimum, dan rata-rata di desa sigara gara?
- c. Berapa besar energi angin yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik di desa Sigara Gara?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untu

- a. Untuk mengetahui potensi energi angin yang ada di desa Sigara Gara.
- b. Untuk mengetahui kecepatan angin maksimum, minimum dan rata-rata di desa Sigara Gara.
- c. Untuk Mengetahui daya efektif dari angin yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*).

## 1.4 Hipotesis Penelitian

Kawasan desa Sigara Gara memiliki potensi energi angin yang cukup signifikan meskipun kecepatan angin rata-rata tergolong rendah, karena faktor topografi dan turbulensi yang dapat meningkatkan efisiensi turbin angin kecil dibandingkan dengan daerah dataran rendah lainnya di kawasan kabupaten deli serdang yang memiliki kecepatan angin lebih tinggi namun kurang bervariasi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti
  - a. Memberikan manfaat bagi peneliti untuk menjelaskan tentang proses apa saja yang dilalui untuk pemanfaatan energi terbarukan khususnya energi angin.
  - b. Mengimplementasikan teori dan ilmu yang telah didapat selama dalam perkuliahan dalam bidang pemanfaatan energi terbarukan.
2. Bagi akademisi
  - a. Sebagai bahan literatur untuk mengembangkan turbin angin sumbu vertikal dan pemanfaatan energi angin yang lebih optimal. Dan sebagai bahan studi untuk mempelajari energi terbarukan khususnya energi angin.
3. Bagi pemerintah
  - a. Sebagai pendukung kebijakan pemerintah untuk mengembangkan potensi energi terbarukan dan energi alternatif di Indonesia.
  - b. Hasil penelitian diharapkan berguna sebagai bahan evaluasi untuk pemanfaatan energi angin di Indonesia khususnya di kawasan Kabupaten Deli Serdang.
4. Bagi masyarakat
  - a. Mendorong masyarakat untuk lebih mandiri dalam memenuhi kebutuhan energinya juga sebagai bahan evaluasi masyarakat setempat dalam pengembangan infrastruktur lokal.
  - b. Menciptakan peluang kerja di bidang instalasi, pemeliharaan dan produksi perangkat energi terbarukan di masyarakat.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Angin

Angin adalah Gerakan udara yang terjadi diatas permukaan bumi. Pergerakan ini tidak terjadi begitu saja, melainkan dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kondisi lingkungan. Suhu dan tekanan udara adalah dua faktor utama yang sangat mempengaruhi pergerakan angin. Angin terjadi karena adanya perbedaan suhu dan tekanan udara.

Udara yang hangat cenderung naik karna menjadi lebih ringan. sebaliknya, udara dingin lebih berat dan cenderung turun, perbedaan suhu ini menciptakan perbedaan tekanan udara. Tekanan udara adalah gaya yang diberikan oleh berat udara di atas suatu titik. Daerah dengan udara hangat yang naik akan memiliki tekanan udara yang lebih rendah, sedangkan daerah dengan udara dingin yang turun memiliki tekanan udara yang lebih tinggi. Proses inilah yang mempengaruhi pola dan variasi kecepatan angin. Semakin besar perbedaan tekanan udara maka kecepatan angin akan meningkat. Selain itu kecepatan angin pada siang hari akan lebih besar dari pada malam hari karena pada waktu siang hari udara relative lebih tinggi dibanding dengan malam hari (Habibie dkk., 2011).

Angin adalah salah satu energi yang mudah didapatkan tapi masih jarang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Sebelumnya angin dimanfaatkan sebagai irigasi, pencacaaan hasil panen, pengering, dan lain-lain (Abdullah dkk., 2016). Seiring dengan semakin berkurangnya cadangan energi fosil maka angin

pun dijadikan sebagai sumber energi pembangkit listrik atau bisa dikenal dengan PLTB.

Angin dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan tempat dan musim terjadinya yaitu angin laut, angin darat, angin lembah dan angin gunung, angin fohn, angin muson barat dan angin muson timur.

### 1. Angin Laut

Angin laut adalah angin yang bergerak dari lautan ke daratan yang disebabkan oleh perbedaan suhu dipermukaan laut yang lebih dingin dari suhu daratan. Angin laut biasanya terjadi dari pukul 09.00 WIB saat matahari mulai memancarkan panasnya sampai dengan pukul 16.00 WIB dipesisir pantai. Daratan yang merupakan benda padat dapat menyerap panas matahari jauh lebih cepat daripada lautan yang merupakan benda cair. Karena suhu diatas daratan lebih tinggi daripada suhu diatas lautan, udara diatas daratan pun lebih cepat menjadi panas dan naik. Tempat yang ditinggalkannya akan segera diisi udara dari lautan yang berpindah tempat keatas daratan sehingga terjadilah angin laut.

### 2. Angin Darat

Angin darat merupakan aliran angin yang bergerak dari darat ke arah lautan yang umumnya terjadi pada malam hari dari pukul 20.00 WIB sampai dengan pukul 06.00 WIB dipesisir Pantai. Pada malam hari daratan menjadi dingin lebih cepat daripada lautan, karena kapasitas panas tanah lebih rendah dari pada air. Sehingga perbedaan suhu yang menyebabkan terjadinya angin laut berangsur angsur hilang dan sebaliknya muncul perbedaan tekanan udara

diatas lautan yang lebih panas itu menjadi lebih rendah daripada daratan, sehingga terjadilah angin darat.

### 3. Angin Lembah

Angin lembah merupakan angin yang bertiup dari Lembah menuju gunung. Pada pagi hari sampai pukul 14.00 WIB gunung atau pegunungan lebih cepat menerima panas matahari jika dibandingkan dengan lembah. Oleh karena itu, pada siang hari suhu udara di gunung atau pegunungan lebih tinggi jika dibandingkan dengan lembah. Hal ini menyebabkan tekanan udara di gunung relatif lebih rendah, sedangkan tekanan udara di lembah tinggi sehingga berhembuslah angin dari lembah menuju gunung. Proses kejadian itulah yang dinamakan angin lembah. Angin lembah terjadi pada pagi hari sampai menjelang sore hari.

