

**PENGARUH KONDISI LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA
TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL (*Vertical Axis Wind
Turbine*) DI DESA SIGARA-GARA**

SKRIPSI

**OLEH
HANDY ZULFIKRI
198130032**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 6/8/25

Access From (repository.uma.ac.id)6/8/25

HALAMAN JUDUL

PENGARUH KONDISI LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL (*Vertical Axis Wind Turbine*) DI DESA SIGARA-GARA

SKRIPSI

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

Oleh :

HANDY ZULFIKRI

198130032

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 6/8/25

Access From (repository.uma.ac.id)6/8/25

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) Di Desa Sigara-Gara

Nama Mahasiswa : Handy Zulfikri

NPM : 198130032

Fakultas : Teknik



Disetujui Oleh
(Komisi Pembimbing)

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dr. Jufrizal, ST., MT', is written over the watermark.

Dr. Jufrizal, ST., MT

Pembimbing I

A blue circular stamp of Universitas Medan Area is located at the bottom left. It contains the text 'UNIVERSITAS MEDAN AREA' and 'Fakultas Teknik'. A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

Dr. Eng. Supriatno, ST., MT
Dekan Fakultas Teknik

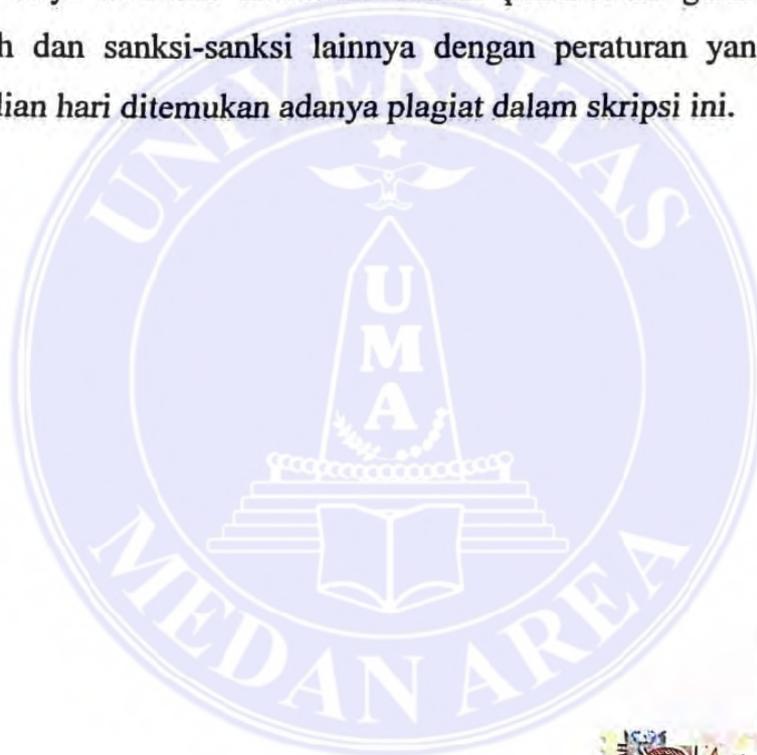
A blue circular stamp of Universitas Medan Area is located at the bottom right. It contains the text 'UNIVERSITAS MEDAN AREA' and 'PRODI. TEKNIK'. A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

Dr. Iswandi, ST., MT
Ka/Prodi/WD 1

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.



Medan Mei 2025



Handy Zulfikri

198130032

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

Nama : Handy Zulfikri

NIM : 198130032

Program Studi : Teknik 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 : Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) Di Desa Sigara-gara. Dengan Bebas Royalti Noneksklusif 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 baik saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan Mei 2025

Saya yang menyatakan



Handy Zulfikri

198130032

ABSTRAK

Sepanjang sejarah manusia kemajuan-kemajuan besar dalam kebudayaan selalu diikuti oleh meningkatnya konsumsi energi, peningkatan ini berhubungan langsung dengan tingkat kehidupan penduduk serta kemajuan industrilisasi. Sejak revolusi industri, pengguna bahan bakar meningkat dengan tajam, oleh karena itu diperlukan sumber energi yang memenuhi semua kebutuhan. Energi angin termasuk energi terbarukan yang didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Beberapa kelebihan energi terbarukan yaitu. Sumbernya relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global. Kerja dari suatu turbin angin dapat dilihat dari daya poros, torsi, dan efisiensi turbin yang dihasilkan. Dalam penelitian ini menggunakan turbin angin savonius untuk mengetahui perubahan temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin dan putaran blade. Peneliti ini menggunakan metode kuantitatif agar untuk mengetahui daya angin, turbin, dan efisiensi. Hasil analisis yang didapat pada perhitungan rata-rata pada dimmer 5 yaitu pada perhitungan daya angin sebesar 106,8 watt, turbin 0,02886 watt, dan efisiensi 0,027%. Hal ini kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin angin tidak mampu beroperasi secara optimal pada kecepatan tertentu. Disarankan menguji turbin angin ini dilapangan terbuka dan mengubah komponen-komponen yang lebih ringan.

Kata kunci : Energi angin, Turbin angin, Kondisi lingkungan

ABSTRACT

Throughout human history, major advances in culture had always been followed by increased energy consumption; this increase was directly correlated with the standard of living and industrial progress. Since the industrial revolution, the use of fuel had increased sharply, therefore an energy source that met all needs was required. Wind energy was a renewable energy defined as energy that could be rapidly reproduced through natural processes. Some advantages of renewable energy included: sources were relatively easy to obtain, freely available, produced minimal waste, and did not affect the earth's temperature globally. The performance of a wind turbine could be seen from shaft power, torque, and turbine efficiency. In this research, a Savonius wind turbine was used to observe changes in air temperature, humidity, wind speed, and blade rotation. This research used a quantitative method to determine wind power, turbine, and efficiency. The analysis results obtained for the average calculation at dimmer 5 showed wind power of 106.8 watts, turbine power of 0.02886 watts, and efficiency of 0.027%. This indicated that environmental conditions did not allow the wind turbine to operate optimally at certain speeds. It was recommended to test this wind turbine in an open field and to modify components to be lighter.

Keywords: *Wind Energy, Wind Turbine, Environmental Conditions*



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kecamatan Sawit Seberang pada tanggal 09 Februari 2000 dari bapak Marsono dan ibu Supriani. Penulis merupakan putra ke dua dari tiga bersaudara.

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

Selama mengikuti perkuliahan, penulis juga belajar di bengkel mobil di daerah pajak batang serangan pada tahun 2020 sampai tahun 2022. Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PKS Pagar Merbau PT. Perkebunan Nusantara II



KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayah Nya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Yang mana sudah menjadi kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Adapun judul tugas Skripsi ini ialah : “Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*).

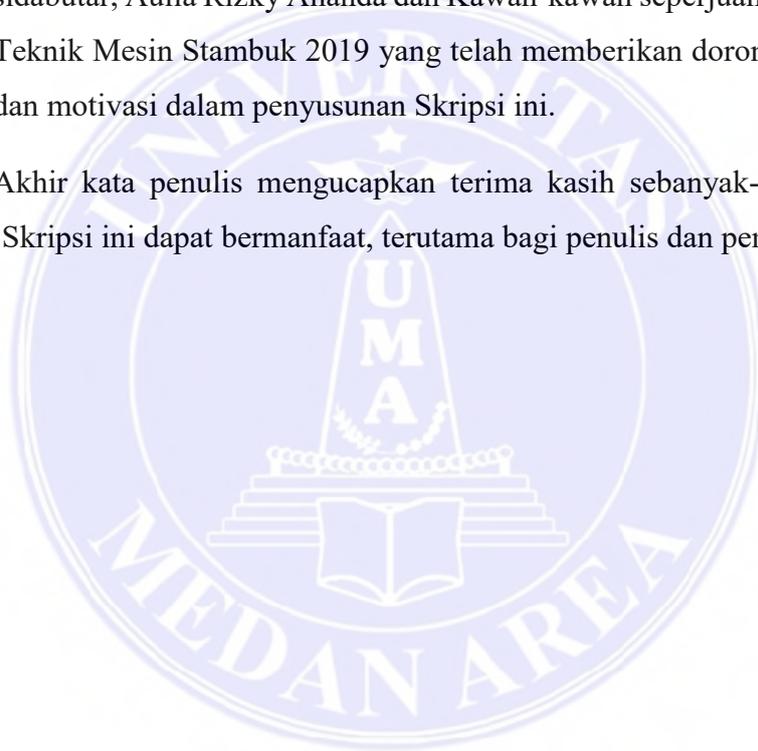
Dalam Penulisan tugas akhir ini, penulisan sudah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan penyusunan dengan sebaik-baiknya. Namun penulis menyadari bahwa keterbatasan pengetahuan dan pengalaman masih banyak kekurangan yang terdapat didalam penyusunan Skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan petunjuk dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun untuk menyempurnakan Skripsi ini.

Selama penulisan sampai dengan seterusnya penulis telah banyak menerima bantuan moral maupun material yang tidak dapat dinilai harganya. Untuk itu melalui penulisan ini, penulis mengucapkan banyak terimah kasih yang setulusnya kepada :

1. Ayah Marsono dan Ibu Supriani selaku orang tua saya yang sangat saya sayangi dan cintai, dimana telah banyak memberi perhatian, pendidikan, nasihat, dan doa serta dukungan moral dan materi sehingga tugas Skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Prof. Dr.Dadan Ramdan,M,Eng,M.Sc Selaku Rektor Universitas Medan Area dan Bapak Jufrizal,ST,MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran kepada penulis dalam penulisan Skripsi ini.
3. Bapak Dr Iswandi, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang banyak membantu penyusunan skripsi ini.

4. Terimah kasih penulis sampaikan kepada bapak Dr. Jufrizal, ST, MT selaku dosen pembimbing dan penulis juga banyak mengungkapkan terima kasih kepada CV. Ira Publishing yang berkenan mejadi tempat riset bagi penulis .
5. Lofty Razani dan Gifty Syafira selaku sodara kandung yang memberikan dorongan, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Skripsi ini.
6. Elezty Anjelita selaku tunangan saya yang tidak lelah untuk selalu memberikan dorongan, semangat, dan motivasi untuk segera selesai perkuliahan.
7. Teman-teman terbaikku Ichsan Pramudyas Zain, Aditya Gunawan, Arga sidabutar, Aulia Rizky Ananda dan Kawan-kawan seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2019 yang telah memberikan dorongan, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Skripsi ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya dan semoga Skripsi ini dapat bermanfaat, terutama bagi penulis dan pembaca.



Medan Mei 2025

Handy Zulfikri

198130032

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	II
HALAMAN PERNYATAAN.....	III
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	IV
ABSTRAK	V
RIWAYAT HIDUP	VI
KATA PENGANTAR.....	VIII
DAFTAR ISI.....	X
DAFTAR TABEL	XII
DAFTAR GAMBAR.....	XIII
DAFTAR LAMPIRAN	XV
DAFTAR NOTASI.....	XVI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Hipotesis Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Perkembangan Sejarah Turbin Angin	7
2.2 Definisi Turbin Angin	9
2.2.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal	10
2.2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal	13
2.3 Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal	15
2.4 Kondisi Lingkungan.....	17
2.5 Definisi Energi Angin	21
2.6 Asal Energi Angin.....	21
2.7 Angin.....	22
2.8 Sistem Konveksi Energi Angin.....	26

2.9 Data CV Ira Publishing Kecepatan Angin	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	44
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	44
3.2 Bahan dan Alat	45
3.3 Metode Penelitian.....	50
3.4 Populasi dan Sampel	52
3.5 Prosedur Kerja.....	52
BAB IV Hasil Dan Pembahasan	55
4.1 Hasil pengujian dimmer 1	55
4.1.1 Pembahasan daya angin daya turbin dan efisiensi	57
4.2 Hasil pengujian dimmer 2	60
4.2.1 Pembahasan daya angin daya turbin dan efisiensi	63
4.3 Hasil pengujian dimmer 3	65
4.3.1 Pembahasan daya angin daya turbin dan efisiensi	68
4.4 Hasil pengujian dimmer 4	71
4.4.1 Pembahasan daya angin daya turbin dan efisiensi	74
4.5 Hasil pengujian dimmer 5	77
4.5.1 Pembahasan daya angin daya turbin dan efisiensi	79
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	86
Simpulan	86
Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	90

