

PENGUJIAN KEMAMPUAN PROTOTIPE TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL

PRORPOSAL SKRIPSI

OLEH:

**WILLY JENSEN
198130112**



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

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 7/8/25

Access From (repository.uma.ac.id)7/8/25

HALAMAN JUDUL

PENGUJIAN KEMAMPUAN PROTOTIPE TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL

PROPOSAL SKRIPSI

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

Oleh :

WILLY JENSEN
198130112

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024

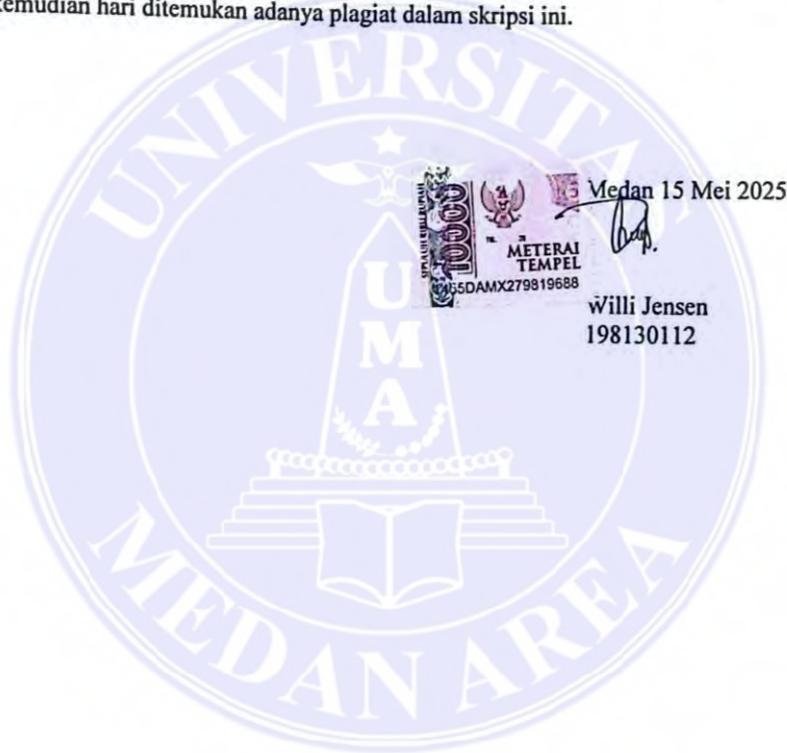
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PERNYATAAN

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

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



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

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

Nama : Willi Jensen
NIM : 198130112
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/skripsi/tesis

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 : Pengujian kemampuan prototipe turbin angin sumbu vertikal.

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan,
Pada Tanggal : 15 Mei 2025
yang menyatakan