### 4. Angin Gunung

Angin gunung merupakan angin yang bergerak disekitar gunung, angin gunung merupakan jenis angin yang bergerak dari gunung menuju lembah. Pada sore hari dan malam hari, terjadi kondisi sebaliknya dari angin lembah. Diarea lembah, suhu udara masih relatif tinggi dibandingkan dengan gunung. Hal ini menyebabkan tekanan udara di lembah lebih rendah, akibatnya berhembuslah angin dari arah gunung menuju lembah. Itulah yang dinamakan angin gunung. Suasana kedua angin ini akan sangat terasa ketika berada di area kaki gunung.

### 5. Angin fohn

Angin fohn adalah angin yang terjadi karena pergerakan udara dari lereng pegunungan menuju bawah (Gatot susanta dan Hari sutjahjo). Angin fohn juga dapat diartikan sebagai jenis angin gunung yang kering dan panas. Dikutip dari buku pengantar meteorologi (2019) karangan wiwit suryanto dan alutsyah luthfian, angin fohn bersifat panas karena tingkat kelembapan yang dibawanya tergolong sedikit. Ciri utama angin ini bersifat panas dan kering, serta mengalir turun lereng atau punggung gunung. Dilansir dari buku energi terbarukan (2016) karya Hamdi, angin fohn dapat merusak dan menimbulkan korban. Tanaman yang dilalui angin ini bisa mati atau rusak. Pada manusia, angin ini bisa menurunkan daya tahan tubuh, sehingga rentan terkena penyakit.

#### 6. Angin muson barat

Angin muson barat adalah angin yang bertiup dari samudera pasifik menuju ke benua asia. Hal ini terjadi karena tekanan udara di benua asia lebih tinggi atau lebih panas dibandingkan dengan benua Australia. Lalu angin ini akan berpindah melewati Samudra hindia sehingga membawa banyak uap air dari sana. Angin muson barat ini terjadi dalam priode oktober sampai dengan April.

#### 7. Angin muson timur

Angin muson timur adalah angin yang mengalir dari benua Australia ke benua asia. Hal ini menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau karena angin muson timur membawa udara kering dan panas gurun dari benua Australia, sehingga mengurangi jumlah hujan yang jatuh. Angin muson timur bertiup mulai bulan April sampai dengan oktober.

## 2.2 Potensi Energi Angin

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 memiliki efek positif ke lingkungan. Menurut (Habibie dkk., 2011) Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik. Jadi proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya sebagai berikut:

1. Rotor (kincir), rotor turbin sangat bervariasi jenisnya, diameter rotor akan berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar diameter rotor semakin besar pula listrik yang dihasilkan, dilihat dari jumlah sudu rotor (baling-baling), sudu dengan jumlah sedikit berkisar antara 3 - 6 buah lebih banyak digunakan.
2. Kecepatan angin, kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor yang akan menggerakkan generator.
3. Jenis generator, generator terbagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, generator yang cocok untuk Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada putaran rendah.

Listrik yang dihasilkan dari Sistem Konversi Energi Angin akan bekerja optimal pada siang hari dimana angin berhembus cukup kencang dibandingkan dengan pada malam hari. Sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasinya sistem ini sebaiknya tidak langsung digunakan untuk keperluan produk-produk elektronik, namun terlebih dahulu disimpan dalam satu media seperti baterai atau aki sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja.

### 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. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yaitu anemometer. Prinsip kerja anemometer adalah baling-baling anemometer digunakan sebagai alat reseptor atau yang menangkap suatu rangsangan berupa hembusan angin. Setelah baling-baling berputar maka hal ini akan menggerakkan sebuah alat yang akan mengukur kecepatan angin yang berhembus melalui putaran pada baling-baling anemometer, Berikutnya adalah putaran baling-baling dikonversi menjadi besaran dalam bahasa matematika (Abdullah dkk., 2016).

Pengkategorian kecepatan angin menurut besar nilai kecepatan angin ke dalam 11 kategori kecepatan angin menurut skala *beaufort*. Skala *beaufort* yaitu antara lain angin tenang, angin lemah, angin sedang, angin segar, angin kuat, angin ribut, angin ribut sedang, angin ribut kuat, badai, badai kuat, dan topan. Lebih jelas mengenai informasi pengkategorian jenis angin menurut skala *beaufort* dapat dilihat pada tabel 2.1.



Tabel 2.1. Skala Beaufort

Skala Beufort	Kategori	Satuan km/jam	Satuan knots
0	Udara tenang	0	0
1 - 3	Angin Lemah	<19	<10
4	Angin Sedang	20 - 29	11 - 16
5	Angin Segar	30 - 39	17 - 21
6	Angin Kuat	40 - 50	22 - 27
7	Angin Ribut	51 - 62	28 - 33
8	Angin Ribut sedang	63 - 75	34 - 40
9	Angin Ribut Kuat	76 - 87	41 - 47
10	Badai	88 - 102	48 - 55
11	Badai Kuat	103 - 117	56 - 63
12+	Topan	>118	>64

2.2.2 Perhitungan Energi Angin

Energi kinetis (E) akibat kecepatan angin yang digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin angin adalah perkalian laju aliran udara ( $\dot{m}$ ) dengan kecepatan angin pangkat dua atau dapat ditulis dengan persamaan (Abdullah dkk., 2016).

$$E = \frac{1}{2} \dot{m} \cdot V^2 \dots\dots\dots(1)$$

Jika suatu blok udara mempunyai luas penampang A ( $m^2$ ) dan bergerak dengan kecepatan V (m/s), maka jumlah massa udara yang mengalir tiap detik (Abdullah dkk., 2016) adalah :

$$\dot{m} = A \cdot V \cdot \rho \dots\dots\dots(2)$$

dimana  $\rho$  adalah kerapatan udara ( $kg/m^3$ ).

Selanjutnya didapat energi yang dihasilkan persatuan waktu (Abdullah dkk., 2016)

$$P = E / \text{satuan waktu}$$

$$= \frac{1}{2} A \cdot V^3 \cdot \rho \text{ (watt) } \dots\dots\dots(3)$$

Menurut Brown, C.K dan Warne daya efektif dari angin yang mungkin dihasilkan oleh suatu turbin angin ( $E_a$ ) dapat dihitung dengan persamaan (Abdullah dkk., 2016)

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V^3 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana  $C_p$  dan  $D$  adalah koefisien daya dan diameter turbin angin.