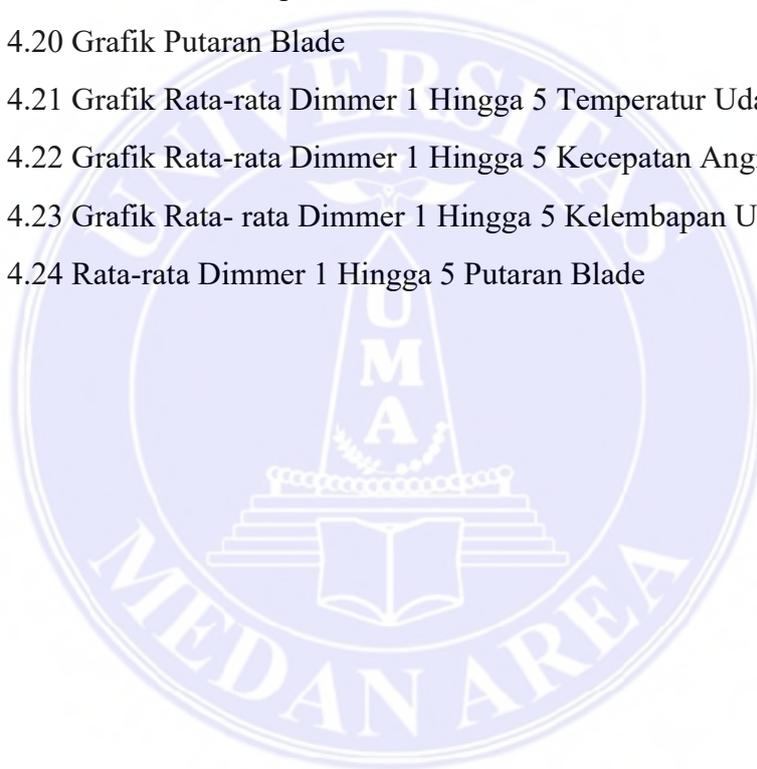
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Antara (<i>VAWT dan HAWT</i>)	15
Tabel 2.2 Data Kecepatan Angin	22
Tabel 2.3 Data Kecepatan Angin Bulan Januari	34
Tabel 2.4 Data Kecepatan Angin Bulan Februari	36
Tabel 2.5 Data Kecepatan Angin Bulan Maret	38
Tabel 2.6 Data Kecepatan Angin Bulan April	40
Tabel 2.7 Data Kecepatan Angin Bulan April	42
Tabel 3.1 Jabwal Tugas Akhir	44
Tabel 3.2 Spesifikasi Digital Anemometer	46
Tabel 3.3 Spesifikasi Mini Digital Thermo	47
Tabel 3.4 Spesifikasi Blower	49
Tabel 3.5 Variabel Bebas dan Terikat	51
Tabel 4.1 Pengukuran dan Perhitungan dimmer 1	60
Tabel 4.2 Pengukuran dan Perhitungan dimmer 2	65
Tabel 4.3 Pengukuran dan Perhitungan dimmer 3	71
Tabel 4.4 Pengukuran dan Perhitungan dimmer 4	76
Tabel 4.5 Pengukuran dan Perhitungan dimmer 5	82
Tabel 4.6 Rata-rata Pengukuran Berdasarkan Dimmer	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Turbin Angin	10
Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal	12
Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal	14
Gambar 2.4 Variasi Nilai <i>tip Speed Ratio</i> dan Koefisien Daya	29
Gambar 2.5 Grafik Kecepatan Angin Bulan Januari	35
Gambar 2.6 Grafik Kecepatan Angin Bulan Februari	37
Gambar 2.7 Grafik Kecepatan Angin Bulan Maret	39
Gambar 2.8 Grafik Kecepatan Angin Bulan April	41
Gambar 2.9 Grafik Kecepatan Angin Bulan Mei	43
Gambar 3.1 Turbin Angin Savonius	45
Gambar 3.2 Anemometer	46
Gambar 3.3 Mini Digital Thermo	47
Gambar 3.4 Tachometer	47
Gambar 3.5 Dimmer	48
Gambar 3.6 Stopwatch	49
Gambar 3.7 Blower	49
Gambar 3.8 Thermo Hygrometer	50
Gambar 3.9 Diagram Alir	54
Gambar 4.1 Grafik Temperatur Udara	55
Gambar 4.2 Grafik Kecepatan Angin	56
Gambar 4.3 Grafik Kelembapan Udara	56
Gambar 4.4 Grafik Putaran Blade	57
Gambar 4.5 Grafik Temperatur Udara	61
Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Angin	61
Gambar 4.7 Grafik Kelembapan Udara	62
Gambar 4.8 Grafik Putaran Blade	62
Gambar 4.9 Grafik Temperatur Udara	66
Gambar 4.10 Grafik Kecepatan Angin	67

Gambar 4.11 Grafik Kelembapan Udara	67
Gambar 4.12 Grafik Putaran Blade	68
Gambar 4.13 Grafik Temperatur Udara	71
Gambar 4.14 Grafik Kecepatan Angin	72
Gambar 4.15 Grafik Kelembapan Udara	73
Gambar 4.16 Grafik Putaran Blade	73
Gambar 4.17 Grafik Temperatur Udara	77
Gambar 4.18 Grafik Kecepatan Angin	78
Gambar 4.19 Grafik Kelembapan Udara	78
Gambar 4.20 Grafik Putaran Blade	79
Gambar 4.21 Grafik Rata-rata Dimmer 1 Hingga 5 Temperatur Udara	83
Gambar 4.22 Grafik Rata-rata Dimmer 1 Hingga 5 Kecepatan Angin	83
Gambar 4.23 Grafik Rata-rata Dimmer 1 Hingga 5 Kelembapan Udara	84
Gambar 4.24 Rata-rata Dimmer 1 Hingga 5 Putaran Blade	84



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	91
Lampiran 2	92
Lampiran 3	93
Lampiran 4	94
Lampiran 5	95
Lampiran 6 dokumentasi harian	96



DAFTAR NOTASI

P_A	= Daya Angin (<i>watt</i>)
P	= Densitas Udara ($\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$)
A	= Luas Penampang Turbin (m^2)
V	= Kecepatan Angin (m/s)
P_T	= Daya Turbin
$P_{\text{generator}}$	= Daya Generator Listrik (<i>watt</i>)
V	= Tegangan Generator Listrik (<i>volt</i>)
I	= Arus Listrik (<i>ampare</i>)
BHP	= <i>Brake Horse Power</i> (<i>watt</i>)
$P_{\text{generator}}$	= Daya Generator Listrik (<i>watt</i>)
$\eta_{\text{generator}}$	= Efisiensi Generator Listrik (82%)
T	= Torsi (Nm)
N	= Putaran Poros (rpm)
λ	= <i>Tip speed ratio</i>
ω	= Kecepatan sudut turbin (rad/s)
R	= Jari-jari turbin (m)
V	= Kecepatan angin (m/s)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia terhadap energi semakin meningkat dan energi fosil yang selama ini digunakan semakin menipis. Di Indonesia sendiri energi fosil diperkirakan habis pada tahun 2025. Berbagai cara dilakukan untuk terus membuat energi tetap tersedia. Akan tetapi akibat penggunaan, energi fosil yang terus-menerus ini, bumi terkena imbasnya. Udara menjadi kotor, jarak pandang menipis, dan *global warming* terus meningkat. Karena itu yang seperti kita tahu, banyak orang yang berinovasi menciptakan alat yang dapat membantu manusia dari penggunaan energi fosil menjadi energi terbarukan atau setidaknya mengurangi penggunaan dari energi fosil itu sendiri.

Indonesia termasuk salah satu negara yang tertinggal dalam pemanfaatan energi terbarukan yang mana masih jauh dari target. Tantangan yang dihadapi untuk mengembangkan energi terbarukan tidaklah mudah. Salah satu energi terbarukan yang memungkinkan untuk diimplementasikan termasuk di Indonesia adalah energi angin. Angin yang dihasilkan oleh udara yang berpindah dan udara dapat ditemukan diseluruh penjuru bumi. Akan tetapi, tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan secara maksimal, hal tersebut tergantung pada kecepatan angin yang ada pada tempat tersebut. Oleh karena itu, penentuan wilayah yang tepat sebagai penempatan kincir angin menjadi salah satu hal yang penting. Kita perlu memastikan potensi angin di wilayah tersebut, sehingga kita dapat memperkirakan seberapa besar energi yang

dapat dihasilkan serta bagaimana sistem kincir angin yang harus dibangun jika kincir angin dipasang di wilayah tersebut (Andiyantama et al., 2021).

Sepanjang sejarah manusia kemajuan-kemajuan besar dalam kebudayaan selalu diikuti oleh meningkatnya konsumsi energi, peningkatan ini berhubungan langsung dengan tingkat kehidupan penduduk serta kemajuan industrilisasi. Sejak revolusi industri, pengguna bahan bakar meningkat dengan tajam, oleh karena itu diperlukan sumber energi yang memenuhi semua kebutuhan. Salah satu sumber energi yang banyak adalah energi fosil, sayangnya energi ini termasuk energi yang tidak dapat diperbaharui dan jika energi fosil ini habis maka diperlukan sumber-sumber energi baru.

Angin sebagai sumber energi yang jumlahnya melimpah merupakan sumber energi yang terbarukan dan tidak menimbulkan polusi udara karena tidak menghasilkan gas buang yang dapat menyebabkan efek rumah kaca. Potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik (m/detik), salah satu pemanfaatan energi angin adalah dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin mampu mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Turbin angin yang sudah banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal, dimana dalam penggunaannya memerlukan aliran angin yang berkecepatan tinggi dan arah aliran yang searah dengan turbin. Namun angin di wilayah Indonesia mempunyai kecepatan rendah dan arah aliran yang selalu berubah-ubah. Pada turbin angin sumbu horizontal pemanfaatannya harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya, berbeda dengan turbin angin sumbu vertikal dapat memanfaatkan angin dari segala arah

sehingga tidak perlu mengarahkan turbin pada arah angin yang paling tinggi kecepatannya.

Turbin angin merupakan alat yang mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik, Turbin yang dapat menghasilkan energi dari angin secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu turbin angin sumbu horizontal [*Horizontal Axis Wind Turbine*] dan turbin angin sumbu vertikal [*Vertikal Axis Wind Turbine*]. Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin dengan poros yang berputar tegak lurus terhadap arah aliran angin. Umumnya, perputaran rotor disebabkan oleh adanya gaya hambat yang lebih dominan dari gaya angkat pada sudu rotor (Abdullah et al., 2016). Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan didunia pada umumnya terus meningkat karena penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pengering, pembangkit listrik, penggerak kincir. Pemanfaatan Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) di desa sigara-gara merupakan salah satu alternatif mengingat di desa tersebut memiliki lingkungan yang cukup bagus dengan potensi anginnya (Arsad et al., 2005).

Energi angin termasuk energi terbarukan yang didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Beberapa kelebihan energi terbarukan yaitu. Sumbernya relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar di Indonesia. Kerja dari suatu turbin angin dapat dilihat dari daya poros, torsi, dan efisiensi turbin yang dihasilkan. Turbin angin ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mendapat daya

keluaran yang maksimal. Salah satu yang dapat mempengaruhi kerjanya adalah dengan variasi sudut blade. Penelitian ini bertujuan mengamati pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal.

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasinya tegak lurus terhadap permukaan tanah, jika dibandingkan dengan efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibandingkan turbin angin sumbu vertikal. Tetapi turbin angin juga memiliki keunggulan antara lain: tidak harus diubah arah posisinya jika angin berubah, tidak membutuhkan struktur menara yang besar konstruksi turbin sederhana dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah. Selain itu Turbin angin sumbu vertikal dapat bergerak menghasilkan listrik pada kondisi kecepatan angin yang rendah. (Halek et al., 2022).

Dalam penelitian ini fokus pada pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari tiga bilah *blade*. Berdasarkan uraian diatas, maka penulis mengangkat penelitian yang berjudul **“Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) di desa Sigara-gara”**

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh perubahan temperatur udara terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal?

- b. Bagaimana pengaruh perubahan kelembapan udara terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal?
- c. Bagaimana pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah ;

- a. Untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur udara terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal.
- b. Untuk mengetahui pengaruh perubahan kelembapan udara terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal.
- c. Untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal.

1.4 Hipotesis Penelitian

Pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal ini dengan tiga buah blade, diharapkan dapat memenuhi tujuan yang ingin dicapai seperti mengetahui hasil temperatur udara, kecepatan angin, kelembapan udara, dan putaran blade.

1.5 Manfaat Penelitian

a) Manfaat Teoritis

- a) Penelitian ini diharapkan menjadi salah satu kontribusi sumber energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*).
- b) Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi tentang turbin angin sumbu vertikal.
- c) Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi pada penelitian selanjutnya dalam bidang yang sama.

b) Manfaat Praktis

a. Bagi peneliti

- a) Menambah pengalaman dalam melakukan penelitian.
- b) Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan pemikiran maupun masukan bagi peneliti lain
- c) Memberi pengetahuan tentang turbin angin khususnya turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*)

b. Bagi masyarakat

- a) Sebagai referensi masyarakat sekitar agar dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan.
- b) Mencontohkan ketrampilan bagi kalangan anak muda setempat
- c) Menjadikan motivasi bagi masyarakat agar berkembangnya alat turbin angin sumbu vertikal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkembangan Sejarah Turbin Angin

Kincir angin telah digunakan setidaknya selama 3000 tahun, terutama untuk menggiling biji-bijian atau memompa air, sedangkan dikapal layar angin menjadi sumber penting kekuatan lebih lama lagi. Sejak awal abad ke 13 sumbu horizontal kincir angin adalah bagian integral dari ekonomi pedesaan dan hanya tidak digunakan lagi, munculnya mesin berbahan bakar fosil yang murah dan kemudian penyebaran elektrifikasi pedesaan. Pengguna turbin angin untuk menghasilkan listrik dapat ditelusuri kembali ke akhir abad 19 dengan generator kincir angin DC 12 kW, dibangun oleh Brush di AS dan penelitian yang dilakukan oleh La Cour di Denmark. Namun, untuk sebagian besar abad ke 20 ada sedikit minat menggunakan energi angin selain untuk pengisian baterai untuk tempat tinggal terpencil dan sistem ini berdaya rendah dengan cepat diganti begitu akses ke jaringan listrik menjadi tersedia. Satu pengecualian penting adalah turbin angin Smith-Putnam 1250 kW dibangun di AS pada tahun 1941. Mesin yang luar biasa ini memiliki rotor baja sepanjang 53 m diameter, control pitch rentang penuh dan *blade* yang mengempak untuk mengurangi beban, meskipun *blade spar* gagal secara dasyat pada tahun 1945 itu tetap menjadi turbin angin terbesar yang pernah dibangun selama 40 tahun (Putnam, 1948). Golding (1955) dan Shepherd (1994) memberikan gambaran yang menarik sejak awal pengembangan turbin angin. Mereka mencatat diameter 100 kW 30 m turbin angin balaclava di USSR pada tahun 1931 dan Andrea Enfield 100 kW desain *pneumatik* berdiameter 24 m dibangun di Inggris pada awal 1950-

an, didalam bilah berongga turbin, terbuka di ujungnya digunakan untuk menarik udara melalui menara dimana turbin lain menggunakan generator. Di Denmark 200 kW berdiameter 24 m mesin *Gedser* dibangun pada tahun 1956.