Selanjutnya sistem konversi energi angin untuk membangkitkan tenaga listrik ( $(P_s/A)w_p$ ) dihitung dengan persamaan (Abdullah dkk., 2016)

$$(P_s/A)w_p = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \eta_{tr} \cdot \eta^g \cdot \eta_b \cdot \rho \cdot V^3 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana  $\eta_{tr}, \eta^g, \eta_b$  berturut-turut adalah efisiensi transmisi, generator, dan baterai. Nilai dari efisiensi tersebut berturut-turut adalah 0,95, 0,85, dan 0,75 (Abdullah dkk., 2016).

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin dan jari jari 1 meter dapat dilihat seperti pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2. 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,

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di Atas Permukaan Tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/s	Kondisi alam di daratan
		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 arah angin
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

(Ilmi Abdullah 2016)

Klasifikasi angin pada kelompok 3 adalah batas minimum dan angin pada kelompok 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

### 2.3 Turbin Angin

Turbin angin atau sering disebut kincir angin merupakan sebuah alat dalam Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Turbin angin berfungsi untuk menghasilkan energi listrik, dari pemanfaatan perubahan energi kinetik angin menjadi energi mekanik untuk memutar generator dan mengeluarkan listrik, sehingga dapat membangkitkan listrik. Turbin angin secara umum dapat dikatakan sebagai suatu alat yang digerakkan oleh udara untuk menghasilkan gaya mekanis

dan dilanjutkan sesuai kebutuhan. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan negara-negara eropa lainnya dan lebih dikenal dengan sebutan Windmill. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik Masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. (Gusti Rusydi Furqon Syahrillah, 2020)

Desain dari kincir atau turbin angin sangan banyak macam jenisnya, berdasarkan bentuk rotor, turbin angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu mendatar (*Horizontal Axis Wind Turbin*) dan turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*). Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Banyak turbin angin dengan skala besar yang telah dibuat atau dikembangkan di berbagai negara karena terbukti sangat efektif untuk menghasilkan energi listrik. Turbin angin skala kecil juga ikut dibuat dan dikembangkan hingga saat ini karena beberapa kelebihanannya jika dibandingkan dengan turbin angin skala besar. Kelebihan itu diantaranya tidak terbatasnya daerah atau lokasi pemasangan turbin angin karena ukurannya yang kecil. (Maulana & Sidiq, 2018)

#### **2.4 Turbin Angin Sumbu Horizontal ( *Horizontal Axis Wind Turbine* )**

Turbin angin sumbu horizontal (*HAWT*) merupakan turbin turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi

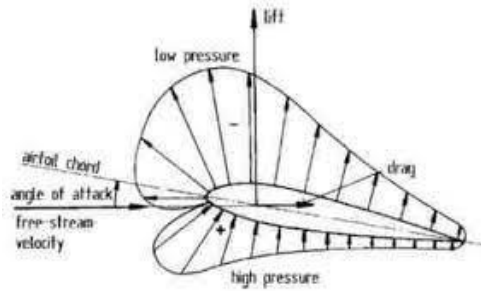
angin. Rotor turbin angin berdimensi kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling-baling angin sederhana. Sedangkan turbin angin berdimensi besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada arah angin. Turbin angin berdimensi besar juga biasanya dilengkapi dengan gearbox yang dapat mengkonversi putaran lambat rotor menjadi cepat (Napitupulu & Siregar, 2013a). Jenis turbin angin ini merupakan jenis kincir angin yang saat ini yang paling banyak digunakan. 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. Gambar 2.2 menunjukkan bentuk turbin angin sumbu horizontal yang dipasang dilepas pantai belgia.



Gambar 2.1. TASH dipasang di laut utara Belgia menggubakan turbin 5 MW

Sumber : (Abdullah dkk., 2016)

Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin pada sumbu horizontal mengalami daya 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.

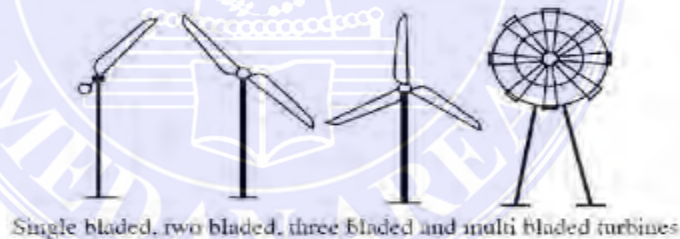


Gambar 2.2. Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara

Sumber : (Napitupulu & Siregar, 2013)

Dilihat dari jumlah sudu turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi :

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 2.3. Turbin angin sumbu horizontal berdasarkan jumlah sudu

Sumber : (Napitupulu & Siregar, 2013)

Adapaun beberapa kelebihan dan kekurangan turbin angin sumbu horizontal seperti ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kelebihan dan kekurangan TASH

Kelebihan	Kekurangan
Akses angin yang lebih kuat di tempat-	Sulit diangkut dan juga memerlukan

Kelebihan	Kekurangan
tempat yang memiliki geseran angin.	biaya besar untuk pemasangannya, sulit dipasang.
Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%	Konstruksi Menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.	Ukurannya yang tinggi merintang jangkauan pandangan.
	Membutuhkan control sebagai mekanisme untuk mengarahkan blade ke arah angin.
	Pada umumnya membutuhkan sistem pengereman pada angin yang kencang untuk mencegah turbin mengalami kerusakan

(Abdullah dkk., 2016)

Komponen utama dari turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*) terdiri dari :

1. Gearbox, alat ini berfungsi untuk mengubah kecepatan putaran yang rendah menjadi tinggi. Rasio kecepatan biasanya digunakan sekitar 1:60.

2. Generator, generator merupakan komponen paling penting pada turbin angin, karena berperan dalam mengubah energi listrik.
3. Rotor Blade, rotor blade atau sudu merupakan penerima energi kinetik dari angin yang akan diubah ke energi gerak putar.
4. Tower, tower atau tiang penyangga berfungsi sebagai penopang utama dari struktur komponen terangkai, yaitu sudu, poros dan generator.

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

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu vertikal adalah tipe turbin angin yang dapat menerima angin dari segala arah, selain itu turbin angin sumbu vertikal juga mampu bekerja pada angin dalam kecepatan rendah.(Abdullah dkk., 2016).

Di Indonesia penggunaan turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) semakin berkembang, terutama di daerah dengan potensi angin yang bervariasi. Ada beberapa lokasi dan konteks di mana turbin angin sumbu vertikal telah diimplementasikan atau direncanakan, seperti pada penelitian di Gedung Hotel Cikarang menganalisis potensi energi angin dan merancang turbin sumbu vertikal dengan diameter rotor 1,414 meter dan daya keluaran 500 Watt (Alfian Ady Saputra, 2024). Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk melakukan analisa potensi energi angin di salah satu hotel di kota Cikarang, yaitu Grand Zuri Hotel. Hotel ini memiliki ketinggian cukup tinggi, yaitu 50 meter, sehingga potensi angin juga cukup tinggi. sehingga dapat menentukan jenis turbin yang sesuai untuk diterapkan berdasarkan hasil analisa yang dilakukan Lokasi ini



dipilih berdasarkan data kecepatan dan arah angin dari stasiun pengamatan terdekat.

Pada kincir angin sumbu vertikal atau tegak, sumbu atau poros rotor utama diletakkan tegak lurus. Keuntungan utama pengaturan ini adalah kincir tidak perlu diarahkan ke angin agar efektif. Keunggulan ini sangat berguna di daerah yang arah anginnya sangat bervariasi. Turbin angin ini dapat memanfaatkan angin dari berbagai arah. Gearbox dapat ditempatkan dengan tanah, sehingga tidak perlu ditopang oleh menara dan lebih mudah diakses untuk pemeliharaan. Namun, hal ini menyebabkan torsi berdenyut pada beberapa model. Drag ( gaya yang melawan pergerakan benda padat melalui fluida (cair atau gas) dapat terjadi saat kincir berputar.

Karena sulit dipasang di atas menara, kincir poros vertikal sering kali dipasang lebih dekat ke alas tempatnya bersandar, seperti tanah atau bagian atas atap bangunan. Kecepatan angin lebih lambat pada ketinggian yang lebih rendah, sehingga lebih sedikit energi angin yang tersedia. Aliran udara di dekat tanah dan objek lain dapat menyebabkan aliran turbulen, yang dapat menyebabkan berbagai masalah terkait getaran seperti kebisingan dan keausan bantalan, meningkatkan biaya perawatan, atau memperpendek umur turbin angin. Ketika ketinggian atap dan menara turbin angin kira-kira 50% dari ketinggian bangunan, ini adalah titik optimal untuk energi angin maksimum dan turbulensi angin minimum. (Lubis,2018).

Namun turbin angin sumbu vertikal juga memiliki beberapa kelemahan, seperti efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal pada kondisi angin stabil. Meskipun memiliki beberapa keunggulan,

kincir angin sumbu vertikal tidak sepopuler kincir angin sumbu horizontal dalam skala komersial. Desain terus berkembang dan peningkatan teknologi dapat mengarah pada peningkatan lebih lanjut dalam kinerja dan efisiensi turbin angin sumbu vertikal. Gambar 2.4 menunjukkan turbin angin sumbu vertikal.



Gambar 2.4. 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 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.

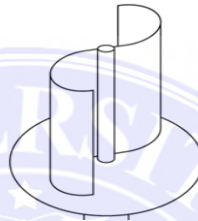


Gambar 2.5. Turbin angin darrieus

Sumber : (Jumlah Blade et al., 2018)

b) Turbin Angin Savonius

Turbin angin Savonius pertama yang diperkenalkan oleh para insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius 1922. Turbin angin sumbu vertikal terdiri dari dua baja setengah berbentuk silinder runtuh (atau elips), sehingga membentuk huruf “S”. (Napitupulu & Siregar, 2013)



Gambar 2.6. Turbin angin savonius

Adapun kelebihan dan kekurangan dari Turbin Angin Sumbu Vertikal dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Kelebihan dan kekurangan TASV

Kelebihan	Kekurangan
Tidak membutuhkan struktur Menara yang besar.	Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH
Pemeliharaan lebih mudah.	TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
Memiliki keaerodinamisan yang tinggi.	Kebanyakan TASV memiliki torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.

Kelebihan	Kekurangan
Wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu.	Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggah memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan.
TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH	
TASV biasanya memiliki tip speed ratio yang lebih rendah sehingga lebih kecil.	
TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.	
TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.	

(Abdullah dkk., 2016)

### 2.6.1 Komponen Utama Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertikal Axis Wind Turbine*)

Adapun komponen utama dari turbbin angin sumbu vertikal (*Vertikal Axis Wind Turbine*) adalah sebagai berikut :

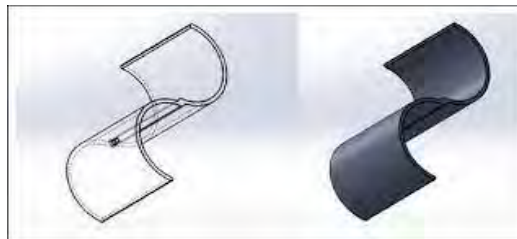
#### 1. *Blade* (Baling-baling)

*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.

Beberapa karakteristik penting dari sudu turbin angin sumbu vertikal adalah:

- a. Orientasi Tanpa Angin: Turbin ini tidak harus bekerja langsung ke arah angin. Mereka menahan angin dari beberapa arah dan tidak perlu menyesuaikan posisi untuk mengoptimalkan kinerja..
- b. Instalasi Fleksibel: Turbin angin sumbu vertikal lebih mudah dipasang dan membutuhkan lebih sedikit ruang daripada turbin angin sumbu horizontal. Ini bisa menjadi pilihan yang baik untuk area dengan ruang terbatas atau kondisi lingkungan yang berbeda.
- c. Ketahanan terhadap angin sakal: berkat desainnya, turbin angin dengan sumbu vertikal lebih mampu menahan angin dari berbagai arah dan kecepatan. Ini membuatnya lebih cocok untuk daerah dengan angin tidak rata atau kencang.
- d. Pengoperasian yang senyap: Turbin sumbu vertikal menghasilkan lebih sedikit kebisingan dan getaran daripada turbin sumbu horizontal karena posisi vertikalnya memungkinkan bagian yang bergerak lebih dekat ke tanah.