Asosiasi di Inggris hanya ada sedikit minat berkelanjutan pada pembangkit angin sampai harga minyak naik secara dramatis pada tahun 1973. Kenaikan harga minyak yang tiba-tiba memicu sejumlah besar program penelitian, pengembangan, dan demonstrasi yang didanai pemerintah, hal ini Amerika Serikat menyebabkan pembangunan serangkaian turbin *prototype* dimulai dengan Mod – 0 berdiameter 38 m 100 kW pada tahun 1975 dan berpuncak pada diameter 97,5. 2,5 MW Mod - 5B pada tahun 1987, program ini juga serupa dilakukan di Inggris, Jerman, dan Swedia.

Ada banyak ketidakpastian tentang arsitektur mana yang mungkin terbukti paling hemat biaya dan beberapa konsep inovatif diselidiki sepenuhnya. Di Kanada, turbin angin Darrieus sumbu vertikal 4 MW dibangun dan konsep ini juga diselidiki dalam uji sumbu vertikal Sandia berdiameter 34 m yang difasilitasi oleh Amerika Serikat. Di Inggris desain sumbu vertikal alternatif menggunakan lurus bilah untuk memberikan rotor tipe “H” dan 500 kW diusulkan oleh Dr Peter Musgrove.

Pada tahun 1981 sebuah turbin angin sumbu horizontal 3 MW yang inovatif dibangun dan diuji di Amerika Serikat, menggunakan transmisi hidrolik dan sebagai alternatif dari drive yaw seluruh struktur di orientasikan ke arah angin. Itu pilihan terbaik untuk jumlah bilah tetap tidak jelas untuk sementara waktu dan besar turbin dibangun dengan satu, dua, dan tiga bilah. Banyak informasi ilmiah dan teknik penting diperoleh dari ini, program penelitian yang didanai oleh pemerintah

dan prototipe umumnya berfungsi sebagai dirancang, namun harus diakui bahwa masalah pengoperasian sangat besar tidak berawak dan dalam iklim angin sulit diperkirakan dan keandalan prototipe tidak baik. Pada saat yang sama multi prototipe megawatt sering dibangun oleh perusahaan swasta dengan dukungan negara yang cukup besar, membangun jauh lebih kecil seringkali lebih sederhana. Khususnya mekanisme dukungan keuangan di California pada pertengahan 1980-an menghasilkan pemasangan sejumlah besar turbin kecil 100 kW. Sejumlah desain ini juga menderita dari berbagai masalah tetapi, umumnya lebih mudah diperbaiki dan memodifikasi. Yang disebut konsep Denmark muncul dari tiga bilah, rotor yang diatur kiosk dan *drave* train mesin induksi berkecepatan tetap. Arsitektur yang tampak terbukti sangat sukses dan sekarang telah berhasil diimplementasikan pada turbin 60 m dan pada peringkat 1,5 MW (Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, 2001).

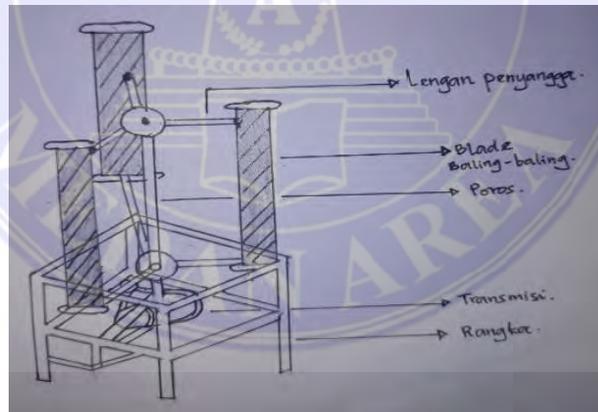
2.2 Definisi Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan negara-negara di Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill*.

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. Walaupun sampai saat ini

penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (PLTD, PLTU, dan lain lain), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarukan contohnya batubara dan minyak bumi sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, PLTA mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana energi angin yang memutar turbin angin diteruskan untuk memutar rotor pada generator di belakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan (Saputra, 2016). Secara sederhana Sketsa turbin angin dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 2.1 Sketsa Turbin Angin Sumbu Vertikal

2.2.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin yang pertama kali dirancang oleh penemu Kroasia, bernama Fausto Veranzio, pada tahun 1596. Poros

rotor utama dipasang melintang terhadap angin sedangkan komponen utamanya terletak di dasar turbin. Pengaturan ini memungkinkan generator dan gearbox ditempatkan dekat dengan tanah, memfasilitasi layanan dan perbaikan. Turbin ini tidak perlu diarahkan ke angin, yang mana akan kebutuhan mekanisme penginderaan angin.

Perangkat tenaga angin digunakan untuk menghasilkan listrik, dan biasanya disebut turbin angin. Orientasi poros dan sumbu rotasi menentukan klasifikasi turbin angin. Turbin dengan poros yang dipasang secara horizontal sejajar dengan tanah dikenal sebagai turbin angin sumbu horizontal sedangkan yang memiliki poros normal terhadap tanah yaitu turbin angin sumbu vertikal (Deshmukh & Charthal, 2017).

Kedua konfigurasi tersebut memiliki desain rotor yang dapat langsung dibedakan, dengan desain sendiri dan karakteristik menguntungkan. Turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*) dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu menggunakan tarikan aerodinamis untuk mengekstrak tenaga dari angin dan yang menggunakan daya angkat. Keuntungan dari *VAWT* ini adalah dapat menerima angin dari segala arah. Alat ini menyederhanakan, merancang, dan menghilangkan masalah yang timbul oleh gaya giroskopik pada rotor konveksi. Sumbu rotasi vertikal juga memungkinkan pemasangan generator dari drive train di permukaan tanah. Kerugian dari jenis rotor ini adalah cukup sulit untuk mengontrol output daya dengan melempar baling baling, ia tidak memulai sendiri dan memiliki rasio ujung kecepatan rendah (Turbine et al., 2012). Contoh gambar 2.1 turbin angin sumbu vertikal ada dibawah ini.



Gambar 2.2 turbin angin sumbu vertikal

Beberapa contoh kelebihan turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat dibawah ini yaitu :

- a) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b) Pemeliharaannya lebih mudah.
- c) Memiliki keaerodinamisan yang tinggi.
- d) Wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu.
- e) VAWT memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada HAWT.
- f) Turbin ini biasanya memiliki tip speed ratio yang lebih rendah sehingga lebih kecil.
- g) Turbin ini bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- h) Turbin ini tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.

Sedangkan contoh kekurangan turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat dibawah ini :

- a) Kebanyakan turbin ini memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi KASH

- b) Turbin ini tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- c) Kebanyakan alat ini mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- d) Turbin ini menggunakan tabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan.

2.2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana, sedangkan turbin yang berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor, sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah angin menaranya.

Bila-bila turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin yang berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan bila-bila diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan reabilitas begitu penting, sebagian besar turbin angin sumbu horizontal merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut arah angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap

sejalan dengan angin, dan karena disaat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu(Multazam & Mulkan, 2019). Contoh 2.2 turbin angin sumbu horizontal gambar ada dibawah ini.



Gambar 2.3 turbin angin sumbu horizontal

Alat ini merupakan salah satu mesin konversi energi yang menghasilkan energi listrik. Dari pemanfaatan perubahan energi kinetik energi angin menjadi energi mekanik untuk memutar generator dan mengeluarkan listrik, sehingga dapat membangkitkan energi listrik.

Beberapa contoh kelebihan turbin angin sumbu horizontal dapat dilihat dibawah ini yaitu :

- a) Akses angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin.
- b) Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%

Sedangkan contoh kekurangan turbin angin sumbu horizontal dapat dilihat dibawah ini yaitu :

- a) Sulit diangkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, dan juga sulit dipasang.
- b) Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, contohnya *gearbox* dan generator.
- c) Ukurannya yang tinggi merintangai jangkauan pandangan.
- d) Kerusakan struktur akibat turbulensi.

Adapun perbandingan antara turbin angin sumbu vertikal dan horizontal terdapat dibawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan antara turbin angin sumbu vertikal dan horizontal

No	Pertunjukkan	VAWT	HAWT
1	Efisiensi pembangkit Listrik	Diatas 70%	50%-60%
2	Gangguan Elektromagnetik	Tidak	Iya
3	Mekanisme Kemudi Angin	Tidak	Iya
4	Kotak Persneling	Tidak	Lebih 10kw
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
11	Kekuatan Kurva	Tinggi	Lemah

2.3 Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) mampu memanfaatkan angin dari berbagai arah serta memiliki kemampuan self-starting yang bagus, sehingga hanya membutuhkan angin dengan kecepatan rendah untuk dapat memutar rotor dari turbin angin ini. Selain itu, torsi yang dihasilkan turbin angin ini relatif tinggi. Peningkatan koefisien daya tergantung pada desain dari turbin angin

ini. Pada dasarnya, banyak faktor yang dapat mempengaruhi perormansi turbin angin. Namun dalam hal ini, variabel yang dilihat yaitu pengaruh variasi kurva baling (*blade*) terhadap daya yang dihasilkan turbin angin sumbu vertikal untuk angin berkecepatan rendah. Diduga profil kurva baling dengan panjang sumbu lebih besar akan menghasilkan daya yang lebih tinggi dibanding profil kurva baling dengan panjang sumbu lebih kecil.

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, pembangkit listrik tenaga angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya disimpan ke dalam batrai sebelum dimanfaatkan.

Dalam beberapa penelitian terdahulu tentang rancang bangun turbin angin sumbu vertikal jenis savonius tipe U dengan variasi jumlah sudu 2, 3, dan 4 diperoleh bahwa turbin konvensional 2 sudu dengan adanya perisai melingkar (*circular shield*) memperlihatkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan turbin angin lebih 2 sudu, perisai melingkar mampu menambah dan meningkatkan torsi awal untuk memulai putaran awal turbin dan mampu menambah putaran turbin secara signifikan.

Turbin angin sumbu vertikal tipe sudu 90 merupakan pengembangan dari turbin angin savonius konvensional yang berdasarkan hasil penelitian terdahulu memiliki koefisien power maksimal sekitar 0,3. Pengembangan dilakukan pada bentuk sudu yaitu dari bentuk sudu turbin savonius menjadi kelengkungan 90,

selain itu pengembang bentuk sudu, turbin angin sumbu vertikal tipe sud 90 dirancang dengan aspek resio = 2,8 dan *overlap* = 0,2. Kecepatan angin dapat diukur dengan menggunakan *anemometer*. Pengukuran dapat diulang beberapa kali dan diambil nilai yang paling banyak muncul, ketika pengambilan data *anemometer* disangga agar posisinya konstan terhadap sumber angin.

Pengukuran kecepatan angin dilakukan dengan tidak menyertakan turbin, hal ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan awal angin sebelum menumbuk turbin. Apabila pengukuran kecepatan angin dilakukan bersamaan dengan pengukuran kecepatan putaran turbin, hasil pengukuran akan sedikit berbeda karena putaran turbin akan mempengaruhi nilai kecepatan angin yang diukur oleh *anemometer*.

Pengukuran selanjutnya adalah pengukuran putaran turbin terhadap variasi kecepatan angin. Pengukuran dilakukan menggunakan *tachometer*. Alat ini menggunakan sumber cahaya yang dapat disinkronisasi dengan setiap putaran benda. Sebelum pengukuran dilakukan turbin diberi tanda terlebih dahulu, misalnya dengan menempelkan kertas putih pada poros turbin untuk mempermudah pembacaan nilai putaran turbin. Pengukuran tegangan dan arus keluar generator DC dilakukan menggunakan multimeter digital.

2.4 Kondisi Lingkungan

Turbin angin adalah sumber energi terbarukan yang umum, tetapi biasanya terletak di daerah pedesaan atau pesisir pantai dimana alat ini dapat memanfaatkan angin tanpa mengganggu lingkungan perkotaan. Namun, beberapa arsitek dan

insinyur sedang mencari cara untuk mengintegrasikan turbin angin ke dalam desain perkotaan, menciptakan bangunan yang menghasilkan tenaga sendiri dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Salah satu jenis turbin angin utama yang dapat digunakan di pedesaan atau kota adalah turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*) yang memiliki bilah yang berputar mengelilingi sumbu vertikal. Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal (*HAWT*), yang memiliki bila menghadap kearah angin, sehingga lebih cocok untuk kondisi angin yang bergolak dan berubah di lingkungan yang ditetapkan. Salah satu kekhawatiran utama bila pemasangan turbin angin di daerah pedesaan adalah kebisingan dan getaran yang dihasilkannya, yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan kesejahteraan masyarakat. Biasanya untuk mengatasi masalah ini beberapa perancang dan peneliti telah mengembangkan cara untuk mengurangi kebisingan dan getaran dari alat ini, seperti menggunakan bentuk aerodinamis, material penyerap suara, atau sistem kontrol aktif.

Selain itu, kekhawatiran tentang pemasangan turbin angin di daerah pedesaan dan kota adalah keamanan dan pemeliharaan turbin, terutama jika terjadi angin kencang, badai, atau kecelakaan. Untuk memastikan keamanan dan keandalan turbin menerapkan langkah-langkah seperti menggunakan bahan yang kokoh dan tahan lama, memasang sensor dan sistem pemantauan atau merancang rem darurat.

Ketika turbin angin di operasikan, masalah timbul apabila terjadi perubahan cuaca yang menyebabkan perubahan daya listrik yang dihasilkan. Biasanya faktor yang mendukung perbedaan daya listrik yang dihasilkan adalah kelembaban udara.

Maka dari itu pada penelitian ini kami ingin mengetahui pengaruh kondisi lingkungan dan kelembaban udara pada turbin angin sumbu vertikal secara praktek agar mengetahui kondisi lingkungan dan kelembaban udara dalam membangkitkan energi listrik.