Gambar 2.7. Blade turbin angin sumbu vertikal

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 control 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.

## 2. Sumbu (*Axis*)

Poros adalah struktur utama yang menopang baling-baling dan menghubungkannya dengan generator atau mekanisme penggerak lainnya. Sumbu (*Axis*) harus dirancang untuk mampu menahan beban dan tekanan yang dihasilkan oleh putaran baling-baling. Sumbu (*Axis*) juga harus memiliki kekuatan dan daya tahan yang cukup untuk menahan kondisi cuaca buruk.

### 3. Generator atau Mekanisme Penggerak

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.

Generator yang biasa digunakan di turbin angin sumbu vertikal adalah generator sinkron (*synchronous generator*) atau induksi (*asynchronous generator*). Tugas keduanya adalah mengubah putaran bilah turbin angin menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Generator sinkron bekerja dengan cara menghasilkan arus listrik yang frekuensinya sesuai dengan frekuensi jaringan listrik tempatnya terhubung. Ini berarti bahwa kecepatan rotasi generator harus tetap konstan agar keluaran listrik memiliki frekuensi yang tepat. Generator sinkron cocok untuk aplikasi dimana turbin angin dioperasikan dengan kecepatan tetap. Sementara generator induksi, juga dikenal sebagai generator asinkron lebih fleksibel dalam hal kecepatan rotasi. Mereka dapat menghasilkan arus listrik meskipun kecepatan rotasi berubah-ubah. Generator induksi biasanya lebih mudah diatur untuk beroperasi pada berbagai kecepatan angin. Namun, mereka mungkin memerlukan kontrol tambahan untuk memastikan bahwa keluaran listrik sesuai dengan frekuensi jaringan. Pemilihan generator tergantung pada desain turbin angin., karakteristik angin di lokasi, serta kebutuhan dan tujuan penggunaan listrik yang dihasilkan.



Gambar 2.8. Generator

Prinsip generator arus bolak-balik dengan berdasarkan hukum *Faraday* yang menyatakan bahwa sebatang penghantar berada pada medan magnet yang

berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Besar tegangan generator bergantung pada :

- a. Kecepatan putaran (N)
- b. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluks ( $Z$ )
- c. Banyaknya fluks magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet ( $\phi$ ).



Gambar 2.9. Prinsip kerja generator

Jika kumparan kawat dihubungkan dengan rangkaian listrik tertutup, maka akan timbul pula arus listrik yang mengalir pada rangkaian (Alfian Ady Saputra, 2024).

$$E = c . n . \phi \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E = B . l . v . \sin \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- c = konstanta
- n = kecepatan (rad/s)
- $\phi$  = fluks (welber)
- E = ggl induksi (volt)
- B = induksi magnet (T)
- l = panjang kawat (m)
- v = kecepatan potong medan (rad/s)



#### 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.

#### 5. Sistem Kontrol

Sistem pengendali memantau kinerja turbin angin dan mengatur berbagai parameter seperti sudut baling-baling dan kecepatan rotasi. Tujuannya adalah untuk menjaga kinerja optimal turbin angin dan melindunginya dari kerusakan akibat kondisi cuaca ekstrem atau gangguan lainnya. Biasanya sistem kontrol terdiri dari berbagai sensor yaitu sensor arah angin, sensor kecepatan angin, sistem brake, sistem pitch control.

### 2.6 Teori Momentum Elementer Betz

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. 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 et al., 2019)

Dengan menganggap bahwa kecepatan udara yang melalui penampang A adalah sebesar  $V$ , maka aliran volume udara yang melalui penampang rotor pada setiap satuan waktu adalah

$$V = v \cdot A \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$V$  = laju volume udara ( $m^3/s$ )

$v$  = kecepatan angin (m/detik)

$A$  = luas area sapuan rotor ( $m^2$ )

Dengan demikian, laju aliran massa dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$\rho$  = massa jenis udara ( $kg/m^3$ )

Persamaan yang menyatakan energi kinetik yang melalui penampang A pada setiap satuan waktu dapat dinyatakan sebagai daya yang melalui penampang A adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot A \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$P$  = daya kinetik (watt)

Energi kinetik dapat diambil pada angin dengan mengurangi kecepatannya. Ini berarti kecepatan udara di belakang rotor lebih pelan dari kecepatan udara di depan rotor. Energi mekanik yang berasal dari angin setiap satuan waktu, berdasarkan perubahan tersebut. Kecepatan dapat diperoleh menggunakan persamaan :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^3 \cdot A_1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^3 \cdot A_2$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^3 \cdot A_1 - v_2^3 \cdot A_2) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- P = daya yang di ekstraksi (wat)
- $\rho$  = massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>)
- A1 = luas penampang aliran udara sebelum melalui rotor (m<sup>2</sup>)
- A2 = luas penampang aliran udara sesudah melalui rotor (m<sup>2</sup>)
- v1 = kecepatan aliran udara sebelum melewati rotor (m/detik)
- v2 = kecepatan aliran udara sesudah melewati rotor (m/detik)

Jika asumsi massa jenis tidak mengalami perubahan, maka sesuai hukum kontinuitas sebagai berikut :

$$\rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh bahwa kekuatan terbesar diambil oleh angin jika v2 bernilai nol. Angin berhenti setelah lewat rotor, tetapi itu tidak bisa terjadi karena tidak memenuhi hukum kontinuitas. Energi angin yang

dikonversi semakin meningkat jika  $v_2$  menurun atau dengan kata lain, rasio  $v_1/v_2$  harus lebih besar.

Adapun persamaan lainnya digunakan untuk mencari besarnya daya yang dapat diambil adalah persamaan momentum.

$$F = \dot{m}(v_1 - v_2) \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$F$  = gaya (N)

$\dot{m}$  = laju aliran

Menurut 31e r kedua Newton bahwa aksi sama dengan gaya reaksi, gaya yang diberikan oleh udara pada rotor sama dengan gaya hambat oleh rotor yang mendorong udara 31e rah berlawanan dengan arah pergerakan udara. Daya yang diperlukan untuk menghambat aliran udara adalah :

$$P = F \cdot \dot{v} = \dot{m}(v_1 - v_2)\dot{v} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$\dot{v}$  = kecepatan aliran udara pada rotor (m/detik)

Kedua persamaan diatas menunjukkan hubungan

$$\frac{1}{2} \dot{m}(v_1 - v_2) = \dot{m}(v_1 - v_2)\dot{v} \dots\dots\dots(2.10)$$

Sehingga

$$\dot{v} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \dots\dots\dots(2.11)$$

Maka kecepatan aliran udara ketika melalui rotor adalah :

$$\hat{v} = \frac{v_1+v_2}{2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Laju aliran massa menjadi

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot \hat{v} = \frac{1}{2} \rho \cdot A(v_1 + v_2) \dots\dots\dots(2.13)$$

Sehingga daya mekanik output dapat ditulis :

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2) \dots\dots\dots(2.14)$$

Sehingga bisa dijadikan referensi untuk power output tersebut dibandingkan dengan kapasitas aliran bebas yang mengalir dengan luas sapuan yang sama tanpa ada ekstraksi. Dirumuskan sebagai berikut :

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^3 \cdot A \dots\dots\dots(2.15)$$

**2.7 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 et al., 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 sistematis, rumusnya adalah sebagai berikut:

$$TSR = \frac{V_{ujung}}{V_{angin}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

Vujung = kecepatan ujung baling-baling turbin angin

Vangin = kecepatan angin yang masuk ke turbin angin



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Lokasi Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di desa Sigara gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara yang terletak secara astronomis pada  $3^{\circ}31'07.5''N$  dan  $98^{\circ}44'14.5''E$ . Lokasi ini dipilih karena terdapat potensi energi angin yang cukup signifikan meskipun kecepatan angin rata-rata tergolong rendah, karena secara geografis desa Sigara Gara terletak bersebelahan dengan muka laut perairan Sumatera Utara sehingga kecepatan anginnya sangat bervariasi, turbulensi angin yang dapat meningkatkan efisiensi turbin angin kecil sehingga perlu dilakukan analisis kecepatan angin untuk mengetahui seberapa besar potensi angin yang dapat dimanfaatkan pada lokasi ini.

##### 3.1.2 Waktu penelitian

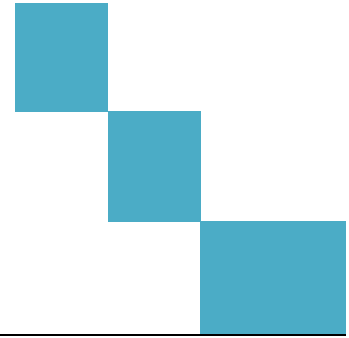
Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah:

Tabel 3.1. Jadwal tugas akhir

Kegiatan	2023/2024							
	Desember 2023	Januari 204	Februari 2024	Maret 2024	April 2024	Juni 2024	Juli 2024	Agustus 2024
Seminar Proposal	■							
Riset penelitian		■						
Klasifikasi data			■					
Analisa data				■				
Penulisan Laporan					■			

seminar  
hasil  
Evaluasi  
Dan Persiapan  
sidang

Sidang  
sarjana



### 3.2 Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam proses penelitian potensi energi angin di desa Sigaragara adalah:

#### a. Weather Station

Weather station merupakan alat yang digunakan untuk mengamati cuaca dan juga menguji kondisi atmosfer. Tujuan penggunaan alat ini yaitu untuk mempelajari kondisi cuaca dan iklim di suatu wilayah sehingga bisa didapatkan data yang akurat. Beberapa parameter yang dinilai menggunakan alat pengamatan cuaca ini yaitu suhu, kelembaban, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, radiasi, curah hujan dan tingkat keabsahan atmosfer bumi.

Sisem kerja alat ini terbagi menjadi dua yaitu secara manual (melaporkan kondisi cuaca satu hari sekali) dan juga secara otomatis atau yang disebut automatic weather station. Secara garis besar, alat ini merupakan rangkaian dari beberapa komponen yang dihubungkan hingga menjadi satu bagian. Cara kerja weather station yaitu alat ini ditempatkan di ruangan terbuka bisa berupa bukit, lapangan dan juga perkebunan. Metode kerja weather station sebenarnya cukup sederhana yaitu dengan merekam semua parameter yang berhubungan dengan cuaca (suhu, kelembaban, curah hujan, angin, dll). Kemudian hasil rekaman



tersebut akan dicatat dan diubah menjadi sebuah data yang diolah secara real time melalui data logger.

Selanjutnya data yang ada di dalam data logger akan tersimpan dalam bentuk file log yang nantinya akan digunakan untuk menganalisa dan memprediksi cuaca dengan mengolah data tersebut menjadi bentuk grafik. Berikut ini beberapa komponen yang digunakan: Jenis weather station yang digunakan pada penelitian ini adalah WS-WH6007-1 Misol dengan fitur atau spesifikasi seperti berikut :

Tabel 3.2. Spesifikasi WS-WH6007-1 Misol

Specification Outdoor data :	
Temperature range	: -40~+60°C
Accuracy	: +/- 1°C
Resolution	: 0.1°C
(remark: in the cold weather, battery will stop working. Lithium battery is recommended.)	
Humidity range	: 1%~99%
Accuracy	: +/- 5%
Rain volume	: 0 - 9999 mm
Resolution	: 0.3mm (if rain volume < 1000mm), 1mm (if rain volume > 1000mm)
Accuracy	: +/- 10%
Wind speed	: 0-50m/s (0~100mph)
Accuracy	: +/- 1m/s (wind speed < 5m/s), +/-10% (wind speed > 5m/s)
Wind direction	: 0 to 359 degree
Light	: 0-200k Lux
Accuracy	: +/-15%
Specification Indoor data :	
Indoor temperature	: 0°C--60°C
Resolution	: 0.1°C
Accuracy	: +/-1°C