Penelitian ini akan membandingkan dua kondisi kelembaban udara yaitu kondisi udara ideal dan kondisi udara lembab. Pada kondisi udara lembab blower akan menghembuskan angin beserta uap air ke turbin angin, sedangkan pada kondisi udara ideal blower akan menghembuskan angin ke turbin angin. Nilai daya tertinggi yang didapat turbin angin pada kondisi udara ideal adalah 11,011 watt dengan kecepatan angin 7,2 m/s, sedangkan nilai daya tertinggi yang didapat turbin angin pada kondisi udara yang lembab adalah 10,8 watt dengan kecepatan angin 7,2 m/s. Selisih nilai daya terbesar terletak pada kecepatan angin 6 m/s dengan selisih nilai terbesar 0,4 W. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan turbin angin dengan kondisi udara ideal lebih besar dibandingkan daya turbin angin pada kondisi udara lembab. Adapun faktor-faktor lingkungan dan masalah penting yang harus dipertimbangkan secara serius yaitu:

- a) Pemilihan lokasi ini adalah yang paling penting, jumlah signifikan dari arah angin biasanya terjadi di dalam aliran angin horizontal pada permukaan tinggi di setiap lokasi pemasangan, data meteorologi harus dikumpulkan selama beberapa tahun untuk memastikan bahwa kecepatan angin 20 hingga 30 mph.
- b) Turbin angin dapat menciptakan efek krusial pada iklim dan cuaca di tingkat provinsi jika kepadatan turbin terkonsentrasi di area yang luas. Turbulensi putaran rotor turbin angin meningkatkan pencampuran kalor vertikal dan

uap air yang mempengaruhi kondisi meteorologi angin, termasuk curah hujan, secara keseluruhan pembangkit turbin angin menyebabkan sedikit pemanasan di malam hari dan sedikit pendinginan di siang hari.

- c) Kebisingan turbin angin terdapat dua jenis, yaitu mekanis dan aerodinamis. Kebisingan mekanis dihasilkan oleh komponen mekanik dan generator listrik sedangkan kebisingan aerodinamis dihasilkan oleh aliran udara di sekitaran sudu turbin. Kombinasi dari kedua suara tersebut adalah suara keseluruhan dari turbin angin. Akhir-akhir ini karena ada pengembangan peredaman kebisingan tingkat lanjut desain turbin kebisingan mekanis telah berkurang dan tidak sebanding kebisingan aerodinamis, terutama untuk turbin angin skala besar. Faktor yang berbeda berkontribusi pada penyebaran kebisingan dari turbin angin, termasuk udara, suhu, kelembaban, halangan, pantulan, dan material permukaan tanah.
- d) Di musim dingin, es dapat terbentuk bilah turbin dan dapat jatuh selama operasi, ini adalah resiko mematikan dari alat ini, turbin modern dapat mendeteksi getaran berlebihan yang berlebihan selama pembentukan es, operasi dapat mati otomatis. Kontrol elektronik dan subsistem keamanan memantau turbin, generator, menara, dan banyak aspek lainnya untuk menentukan apakah turbin beroperasi dengan aman dengan batas yang ditentukan. Sistem ini dapat mematikan turbin sementara angin kencang, ketidakseimbangan beban daya, getaran, dan masalah lainnya.

2.5 Definisi Energi Angin

Angin adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang memiliki potensi untuk menambah pasokan energi nasional. Angin global disebabkan oleh perbedaan tekanan di bumi permukaan akibat pemanasan tidak merata bumi dengan radiasi matahari dan pengaruh rotasi bumi. Angin merupakan udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah.

Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Apabila dipanaskan udara akan memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin disekitarnya mengalir ketempat yang tekanannya rendah, udara menyusut lebih berat dan turun ke tanah. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi.

2.6 Asal Energi Angin

Semua energi yang dapat diperbarui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil, kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 1.014$ Kilowatt jam energi ke bumi setiap hari, dengan kata lain, bumi ini menerima daya $1,74 \times 1.017$ watt. Sekitar 1-2% dari energi tersebut diubah menjadi energi angin. Jadi energi angin berjumlah 50-100 kali lebih banyak dari pada energi yang diubah menjadi biomassa oleh seluruh tumbuhan yang ada di muka bumi.

Sebagaimana diketahui pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin, daerah sekitar katulistiwa, yaitu pada busur 0° adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari daerah matahari dibandingkan daerah lainnya di bumi. Jika bumi tidak berotasi pada sumbunya, maka udara akan tiba dikutub utara dan kutub selatan, turun ke permukaan lalu kembali ke katulistiwa. Udara yang bergerak inilah yang merupakan energi yang dapat diperbarui, yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan akhirnya turbin menghasilkan listrik. Terdapat tabel 2.2 data kecepatan angin dibawah ini :

Tabel 2.2 Data kecepatan angin

Kelas Angin	Kecepatan angin m/d	Kecepatan angin km/jam	Kecepatan angin knot/jam
1	0.3~1.5	1~5.4	0.58~2.92
2	1.6~3.3	5.5~11.9	3.11~6.42
3	3.4~5.4	12.0~19.5	6.61~10.5
4	5.5~7.9	19.6~28.5	10.7~15.4
5	8.0~10.7	28.6~38.5	15.6~20.8
6	10.8~13.8	38.6~49.7	21~26.8
7	13.9~17.1	49.6~61.5	27~33.3
8	17.2~20.7	61.6~74.5	33.5~40.3
9	20.8~24.4	74.6~87.9	40.5~47.5
10	24.5~28.4	88.0~102.3	47.7~55.3
11	28.5~32.6	102.4~117.0	55.4~63.4
12	>32.6	>188	63.4

2.7 Angin

Angin adalah gerakan udara yang terjadi diatas permukaan bumi. Angin terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara, ketinggian dan temperatur.

Semakin besar perbedaan tekanan udara maka kecepatan angin akan meningkat. Selain itu kecepatan angin pada siang hari akan lebih besar daripada malam hari karena pada waktu siang hari udara relatif lebih tinggi dibanding dengan malam hari. Angin adalah salah satu energi yang mudah didapatkan tapi masih jarang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Sebelumnya angin dimanfaatkan sebagai irigasi, pencacaan hasil panen, pengering, dan lain lain. Seiring dengan semakin berkurangnya cadangan energi fosil maka angin pun dijadikan sebagai sumber energi pembangkit listrik atau bisa dikenal dengan PLTB.

Angin muncul akibat aliran pada atmosfer yang dipengaruhi oleh aktivitas mentari pada menyinari bumi yang berotasi, demikian menggunakan wilayah katulistiwa akan mendapatkan tenaga radiasi mentari lebih poly daripada di daerah kutub, atau dengan istilah lain udara diwilayah katulistiwa akan lebih tinggi dibandingkan dengan udara didaerah kutub. Disparasitas berat jenis dan tekanan udara inilah yang mengakibatkan adanya pergerakan udara, pergerakan udara ini yang didefinisikan sebagai angin. Sesuai prinsip asal terjadinya angin dapat dibedakan menjadi berikut :

1. Angin Darat dan Angin Bahari

Angin darat ialah angin yang ada akibat adanya perbedaan suhu antara daratan serta samudra, seperti yang kita ketahui bahwa sifat air pada melepaskan panas berasal dari radiasi sinar mentari lebih lambat daripada daratan, sehingga suhu di malam hari akan lebih tinggi dibandingkan menggunakan suhu pada daratan. Semakin tinggi suhu, tekanan udara akan semakin rendah, akibatnya adanya perbedaan suhu ini akan mengakibatkan terjadinya disparasitas tekanan udara pada atas daratan

serta lautan. Hal ini akan menyebabkan angin akan bertiup berasal arah darat ke arah bahari, kebalikannya di siang hari asal pukul 09.00 WIB hingga dengan pukul 16.00 WIB angin akan berhembus dari bahari ke darat akibat sifat air yang lebih lambat menyerap panas surya.

2. Angin Lembah

Angin lembah ialah angin yang bertiup asal arah lembah ke arah puncak gunung yang biasa terjadi pada siang hari. Prinsip kerjanya hampir sama dengan terjadinya angin darat dan angin laut yaitu dampak adanya perbedaan suhu antara lembah serta zenit gunung.

3. Angin Permukaan

Kecepatan serta arah angin ini ditentukan sang perbedaan yang diakibatkan oleh material permukaan bumi serta ketinggianya. Secara umum, suatu daerah dengan perbedaan tekanan udara yang tinggi akan memiliki potensi angin yang kuat, ketinggian menyebabkan sentra tekanan lebih intensif. Selain perbedaan tekanan udara, material bagian atas bumi juga mensugesti kuat lemahnya kekuatan angin karena adanya gaya gesek antara angina dan material atas bumi. Disamping itu, material permukaan bumi juga menghipnotis kemampuan pada menyerap serta melepaskan panas yang diterima asal sinar surya. Sebagai model, belahan bumi utara didominasi oleh daratan, sedangkan selatan sebaliknya lebih pada penguasaan sang lautan. Hal ini saja sudah mengakibatkan angina dibelahan bumi utara dan selatan menjadi tidak seragam.

4. Angin Topan

Angin topan artinya pusaran angin kencang yang berkecepatan angin 120 km/jam atau lebih yang sering terjadi pada wilayah tropis antara garis pulau utara serta selatan. Angin topan ditimbulkan sang disparitas tekanan pada suatu sistem cuaca. Indonesia serta daerah lainnya sangat berdekatan menggunakan khatulistiwa, sporadic sekali dilalui oleh angin. Angin paling kencang yang terjadi di daerah tropis ini umumnya berputar dengan radius ratusan kilometer kurang lebih, tekanan rendahnya yang ekstrim berkecepatan sekitar 20 km/jam.

5. Angin Demam Isu

Angin ini dibedakan menjadi dua yaitu angin musim barat dan angin isu timur. Angin musim barat artinya angin yang mengalir asal benua asia (isu terkini dingin) ke benua Australia (demam isu panas), bila angin melewati tempat yang luas mirip perairan serta samudra, maka angin ini akan mengandung curah hujan yang tinggi. Angin isu terkini barat menyebabkan Indonesia mengalami musim hujan. Angin ini terjadi dibulan desember, januari serta februari, serta maksimal dibulan januari menggunakan kecepatan minimum 3 m/s. Angin demam isu timur/angin muson timur merupakan angin yang mengalir asal benua Australia (demam isu dingin) ke benua asia (isu terkini panas) angin ini menyebabkan Indonesia mengalami demam isu kemarau, karena angin melewati celah-celah sempit dan berbagai gurun (Gibson, Australia besar serta Victoria) animo kering pada Indonesia terjadi dibulan juni, juli serta agustus.

2.8 Sistem Konveksi Energi Angin (SKEA)

Sistem konveksi energi angin merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi potensial angin menjadi energi mekanik poros oleh rotor untuk kemudian dirubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin. Hal ini selanjutnya akan dibahas melalui persamaan-persamaan (Saputra, 2016).

Energi kinetik untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan v yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

a) Daya Angin

Daya yang dihasilkan dari konversi energi angin oleh turbin angin sebanding dengan pangkat tiga kecepatan angin. Adapun daya yang dihasilkan turbin angin dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_A = 1/2 \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- P_A = Daya angin (watt)
- ρ = Densitas udara (1,1543 kg/m³)
- A = Luas penampang turbin (m²)
- V = Kecepatan angin (m/s)

b) Daya turbin

$$p_T = n_G \cdot P_G \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan

n_g = efisiensi generator

p_T = daya turbin

p_G = daya generator

c) Efisiensi turbin

$$\pi = \frac{P_t}{P_a} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

P_t = daya turbin

P_a = daya angin

d) Daya Generator

Generator merupakan sebuah perangkat listrik yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Shaft dari turbin angin akan dikoneksi dengan generator DC dan untuk menghitung daya yang dihasilkan maka digunakan persamaan :

$$P_{generator} = V \times I \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$P_{generator}$ = Daya generator listrik (*watt*)

V = Tegangan generator listrik (*volt*)

I = Arus listrik (*ampere*)

e) Brake Horse Power (BHP)

$$BHP = P_{generator} / \eta_{generator} \dots \dots \dots (2.3)$$

- BHP = Brake horse power (watt)
- $P_{generator}$ = Daya generator listrik (watt)
- $\eta_{generator}$ = efisiensi generator listrik (82%)

f) Torsi (T)

$$T = P_{generator} / (2\pi n / 60) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

- T = Torsi (Nm)
- n = Putaran poros (rpm)

g) Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio adalah perbandingan antara kecepatan ujung vane dengan kecepatan angin yang melewatinya. TSR merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan hubungan antara kecepatan angin dengan rata-rata putaran dari turbin angin. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah-ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Turbin angin tipe *lift* memiliki TSR yang lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe *drag*. Adapun persamaan untuk memperoleh harga besaran ini adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \omega \cdot R / v \dots \dots \dots (2.5)$$

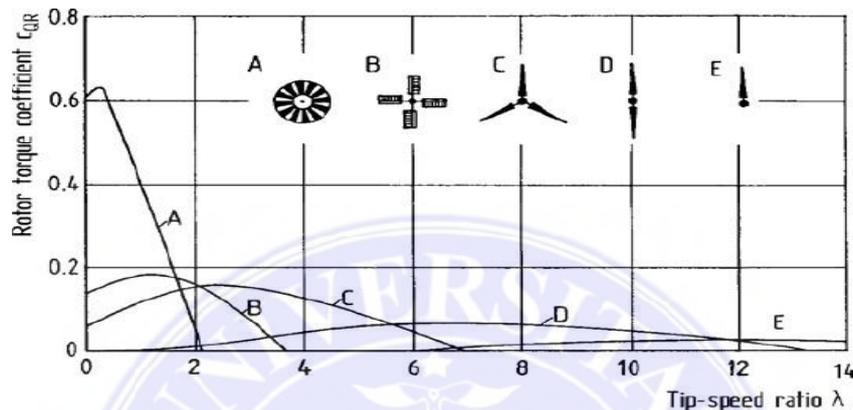
Keterangan :

- λ = Tip speed ratio
- ω = Kecepatan sudut turbin (rad/s)

R = Jari-jari turbin (m)

V = Kecepatan angin (m/s)

Gambar berikut menunjukkan variasi nilai *tip speed ratio* dan koefisien daya c_p untuk berbagai macam turbin angin.