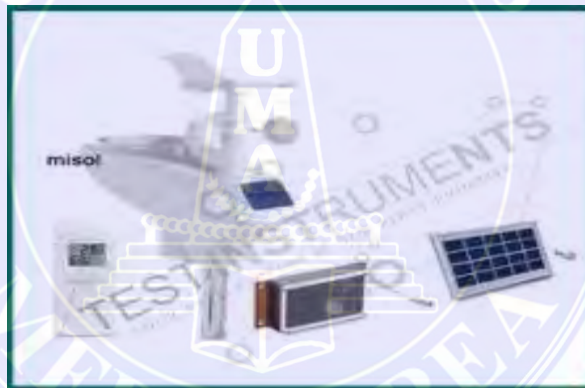
Humidity : 10%~99%  
Resolution : 1%  
Accuracy : +/- 5%

air pressure : 300-1100hPa (8.85-32.5inHg)  
Accuracy : +/-3hpa (@700-1100hpa)  
Resolution : 0.1hPa (0.01inHg)

Measuring interval indoor sensor : 61 sec

**Power requirement:**

Base station: 18650 lithium rechargeable battery X1 unit  
USB charger  
Solar panel (Voc:6.2v, Isc:500Ma, size: 195\*138\*17mm)  
Indoor sensor: 2XAA batteries  
outdoor sensor: 2XAA 1.5v non-rechargeable batteries



Gambar 3. 1. WS-WH6007-1 Misol

b. Microsoft Excel

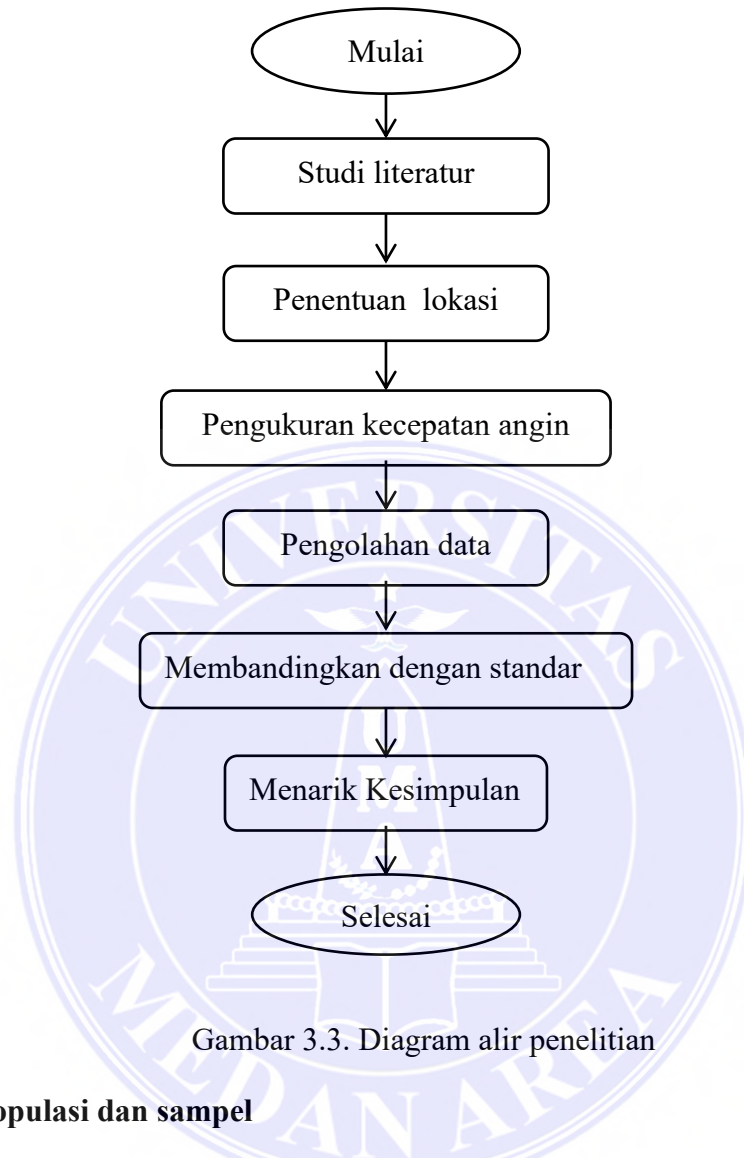
Microsoft excel adalah perangkat lunak yang nantinya digunakan untuk mengolah data atau menyajikan data hasil penelitian dalam berbagai bentuk seperti angka, tabel atau grafik.

### 3.3 Metode penelitian

Penelitian yang dilakukan dengan tujuan dapat mengetahui besar potensi energi angin serta karakteristik kecepatan angin yang ada di Desa Sigara Gara, seperti kecepatan angin rata-rata, maksimum dan minimum. Metode penelitian yang digunakan adalah metode analitik, dengan tahapan awal melalui studi literatur dari beberapa jurnal yang relevan dan pengumpulan data sekunder kecepatan angin selama 12 bulan tahun 2021 dari CV. IRA PUBLISHING Stasiun Pemantauan Cuaca Komplek Graha Garuda Mas Desa Sigaragara. Analisis data kecepatan angin dilakukan dengan cara mengklasifikasikan data kecepatan angin 12 bulan yang di ukur per detik. Data awal kecepatan angin yang mencapai puluhan juta harus terlebih dahulu diklasifikasikan atau dirata-ratakan menjadi kecepatan angin harian agar lebih mudah untuk melakukan analisis serta mencari nilai kecepatan minimum, maksimum dan nilai rata-rata kecepatan angin perbulan dan tahunan.

Setelah nilai kecepatan angin rata-rata, maksimum dan minimum perbulan dan tahunan didapatkan, analisis dilanjutkan pada perhitungan besar potensi energi angin serta daya yang dapat dihasilkan oleh kecepatan angin tersebut. Analisis dilakukan menggunakan laptop dan juga perangkat lunak excel. Penelitian ini dilakukan di Desa Sigaragara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Metode penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan atau menggambarkan karakteristik dari potensi energi angin yang ada di desa sigaragara. Pada penelitian ini tahapan kegiatan analisis potensi energi angin di desa Sigaragara dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah.

### 3.3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

### 3.4 Populasi dan sampel

Basis data kecepatan angin yang diperoleh dari data online Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika pusat meteorologi penerbangan Kualanamu Kabupaten Deli Serdang menunjukkan kecepatan rata-rata angin di kabupaten deli serdang tepatnya dikawasan bandara kualanamu selama 3 bulan terakhir dimana pada bulan oktober 2020 yaitu sebesar 4,35 knots atau sama dengan 2,24 m/s, november 4,41 knots atau sama dengan 2,27 m/s, dan desember yaitu sebesar 4,72 knots atau sama dengan 2,43 m/s. maka jika dirata-ratakan

adalah sebesar 4,49 knots atau sama dengan 2,31 m/s, dimana jika dihitung menggunakan rumus  $E = \frac{1}{2} A \cdot V^3 \cdot \rho$  diperoleh energi listrik sebesar 5,80 W jika menggunakan turbin dengan diameter 1 m dan kerapatan udara diasumsikan 1,2 kg/m<sup>3</sup>. Data kecepatan angin tersebut tidak mewakili seluruh wilayah di kabupaten deli serdang karna kondisi topografi dan ketinggian daratan yang berbeda-beda.

Data kecepatan angin selama tiga bulan terakhir yaitu kecepatan angin bulan oktober, November, dan desember tahun 2020 dapat dilihat pada grafik dibawah ini.





### 3.5 Prosedur Kerja

Langkah-langkah proses penelitian analisa potensi energi angin adalah sebagai berikut:

#### 1. Pengumpulan Data Kecepatan Angin

Data sekunder kecepatan angin didapatkan dari stasiun pemantau cuaca lokal yang ada di desa sigaragara yaitu CV. Ira Publishing

## 2. Deskripsi data

Memastikan data mencakup kecepatan angin harian (atau interval waktu lain yang sesuai) selama periode tertentu.

## 3. statistik deskriptif

Menghitung rata-rata, maksimum, dan minimum kecepatan angin harian dan memvisualisasikan data menggunakan grafik.

## 4. Estimasi potensi energi

Gunakan formula energi angin  $E = \frac{1}{2} A \cdot V^3 \cdot \rho$  untuk menghitung potensi energi.  $\rho$  adalah densitas udara (biasanya sekitar  $1.225 \text{ kg/m}^3$  pada permukaan laut),  $A$  adalah area sapuan turbin, dan  $v$  adalah kecepatan angin. Lakukan perhitungan untuk setiap data kecepatan angin harian untuk mendapatkan estimasi produksi energi harian.

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Simpulan

Dari hasil analisa kecepatan angin dan pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Potensi energi angin yang ada di desa Sigara Gara sangat rendah dan lebih cenderung tidak dapat didayagunakan.
2. Kecepatan rata-rata angin pertahun hanya mencapai 0,7 m/s.
2. Energi angin yang ada diwilayah desa sigaragara tidak berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai penggerak turbin angin sumbu vertikal.

#### 5.2 Saran

Data yang dimiliki masih minim, sehingga disarankan untuk adanya penelitian lebih lanjut seperti pemilihan lokasi diwilayah lain Kabupaten Deli Serdang, memvariasikan ketinggian pengukuran kecepatan angin serta penggunaan alat ukur yang lebih presisi, meningkatkan metode analisis yang lebih jelas menggambarkan karakteristik angin agar didapat hasil yang lebih optimal, serta menggunakan turbin dengan spesifikasi yang cocok dengan kondisi kecepatan angin di kawasan desa Sigara Gara.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, I., Nurdin, J., & Hasanuddin. (2016). Kajian Potensi Energi Angin Di Daerah Kawasan Pesisir Pantai Serdang Bedagai Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Teknik Mesin ITM*, 2(1), 31–38.
- Aditya Setiawan Aziz, M., Energi Angin Sebagai Sumber Energi Penerangan Jalan, P., Teknik Mesin, J. D., & Teknik Mesin, J. (2020). Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Energi Penerangan Jalan. Hendri Sukma 2) 2). Dalam *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* (Vol. 9, Nomor 1). <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>
- Fadila, A., Zakaria, I., Fauzan, M., & Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang Jl Sudarto, J. H. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga Dengan Profil NACA 0006. Dalam *Eksergi Jurnal Teknik Energi* (Vol. 15, Nomor 3). <http://indonesia.windprospecting.com/>
- Habibie, M. N., Sasmito, A., & Kurniawan, R. (2011). Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Sulawesi Dan Maluku Study Of Wind Energy Potency In Sulawesi And Maluku.
- 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 Energi Listrik Tenaga Angin Di Daerah Banyuwangi Kota Menggunakan Database Online-BMKG. *Jurnal Surya Energy*, 6(1), 9–16. <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*, 1(13).
- Djoko Siswanto, Sugeng Mujiyanto. (2019). *Outlook Energi Indonesia 2019*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Gusti Rusydi Furqon Syahrillah, Y. M. (2020). Analisis Variasi Jumlah Sudu 6, 8 dan 10 buah pada vertical axis wind turbine jenis straight blade. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 2-7.
- Humas EBTKE. (2023). Dirjen EBTKE Paparkan Pemenuhan Kebutuhan Listrik Indonesia Melalui Pemanfaatan EBT. 1.
- M. Najib Habibie, A. S. (2011). kajian potensi energi angin di wilayah sulawesi dan maluku. *jurnal penelitian*, 3-7.
- Maulana, Y. D., & Sidiq, A. (2018). Jurnal jieom. Perancangan vertical axis wind turbine (vawt) jenis straight blade, 1-4.

- Rusydi Furqon, Y. M. (2020). Analisis variasi jumlah sudu 6, 8 dan 10 buah pada vertical axis wind turbine jenis straight blade. *Jurnal tenik mesin uniska*, 2-7.
- Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional. (2019). *Outlook Energi Indonesia* . Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Ilmi Abdullah. 2016. “Kajian Potensi Energi Angin Di Daerah Kawasan Pesisir Pantai Serdang Bedagai Untuk Menghasilkan Energi Listrik.” *MEKANIK: Teknik Mesin ITM* 2(1): 31–38.
- 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 Prototype Turbin Angin Guna. *Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro, 1*, 2686–1534.
- Alfian Ady Saputra, S. (2024). Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Untuk Gedung Hotel. *Jurnal Semnastek*, 2-10.