Gambar 2.4 variasi nilai *tip speed ratio* dan koefisien daya

2.8.1 Pengukuran Kecepatan Angin

Kecepatan angin ini diukur karena merupakan bagian terpenting di dalam memprediksi energi yang akan dihasilkan dari suatu turbin angin. Pada umumnya alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin adalah anemometer. Beberapa tipe anemometer yang banyak digunakan di antaranya : anemometer tipe cangkir, anemometer baling-baling dan *hot-wire* anemometer. Bentuk cangkir dari anemometer tipe cangkir ini memberikan dorongan yang lebih besar di satu sisi daripada yang lain dan menghasilkan kecepatan rotasi yang kira-kira sebanding dengan kecepatan udara. Anemometer baling-baling memiliki impeller aksial yang terhubung dengan generator mini untuk mengukur tegangan yang dibangkitkan, nilai tegangan yang dibangkitkan diolah oleh sistem berdasarkan konstanta hubungan tegangan generator dan kecepatan putar untuk diubah menjadi nilai

kecepatan angin. *Hot-wire* anemometer menggunakan kawat pemanas tipis dengan suhu yang dijaga tetap, ketika fluida mengenai kawat, maka suhu kawat akan turun, penurunan nilai suhu kawat akan diolah berdasarkan konstanta pemanasan yang kemudian diperhitungkan sebagai laju kecepatan angin (Ismail & Rahman, 2019).

2.8.2 Pengukuran Kecepatan Putar

Alat-alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan putar suatu benda diantaranya: Tachometer mekanik, Tachometer digital, Stroboskop, Rotary Encoder, dan Wheel Encoder. Tachometer mekanik merupakan tachometer yang terkait dengan poros, roda gigi, dan beban berputar. Ketika poros input pada posisi horizontal memutar poros vertikal dan secara bersamaan memutar beban yang dapat bergerak maju mundur. Gerak maju mundur beban diperhitungkan sebagai laju putaran poros, namun karena adanya efek inersia dari beban yang bergerak maka tingkat akurasi menjadi rendah serta tidak dapat mengetahui arah putaran.

Alat ukur tachometer digital secara prinsip sama dengan anemometer tipe baling-baling karena menggunakan generator (bisa DC atau AC) yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik melalui persamaan tertentu yang nilainya proposional terhadap kenaikan tegangan yang dibangkitkan. Frekuensi yang dibangkitkan pada tachometer digital juga dapat menggunakan fotosel dimana kenaikan kecepatan putar akan proporsi dengan kenaikan frekuensi fotosel. Penggunaan konstanta listrik memberikan keuntungan utama yakni akurasi yang lebih baik serta dapat mengetahui arah putaran (khusus untuk tipe generator DC).

Konsep yang digunakan untuk alat ukur troboskop yaitu untuk membuat objek yang bergerak secara siklus tampak bergerak lambat, atau tidak bergerak. Prinsip ini digunakan untuk mempelajari objek berputar, timbal balik, berosilasi, atau bergetar. Bentuk elektronik, cakram berlubang diganti dengan lampu yang mampu memancarkan kilatan cahaya singkat dan tepat. Frekuensi lampu kilat disesuaikan sehingga sama dengan, atau pecahan unit dibawah atau diatas kecepatan siklus objek, dimana titik objek terlihat diam dan bergerak mundur atau maju, tergantung pada frekuensi lampu kilat.

Alat ukur rotary encoder, alat ini mampu mengukur arah sudut medan magnet dari magnet dengan resolusi $<0,007^\circ$. Keuntungan dari mengukur arah medan versus kekuatan medan meliputi : ketidakpekaan terhadap koefisien suhu magnet, sensitivitas yang lebih rendah terhadap guncangan dan getaran, dan kemampuan untuk menahan variasi besar dalam celah antara sensor dan magnet. Aplikasi utama pada sensor ini ialah untuk menentukan posisi sudut sumbu putar, dalam hal ini magnet permanen dipasang pada sumbu mesin tepat diatas sensor. Magnet ini menghasilkan medan magnet terarah yang sejajar [ada permukaan sensor. Bidang ini berkerja sebagai antarmuka tanpa kontak antara orientasi sumbu dan sensor.

Whell encoder adalah sensor yang dipasang pada objek berputar (seperti roda atau motor) untuk mengukur putaran. Tipe encoder ini menggunakan sensor optic, komponen mekanis yang bergerak, dan reflector khusus untuk menghasilkan serangkaian pulsa listrik. Pulsa ini dapat digunakan sebagian dari sistem kontrol umpan balik untuk menentukan jarak translasi, kecepatan rotasi dari komponen yang berputar.

2.8.3 Pengukuran Kecepatan Angin Untuk Turbin Angin

Kecepatan merupakan parameter terpenting dalam mengevaluasi daya dari turbin, hal ini sering diremehkan dari pabrikan atau disalahpahami oleh pembeli bahwa peringkat daya turbin angin hanya benar pada kecepatan tertentu, yang dikenal sebagai kecepatan rata-rata, yang tidak terlalu rendah ataupun terlalu tinggi. Tetapi disuatu tempat dimana dipercaya bahwa angin turbin akan mampu menahan gaya putaran, kecepatan dibagi menjadi empat yaitu ;

- a) *Start-up Speed* merupakan kecepatan rotor mulai berputar.
- b) *Cut-in speed* adalah angin yang minimum dimana turbin angin yang akan menghasilkan daya yang dapat digunakan, kecepatan angin ini umumnya antara 3 sampai 4,5 m/s untuk sebagian besar turbin.
- c) *Rated speed* adalah kecepatan angin minimum dimana turbin angin akan menghasilkan daya yang dirata-rata yang ditentukan.
- d) *Cut-out Speed* merupakan batas maksimum kecepatan angin pada turbin dimana terjadi *shut down*, kadang-kadang disebut juga kecepatan *furling*. *Cut-out speed* merupakan fitur keselamatan yang melindungi turbin angin dari kerusakan.

2.8.4 Pengukuran Daya Generator Listrik

Generator (Dinamo) berfungsi merubah energi gerak poros menjadi energi listrik, pada proses simulasi pada turbin, model turbin dihubungkan dengan generator untuk mengetahui besarnya energi listrik yang mampu dibangkitkan oleh model turbin tersebut. Energi listrik merupakan satuan yang terikat dengan waktu

yakni Watthour (Wh) atau *kilo Watthour* (kWh), sehingga istilah lebih tepat untuk mengukur kemampuan generator listrik adalah pengukuran daya listrik yang dibangkitkan. Daya listrik (dalam satuan watt) merupakan fungsi dari nilai tegangan dan kuat arus sehingga nilai yang dapat diukur adalah besarnya tegangan (Volt) dan arus (ampere) yang dibangkitkan. Pengukuran daya harus dilakukan secara simultan karena nilai tegangan berbanding terbalik dengan nilai arus (Ismail & Rahman, 2019).

2.9 Data CV IRA PUBLISHING kecepatan angin

Kecepatan angin dalam 1 tahun lalu yang menggunakan data CV IRA PUBLISHING pada ketinggian 13 meter dari permukaan tanah, kecepatan angin yang diukur per detik selama 4 bulan.

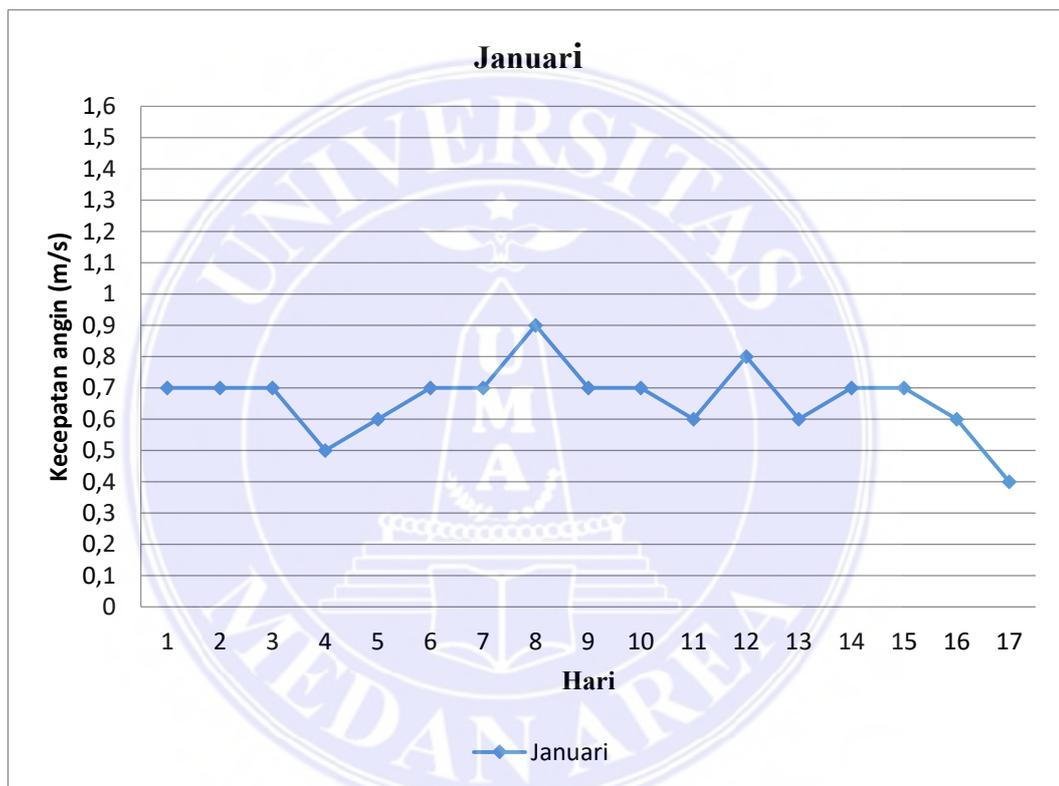
2.9.1 Kecepatan angin bulan januari

Dapat kita lihat tabel kecepatan angin dari bulan januari, februari, maret, april, dan mei di desa sigara-gara menggunakan data dari CV IRA PUBLISHING di bawah ini.

Tabel 2.3 kecepatan angin bulan januari

Hari	Kecepatan (m/s)
1	0,7
2	0,7
3	0,7
4	0,5
5	0,6
6	0,7
7	0,7
8	0,9
9	0,7
10	0,7
11	0,6
12	0,8
13	0,6
14	0,7
15	0,7
16	0,6
17	0,4
Max :	0,9
Min :	0,4
Ave :	0,7

Dari tabel diatas menunjukkan nilai dari kecepatan rata-rata angin harian pada bulan januari, dimana pengukuran dilakukan mulai pukul 00.00 WIB sampai dengan pukul 23.59 WIB setiap hari selama 17 hari, menggunakan alat ukur anemometer. Dimana kecepatan rata-rata maksimum 0,9 m/s, dan kecepatan rata-rata minimumnya 0,4 m/s. Dari tabel diatas akan diubah menjadi grafik dibawah ini :



Gambar 2.5 grafik kecepatan angin bulan januari

2.9.2 Kecepatan angin bulan februari

Dapat kita lihat tabel kecepatan angin dari bulan januari, februari, maret, april, dan mei di desa sigara-gara menggunakan data dari CV IRA PUBLISHING di bawah ini.

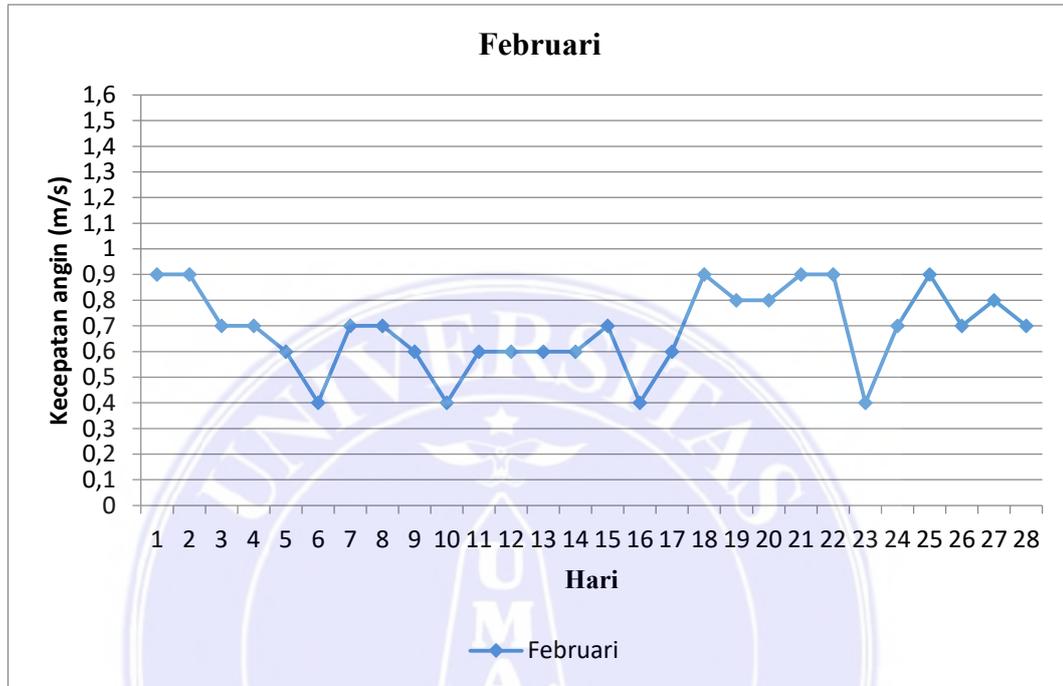
Tabel 2.4 kecepatan angin bulan februari

Hari	Kecepatan (m/s)
1	0,9
2	0,9
3	0,7
4	0,7
5	0,6
6	0,4
7	0,7
8	0,7
9	0,6
10	0,4
11	0,6
12	0,6
13	0,6
14	0,6
15	0,7
16	0,4
17	0,6
18	0,9
19	0,8
20	0,8
21	0,9
22	0,9
23	0,4
24	0,7
25	0,9
26	0,7
27	0,8
28	0,7
Max:	0,9
Min:	0,4
Ave:	0,7

Dari tabel diatas menunjukkan nilai dari kecepatan rata-rata angin harian pada bulan februari dimana pengukuran dilakukan mulai pukul 00.00 WIB sampai dengan pukul 23.59 WIB setiap hari selama 28 hari, menggunakan alat ukur

anemometer. Dimana kecepatan rata-rata maksimum 0,9 m/s, dan kecepatan rata-rata minimumnya 0,4 m/s. Dari tabel diatas akan diubah menjadi grafik dibawah ini

:



Gambar 2.6 grafik kecepatan angin bulan februari

2.9.3 Kecepatan angin bulan maret

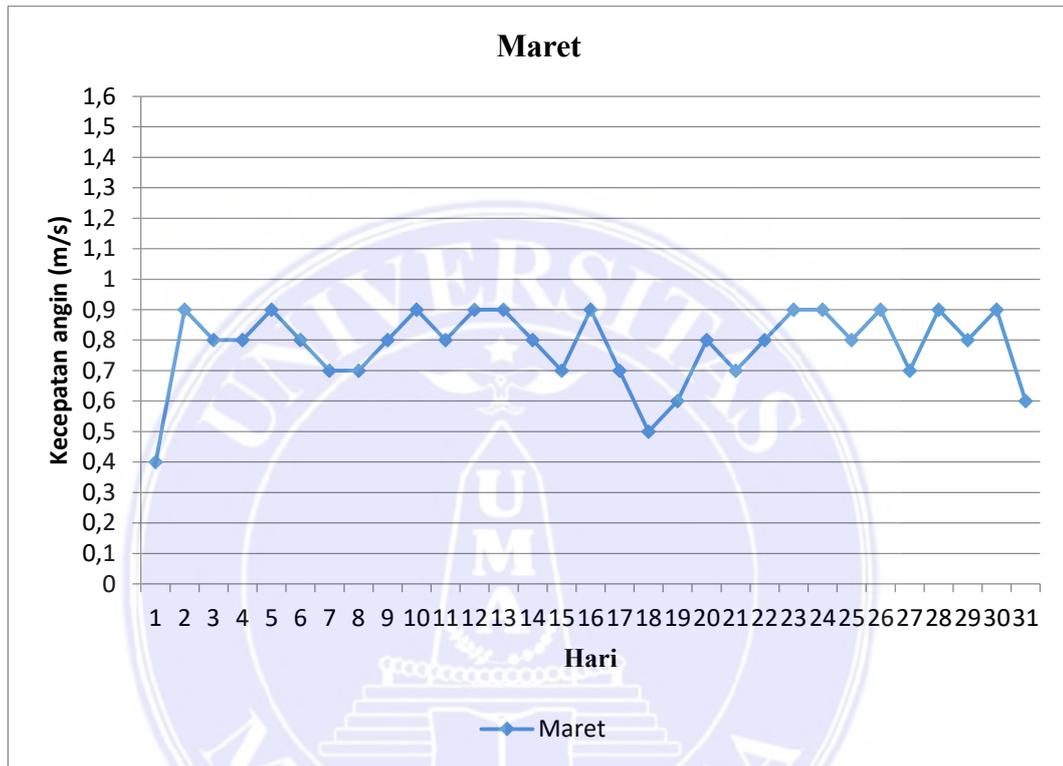
Dapat kita lihat tabel kecepatan angin dari bulan januari, februari, maret, april, dan mei di desa sigara-gara menggunakan data dari CV IRA PUBLISHING di bawah ini.

Tabel 2.5 kecepatan angin bulan maret

Hari	Kecepatan (m/s)
1	0,4
2	0,9
3	0,8
4	0,8
5	0,9
6	0,8
7	0,7
8	0,7
9	0,8
10	0,9
11	0,8
12	0,9
13	0,9
14	0,8
15	0,7
16	0,9
17	0,7
18	0,5
19	0,6
20	0,8
21	0,7
22	0,8
23	0,9
24	0,9
25	0,8
26	0,9
27	0,7
28	0,9
29	0,8
30	0,9
31	0,6
Max :	0,9
Min :	0,4
Ave :	0,78

Dari tabel diatas menunjukkan nilai dari kecepatan rata-rata angin harian pada bulan maret dimana pengukuran dilakukan mulai pukul 00.00 WIB sampai

dengan pukul 23.59 WIB setiap hari selama 31 hari, menggunakan alat ukur anemometer. Dimana kecepatan rata-rata maksimum 0,9 m/s, dan kecepatan rata-rata minimumnya 0,4 m/s. Dari tabel diatas akan diubah menjadi grafik dibawah ini :



Gambar 2.7 grafik kecepatan angin bulan maret

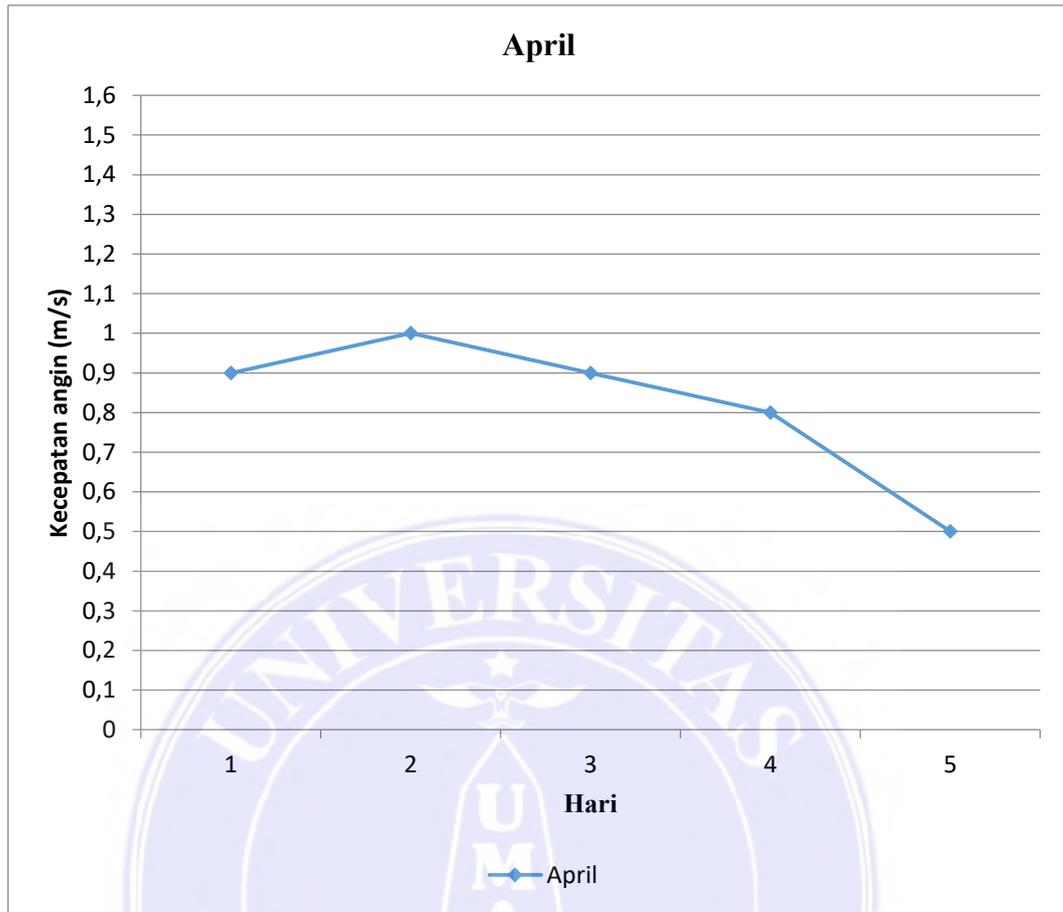
2.9.4 Kecepatan angin bulan april

Dapat kita lihat tabel kecepatan angin dari bulan januari, februari, maret, april, dan mei di desa sigara-gara menggunakan data dari CV IRA PUBLISHING di bawah ini.

Tabel 2.6 kecepatan angin bulan april

Hari	Kecepatan (m/s)
1	0,9
2	1,0
3	0,9
4	0,8
5	0,5
Max :	1
Min :	0,5
Ave :	0,82

Dari tabel diatas menunjukkan nilai dari kecepatan rata-rata angin harian pada bulan april dimana pengukuran dilakukan mulai pukul 00.00 WIB sampai dengan pukul 23.59 WIB setiap hari selama 5 hari, menggunakan alat ukur anemometer. Dimana kecepatan rata-rata maksimum 1,0 m/s, dan kecepatan rata-rata minimumnya 0,5 m/s. Dari tabel diatas akan diubah menjadi grafik dibawah ini



Gambar 2.8 grafik kecepatan angin bulan april

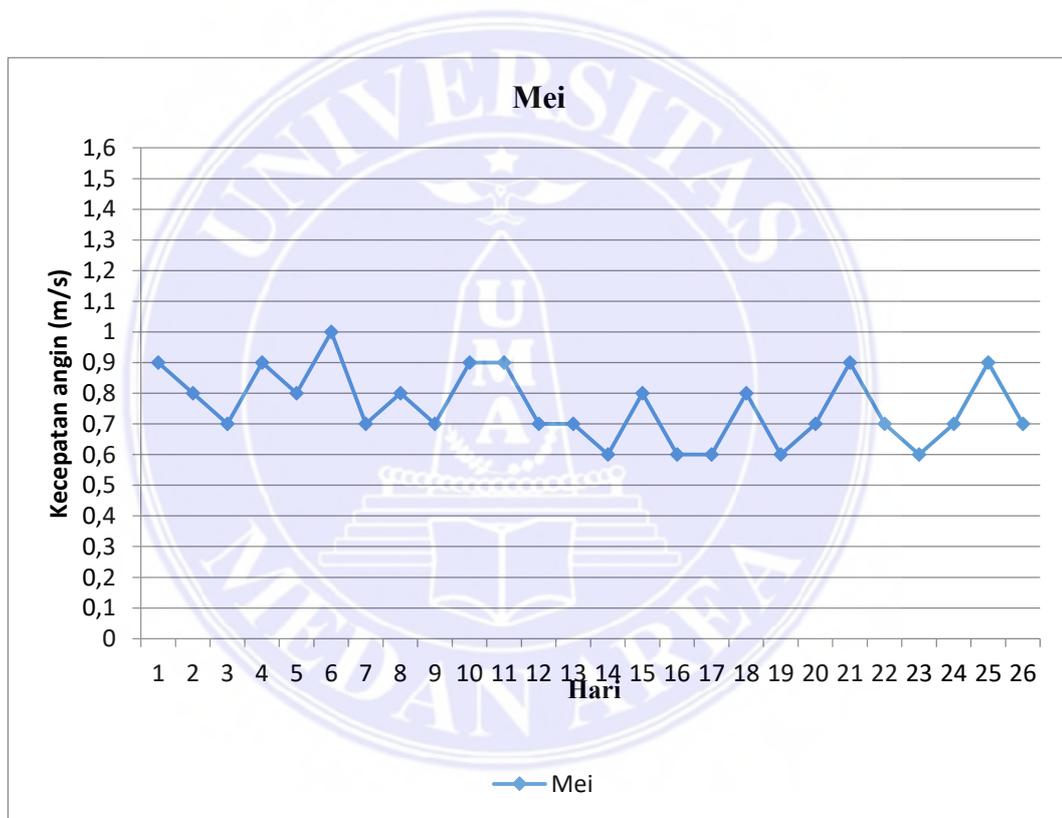
2.9.5 Kecepatan angin bulan mei

Dapat kita lihat tabel kecepatan angin dari bulan januari, februari, maret, april, dan mei di desa sigara-gara menggunakan data dari CV IRA PUBLISHING di bawah ini :

Tabel 2.7 kecepatan angin bulan mei

Hari	Kecepatan (m/s)
1	0,9
2	0,8
3	0,7
4	0,9
5	0,8
6	1
7	0,7
8	0,8
9	0,7
10	0,9
11	0,9
12	0,7
13	0,7
14	0,6
15	0,8
16	0,6
17	0,6
18	0,8
19	0,6
20	0,7
21	0,9
22	0,7
23	0,6
24	0,7
25	0,9
26	0,7
Max :	1
Min :	0,6
Ave :	0,76

Dari tabel diatas menunjukkan nilai dari kecepatan rata-rata angin harian pada bulan mei dimana pengukuran dilakukan mulai pukul 00.00 WIB sampai dengan pukul 23.59 WIB setiap hari selama 26 hari, menggunakan alat ukur anemometer. Dimana kecepatan rata-rata maksimum 1,0 m/s, dan kecepatan rata-rata minimumnya 0,6 m/s. Dari tabel diatas akan diubah menjadi grafik dibawah ini :



Gambar 2.9 grafik kecepatan angin bulan mei

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

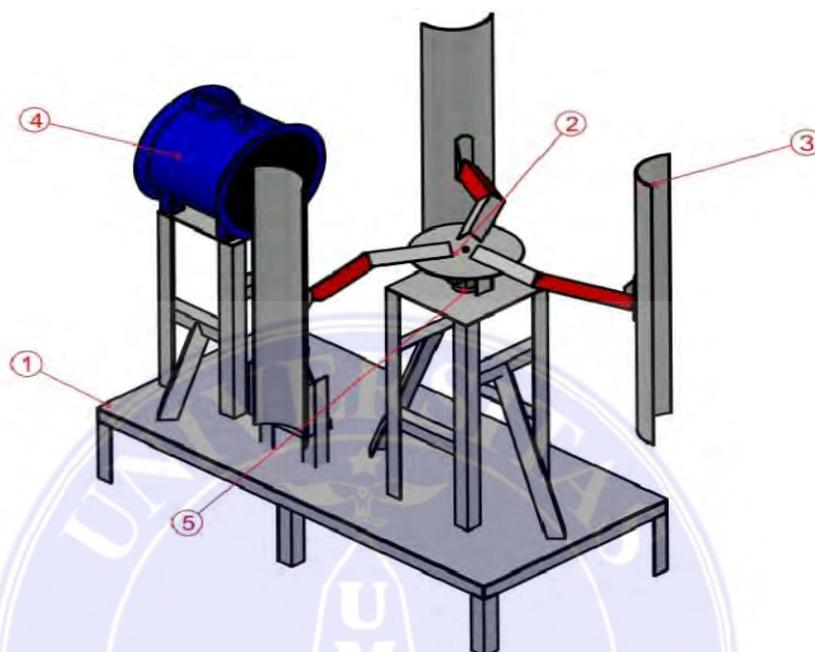
Tempat perakitan dan peneliti ini dilaksanakan di bengkel bubut sudarman medan Jl. Mangan 8 Mabar Hilir, karena didesa tersebut menguji alat turbin angin ini menggunakan alat tambahan seperti blower untuk memutar *blade*, dengan waktu penelitian 4 bulan dari terhitung dari seminar proposal seperti tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 Jabwal Tugas Akhir

Aktifitas	2025						
	Januari 2024	Maret 2024	Juli 2024	Agustus 2024	September 2024	Januari 2025	Maret 2025
Pengajuan Judul	■						
Penulisan Proposal		■					
Seminar Proposal			■				
Proses Penelitian				■			
Pengolaha n Data					■		
Penyelesai an Laporan						■	
Seminar Hasil							■
Evaluasi dan Persiapan							
Sidang							
Sidang Sarjana							■

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang di uji dalam penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.1 Turbin angin sumbu vertikal

- 1) Rangka turbin angin bahan yang digunakan besi siku 35mm x 35mm dan besi plat 3 mm.
- 2) Piringan lengan *blade* turbin bahan yang digunakan besi siku 35mm x 35 mm dan besi plat 5mm.
- 3) *Blade* menggunakan bahan pipa PVC.
- 4) Blower.
- 5) Generator.

Adapun alat-alat yang digunakan dapat dilihat dibawah ini :

a. Digital Anemometer

Anemometer adalah alat ukur kecepatan angin dan temperatur lingkungan yang menjadi alat dasar pada penelitian ini. Kata anemometer berasal dari istilah Yunani *anemos* yang berarti angin. Cara kerja anemometer adalah dengan adanya hembusan angin yang mengenai baling-baling pada perangkat tersebut, putaran dari baling-baling tersebut akan dikonversi menjadi sebuah besaran dalam bahasa matematika. Jenis anemometer yang digunakan pada penelitian ini adalah digital anemometer GM816 dengan fitur atau spesifikasi seperti berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Digital Anemometer GM816

Digital Anemometer GM816	
Jangkauan	Diantara -10°C dan 45°C (diantara 14°F dan 113°F)
Resolusi	0.2°C – 0.36°F
Ketepatan	Lebih kurang 2°C sampai 3.6°F

Adapun contoh gambar digital Anemometer dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3.2 digital anemometer

b. Mini Digital Thermometer (Alat Ukur Suhu ruang Dan Kelembapan)

Digital thermometer ini berfungsi untuk mengukur suhu ruangan dan kelembapan yang menjadi alat dasar pada penelitian. Ketika suhu berubah, sensor didalam digital thermometer mendeteksi perbedaan dalam pembacaan elektronik dari resistor (bagian dari sirkuit listrik yang membatasi aliran listrik). Perubahan

resistansi ini kemudian diubah menjadi perubahan suhu. Pembacaan suhu secara digital kemudian ditampilkan melalui angka dilayar. Terdapat fitur spesifikasi Mini Digital Thermometer terdapat dibawah ini.

Tabel 3.3 spesifikasi mini digital thermometer

Mini Digital Thermometer			
Ukuran Kelembapan (RH)	10%-99%	Resolusi 1%	Akurasi +/- 5%
Ukuran temperature (C)	-50C – 70C	Resolusi 0.1C	Akurasi +/- 1C

Adapun contoh gambar mini digital thermometer dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 3.3 mini digital thermometer

c. Tachometer

Tachometer adalah sebuah komponen alat ukur yang digunakan untuk mengukur perputaran mesin dalam satuan rpm (*rotation per minute*). Dengan adanya alat ini, saya dapat mengukur putaran blade turbin. Dapat dilihat gambar tachometer dibawah ini.



Contoh 3.4 gambar tachometer

d. Dimmer

Saklar dimmer adalah sebuah perangkat yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol kecepatan. Dalam penelitian ini, dimmer berfungsi untuk mengatur kecepatan blower pada turbin, dari yang min hingga max. Dari 1 dimmer sampai 5 dimmer, per dimmernya 1 jam, selama 1 jam per 5 menitnya mengukur temperatur udara, kecepatan angin, kelembapan udara, dan putaran blade. Dapat dilihat contoh gambar dimmer dibawah ini:



Gambar 3.5 dimmer

e. Stopwatch

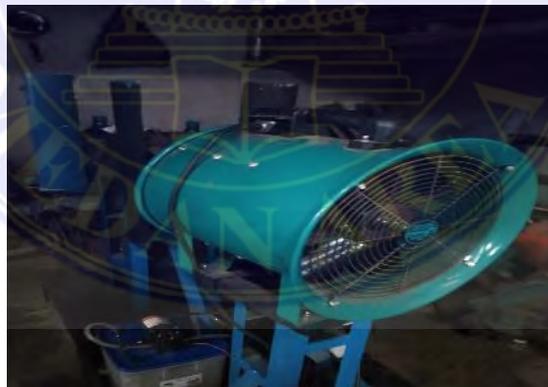
Stopwatch adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran durasi waktu yang diperlukan maupun yang sudah berlalu. Alat ini merupakan gabungan dari dua kata dalam bahasa inggris yaitu *stop* yang artinya berhenti dan *watch* yang artinya jam tangan. Dalam penelitian ini, stopwatch berguna untuk mendeteksi waktu, sebab selama 1 jam, setiap 5 menit sekali saya menghitung temperatur udara, kecepatan angin, kelembapan udara, dan putaran blade. Dapat dilihat contoh gambar stopwatch dibawah ini:



Gambar 3.6 stopwatch

f. Blower

Pada penelitian ini blower digunakan sebagai sumber energi angin untuk memutar sudu-sudu pada turbin angin. Kecepatan angin pada blower dibagi menjadi 5 dimmer dengan kecepatan yang berbeda-beda, dari dimmer 1 (min) sampai dimmer 5 (max). Adapun contoh gambar dan spesifikasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3.7 Blower

Tabel 3.4 spesifikasi blower

YamamaxPRO		12''(300mm)	
Spesifikasi	300mm	Watts	550W
Voltage	220v	Phase	1
Kecepatan	2900rpm	Frekuensi	50HZ
Laju aliran	62m ³ /min	Tekanan statis	350Pa

g. Thermo Hygrometer

Thermo hygrometer merupakan instrument yang menggabungkan alat pengukuran suhu udara serta kelembapan udara, baik pada lingkungan tertutup maupun terbuka. Alat ini memiliki 2 termometer yang disebut dry bulb dan wet bulb. Dalam penggunaannya, dry bulb dikondisikan dalam keadaan kering, sedangkan wet bulb dikondisikan dalam keadaan basah dengan merendamnya dalam air. Contoh gambar Thermo Hygrometer dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 3.8 Termo Hygrometer

3.3 Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode penelitian survey dengan jenis penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian yang menggunakan pengukuran, perhitungan, rumus dan kepastian data numerik dalam perencanaan, proses, membangun hipotesis, teknik, analisis data, dan menarik kesimpulan.

Penelitian kuantitatif merupakan suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data angka sebagai alat menganalisis data. Dapat disimpulkan penelitian kuantitatif merupakan pendekatan penelitian yang menggunakan data-data berupa angka dan ilmu pasti untuk menjawab hipotesis penelitian.

Penelitian yang dilakukan pada pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal di bengkel bubut sudarman medan Jl. Margaan 8 Mabar Hilir dan Desa Sigara-gara dengan alat bantu blower. Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi untuk mengetahui temperatur udara, kecepatan angin, kelembapan udara, dan putaran blade. Pengambilan data dapat diukur melalui alat ukur Digital Anemometer, Mini Digital Thermometer, dan Tachometer(Waruwu, 2023).

Dalam penelitian ini, peneliti melakukan penelitian tentang pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal di desa sigara-gara. Pada penelitian ini terdapat satu variabel bebas (independen) dan satu variabel terikat (dependen).



X : Kondisi lingkungan

Y : Kinerja turbin

Dapat dilihat juga tabel variabel bebas dan variabel terikat dibawah ini :

Tabel 3.5 variabel bebas dan terikat

Variabel Bebas	Variabel Terikat
Kondisi lingkungan	Kinerja turbin
Temperatur udara	Putaran blade
Kelembapan udara	Daya angin
Kecepatan angin	Daya turbin
	Efisiensi turbin

3.4 Populasi dan Sampel

Penelitian dilaksanakan di desa sigara-gara, kecamatan patumbak, kabupaten deli serdang, sumatera utara. Sehingga angin yang berhembus di daerah ini memiliki karakteristik tersendiri seperti temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembapan udara. Selain itu kondisi ini sangat baik untuk pengembangan dan pengujian turbin angin. Sampel yang diteliti adalah turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*).

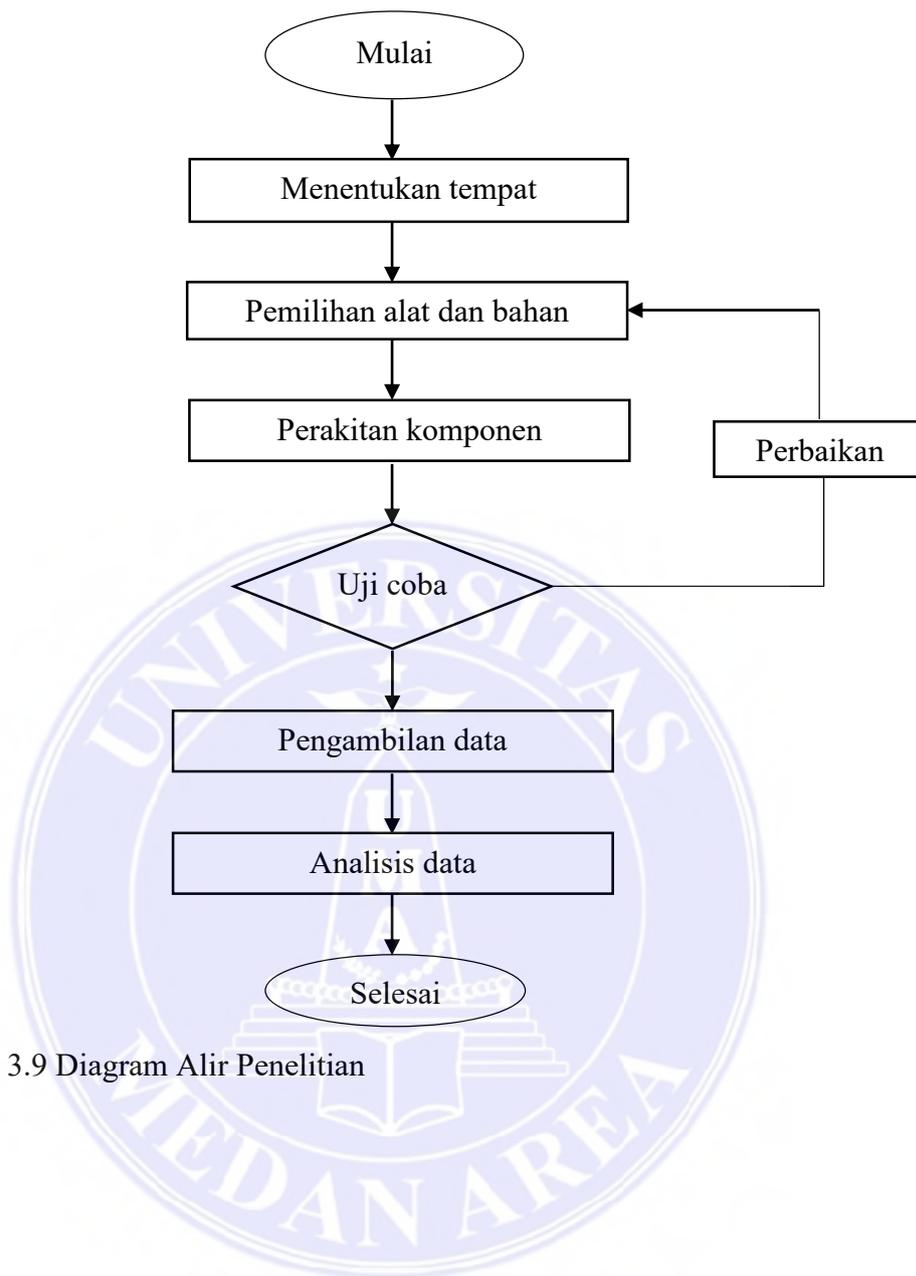
3.5 Prosedur Kerja

- a. Langkah pertama siapkan alat ukur seperti stopwatch, anemometer, digital mini thermo, dan tachometer.
- b. Kemudian siapkan alat turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*).
- c. Setelah itu hidupkan blower arahkan ke turbin angin agar beroperasi.
- d. Setelah ber operasi turbin angin nya, penulis mulai mengamati turbin tersebut.
- e. Yang penulis amati adalah hasilnya seperti temperatur udara, kecepatan angin, kelembapan udara, dan putaran blade. Dengan alat bantu seperti stopwatch untuk membantu mengamati waktu.
- f. Disini penulis mengukur mulai dimmer 1 sampai dimmer 5, di setiap dimmernya selama 1 jam, per 5 menit sekali di amati lalu dicatat hasilnya. seterusnya hingga selesai.
- g. Setelah mendapatkan semua hasil data yang di ukur atau diamati, lalu lanjut ke tahap pembuatan tabel dan grafik.

3.5.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian adalah teknis analisis untuk menerjemahkan aspek penelitian yang diangkat secara ringkas, jelas dan logis. Seperti dalam penelitian ini, yang diawali menentukan tempat untuk pengujian alat di bengkel bubut sudarman medan Jl. Mangan 8 Mabar Hilir dan desa Sigara-Gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, terdapat juga data yang di ambil dari Cv Ira Publishing dikarenakan kecepatan angin menyerupai kedua tempat yang diuji. Pemilihan bahan dan alat seperti rangka turbin angin yang berukuran besi siku 35 mm dan besi plat 3 mm, piringan lengan blade turbin berukuran besi siku 35 mm dan besi plat 5 mm, blade dari pipa PVC, blower dan generator.

Perakitan komponen di bengkel bubut sudarman yang dirakit oleh orang bengkel itu sendiri, setelah sudah dirakit dapat di uji coba alat tersebut, lalu masuk ke tahap pengambilan data seperti mengukur kecepatan angin, temperatur udara, kelembapan udara, dan putaran blade. Kemudian lanjut ke tahap analisis data, yang dapat saya analisis adalah daya angin, daya turbin, dan efisiensi turbin. Dapat dilihat bentuk diagram alir penelitian di bawah ini:



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

BAB V

5.1 Simpulan

Dari hasil dan pembahasan diatas, maka kesimpulan yang dapat penulis simpulkan sebagai berikut :

1. Perubahan kondisi lingkungan terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal ini sangat berpengaruh terhadap kelembapannya, karena untuk memutar turbin menggunakan alat blower , blower tersebut menggunakan pompa air elektrik untuk membiaskan blade agar mengetahui kelembapan udara. Semakin lama turbin dihidupkan maka semakin rendah kelembapannya, tetapi bisa saja efek dari lingkungan yang di uji yaitu didalam ruangan bengkel, atau suhu diruangan tersebut.
2. Diketahui pengujian dari dimmer 1 sampai 5, temperatur udara dengan variasi kecepatan udara nilai rata-rata, maksimum, dan minimum berbeda-beda. Temperatur udara rata-rata tertinggi tercatat pada dimmer 1 dengan nilai 34,9 °c, sedangkan yang terendah tercatat pada dimmer 3 dengan nilai 33,7°c.
3. Diketahui pengujian dari dimmer 1 sampai 5, kelembapan udara berhubungan dengan kecepatan angin yang mengarah ke blade, kelembapan tersebut menghasilkan nilai rata-rata, maksimum, dan minimum, tercatat nilai rata-rata tertinggi dari dimmer 1 hingga 5 yaitu di dimmer 1 dengan nilai 82%, sedangkan yang terendah pada dimmer 2 dengan hasil 73%.
4. Diketahui pengujian dari dimmer 1 sampai 5, kecepatan angin yang dihasilkan dari blower dapat dilihat nilai rata-rata, maksimum, dan minimum,

tercatat nilai rata-rata tertinggi dari dimmer 1 hingga 5 yaitu di dimmer 5 dengan nilai 10,2 m/s, sedangkan yang terendah pada dimmer 1 yaitu 4,2 m/s.

Perhitungan dapat dilihat dari rumus seperti daya angin $P_a = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$, daya turbin $P_T = n_G \cdot P_G$, dan efisiensi $= \frac{P_T}{P_a}$, hasil akhir yang diperoleh dari dimmer 5 daya angin adalah 106,38 watt, kemudian hasil daya turbin adalah 0,002886 watt, dan efisiensinya 0,027%. Kinerja turbin angin meningkat seiring kecepatan angin, namun hasil daya angin, daya turbin, dan efisiensi masih rendah, yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti kelembapan, desain blade, gesekan mekanis, atau kondisi pengoperasian kurang optimal..

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dari data-data di lapangan, pada dasarnya penelitian ini berjalan baik akan tetapi belum maksimalnya data-data yang lebih akurat, sehingga disarankan untuk adanya penelitian lebih lanjut. Selain itu penelitian dapat menggunakan desain turbin yang berbeda atau barang yang lebih ringan dan tahan lama untuk mengetahui kinerja turbin angin, karena barang yang saat ini digunakan tidak memuaskan hasil yang diinginkan.

Dari hasil analisa dapat disarankan bahwa walaupun turbin angin menghasilkan putaran blade yang semakin meningkat seiring dengan kecepatan angin yang dihasilkan dari blower, namun seperti daya angin, daya turbin, dan efisiensi yang dicapai masih sangat rendah sehingga kinerja turbin ini belum

maksimal. Diperlukan pengembangan atau penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan daya angin, daya turbin, dan efisiensinya.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, I., Nurdin, J., & Hasanuddin. (2016). Kajian Potensi Energi Angin Di Daerah Kawasan Pesisir Pantai Serdang Bedagai Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(1), 31–38. <https://www.neliti.com/publications/329147/kajian-potensi-energi-angin-di-daerah-kawasan-pesisir-pantai-serdang-bedagai-unt>
- Ananda, A. R. (2024). *Rancang Ulang Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine)* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/26353>
- Andiyantama, M. Q., Zahira, I., & Irawan, A. (2021). Prediksi Energi Listrik Kincir Angin Berdasarkan Data Kecepatan Angin Menggunakan LSTM. *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, 5(01), 1–7. <https://doi.org/10.25077/jitce.5.01.1-7.2021>
- Arsad, A. M., Hartono, F., Jeans, G., & Darrieus, M. (2005). Pembuatan Kode Desain Dan Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H. *Jurnal Teknologi Dirgantara Vol. 7 No. 2 Desember 2009:93-100*, 1, 93–100.
- Derakhshan, S., Moghimi, M., & Motawej, H. (2018). Development of a mathematical model to design an offshore wind and wave hybrid energy system Multi-objective optimization and exergoeconomic analyses of multi-generation systems View project Proton exchange membrane fuel cell View project Energy Equipment. *Energy Equip. Sys*, 6(2), 181–200. <http://energyequipsys.ut.ac.ir/www.energyequipsys.com>
- Deshmukh, S., & Charthal, S. (2017). Design and Development of Vertical Axis Wind Turbine. *IRA-International Journal of Technology & Engineering (ISSN 2455-4480)*, 7(2 (S)), 286. <https://doi.org/10.21013/jte.icsesd201728>
- Ginting, D. 200. (2007). Analisis desain, teknologi dan prestasi turbin angin 10 KW. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 5(1), 32–40.
- Halek, A., Hardi, W., & Hartono, R. (2022). Pengaruh Sudut Pengarah Angin pada Turbin Angin Sumbu Vertikal terhadap Unjuk Kerja Turbin. *Dinamika Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 37–42.
- Han, D., Heo, Y. G., Choi, N. J., Nam, S. H., Choi, K. H., & Kim, K. C. (2018). Design, fabrication, and performance test of a 100-W helical-blade vertical-axis wind turbine at low tip-speed ratio. *Energies*, 11(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/en11061517>
- Idris, M., Zulfikar, A. J., Darianto, Iswandi, Jufrizal, Hermanto, T., Haniza, & Harahap, U. N. (2024). Analisis Potensi Energi Angin Menggunakan Turbin Horizontal di Kawasan Wisata Mangrove Desa Tanjung Rejo, Kecamatan Percut Sei Tuan. *IRA Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (IRAJPKM)*, 2(2), 43–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.56862/irajpkm.v2i2.125>
- Ismail, & Rahman, R. A. (2019). *Energi Angin: Turbin Angin (Pertama)*. Uwais Inspirasi Indonesia.
- Multazam, T., & Mulkan, A. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(2), 616–624. <https://doi.org/10.32672/jse.v4i2.1446>
- Saputra, M. (2016). Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Mekanova*, 2(1), 74–83.

- Shah, S. R., Kumar, R., Raahemifar, K., & Fung, A. S. (2018). Design, modeling and economic performance of a vertical axis wind turbine. *Energy Reports*, 4, 619–623. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.09.007>
- Sidabutar, A. A. V. M. (2024). *Analisis Potensi Energi Angin di Desa Sigara Gara Sebagai Penggerak Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/26354>
- Sitinjak, K. A. G. T. (2024). *Pengembangan Model Matematis untuk Memprediksi Potensi Energi Angin dan Efisiensi Turbin Angin Sumbu Vertikal* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/26347>
- Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, E. B. (2001). *No Title* (Jhon Wiley (ed.); wiley).
- Turbine, W., In, U., & Power, I. (2012). © *I a E M E Design and Techno- Economic Evaluation of Small*. November 2014, 127–141.
- Waruwu, M. (2023). Pendekatan Penelitian Pendidikan: Metode Penelitian Kualitatif, Metode Penelitian Kuantitatif dan Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Method). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(1), 2896–2910.



Lampiran 1

Hari : Jumat

Tanggal : 6 September 2024

Tempat Penelitian/ pengujian : Bengkel Bubut Sudarman, Medan Jl, Mangan 8

Hilir

Dimmer 1

Waktu (s)	Temperatur Udara (°c)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembapan Udara RH (%)	Putaran Blade (rpm)
5	34,9	4,5	76	41,7
10	34,8	4,4	76	41,8
15	34,7	4,4	75	41,6
20	34,5	4,6	78	41,4
25	34,8	4,3	79	41,2
30	34,7	4,2	80	41,1
35	34,8	4,8	80	40,5
40	34,9	4,9	80	40,3
45	34,9	4,9	81	40,6
50	34,8	4,8	81	40,8
55	34,8	4,5	82	40,9
60	34,8	4,8	82	41,2
Nilai rata- rata	34,6	4,5	79,1	41,0
Nilai max	34,9	4,9	82	41,8
Nilai min	34,2	4,2	76	40,3

Lampiran 2

Hari : Jumat

Tanggal : 13 September 2024

Tempat Penelitian/ pengujian : Bengkel Bubut Sudarman, Medan Jl, Mangan 8

Hilir

Dimmer 2

Waktu (s)	Temperatur Udara (°c)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembapan Udara RH(%)	Putaran blade (rpm)
5	34,7	6,2	80	64,9
10	34,8	6,2	79	64,8
15	34,1	6,4	78	64,9
20	34,1	6,5	79	65,1
25	34,2	6,5	77	65,2
30	34,2	6,3	77	64,8
35	34,3	6,1	76	64,6
40	34,4	6,2	76	64,5
45	34,5	6,2	75	64,6
50	34,6	6,4	75	64,7
55	34,6	6,5	74	64,8
60	34,7	6,7	73	64,8
Nilai rata- rata	34,4	6,35	76,5	64,8
Nilai max	34,8	6,7	80	65,2
Nilai min	34,1	6,1	73	64,5

Lampiran 3

Hari : Sabtu

Tanggal : 20 September 2024

Tempat Penelitian/ pengujian : Bengkel Bubut Sudarman, Medan Jl, Manganan 8
Hilir

Dimmer 3

Waktu (s)	Temperatur Udara (°c)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembapan Udara (RH %)	Putaran blade (rpm)
5	34,3	7,9	76	81,7
10	34,4	7,8	76	81,6
15	34,3	8,1	75	81,3
20	34,2	8,1	76	81,5
25	34,2	8,2	75	81,5
30	34,1	7,9	75	81,1
35	34,1	7,8	76	81,2
40	34,9	7,6	77	81,3
45	34,8	7,5	75	80,9
50	34,7	7,6	75	80,8
55	34,9	7,7	74	80,7
60	34,1	7,8	74	80,9
Nilai rata- rata	34,0	7,8	75,3	81,2
Nilai max	34,4	8,2	77	81,7
Nilai min	33,7	7,5	74	80,7

Lampiran 4

Hari : Jumat

Tanggal : 27 September 2024

Tempat Penelitian/ pengujian : Bengkel Bubut Sudarman, Medan Jl, Mangan 8
Hilir**Dimmer 4**

Waktu (s)	Temperatur udara (°c)	Kecepatan angin (m/s)	Kelembapan udara RH(%)	Putaran blade (rpm)
5	34.0	8.5	76	94,8
10	33.9	8.6	76	94,5
15	33.8	8.6	76	94,5
20	33.8	8.7	75	94,7
25	33.7	8.9	75	95,1
30	33.8	8.9	75	95,2
35	33.9	8.8	75	95,1
40	34.0	8.7	76	95,1
45	34.1	8.6	76	94,9
50	34.2	8.4	76	94,8
55	34.2	8.4	77	94,7
60	34.2	8.5	78	94,9
Nilai rata-rata				
	33,9	8,6	75,9	94,8
Max	34,2	8,9	78	95,2
min	33,7	8,4	75	94,5

Lampiran 5

Hari : Jumat

Tanggal : 4 Oktober 2024

Tempat Penelitian/ pengujian : Bengkel Bubut Sudarman, Medan Jl, Manganan 8
Hilir**Dimmer 5**

Waktu (s)	Temperatur udara (°c)	Kecepatan angin (m/s)	Kelembapan udara RH(%)	Putaran blade (rpm)
5	34,2	9,8	76	120,1
10	34,3	10,2	76	118,9
15	34,5	10,1	77	115,2
20	34,4	10,0	75	115,8
25	34,2	9,9	76	117,5
30	34,1	9,8	76	117,8
35	34,0	9,9	76	119,8
40	33,9	10,0	76	119,9
45	33,6	9,7	77	120,3
50	33,8	9,9	78	120,4
55	34,2	10,0	78	120,3
60	34,3	10,1	77	119,5
Nilai rata-rata				
	34,1	9,95	76,5	118,7
Max	34,5	10,2	75	120,4
min	33,6	9,7	78	115,2

Lampiran 6

Dokumentasi Penelitian

1. Turbin angin sumbu vertikal



2. Melakukan pengukuran kecepatan angin menggunakan alat yang bernama anemometer



3. Melakukan pengukuran temperatur dan kelembapan udara menggunakan alat yang bernama mini digital thermo



4. Melakukan pengukuran putaran blade menggunakan alat ukur yang bernama tachometer