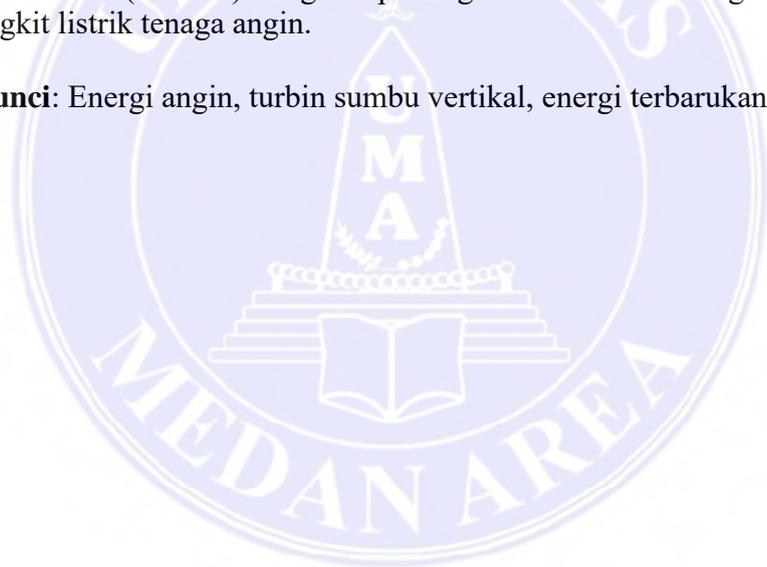


Willi Jensen
198130112

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi dan terbatasnya bahan bakar fosil mendorong pemanfaatan energi terbarukan, salah satunya energi angin. Indonesia, dengan potensi wilayah pesisir yang luas, memiliki peluang besar untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga angin. Penelitian ini dilaksanakan di Desa Sigara-gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, yang memiliki kecepatan angin rendah. Penelitian ini menguji prototipe VAWT secara eksperimental dalam kondisi angin rendah. Alat-alat seperti anemometer dan thakometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan putaran turbin. Bahan-bahan seperti generator dan blower juga digunakan dalam pengujian prototipe. Berdasarkan hasil penelitian, pada Dimmer 5 dengan kecepatan angin maksimal yaitu 9,7 m/s akan menghasilkan putaran sudu turbin sebesar 102,8 rpm dan pada Dimmer 1 dengan kecepatan angin minimal yaitu 4,4 m/s akan menghasilkan putaran sudu turbin sebesar 38,9 rpm. Diperoleh nilai rata-rata efisiensi turbin angin tertinggi yaitu pada Dimmer 5 sebesar 0,033% dan terendah yaitu pada Dimmer 1 sebesar 0,012%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin, maka semakin tinggi efisiensi turbin angin yang diperoleh. Sehingga, Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) sangat tepat digunakan di Desa Sigara-gara sebagai pembangkit listrik tenaga angin.

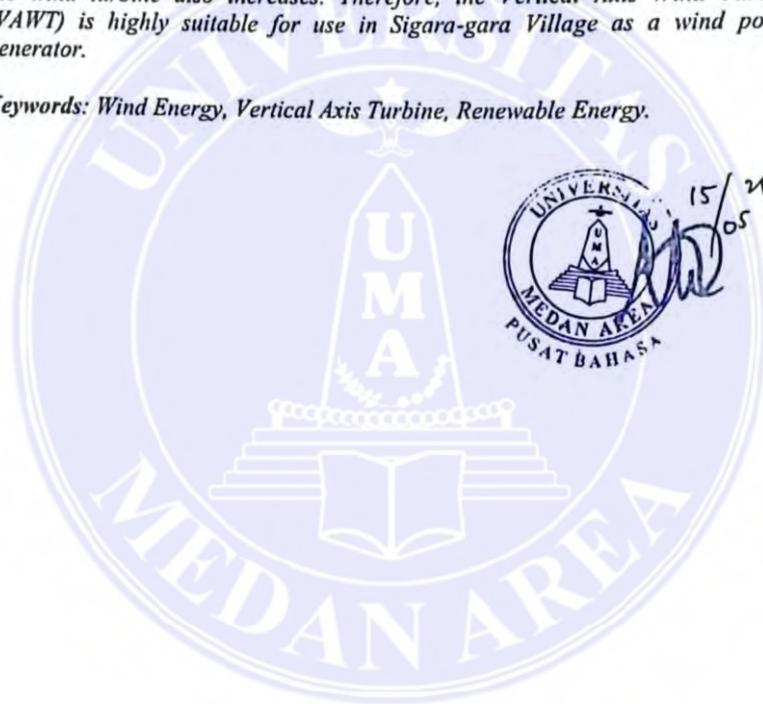
Kata kunci: Energi angin, turbin sumbu vertikal, energi terbarukan.



ABSTRACT

The increasing demand for energy and the limited supply of fossil fuels have driven the utilization of renewable energy, including wind energy. Indonesia, with its vast coastal potential, has a great opportunity to develop wind power plants. This research was conducted in Sigara-gara Village, Patumbak District, Deli Serdang Regency, North Sumatra, which experiences low wind speeds. This research experimentally tested a VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) prototype under low wind conditions. Instruments such as an anemometer and tachometer were used to measure wind speed and turbine rotation. Materials such as generators and blowers were also used in the testing of the prototype. Based on the research results, at Dimmer 5 with a maximum wind speed of 9.7 m/s, the turbine blade rotation is 102.8 rpm, while at Dimmer 1 with a minimum wind speed of 4.4 m/s, the turbine blade rotation is 38.9 rpm. The highest average wind turbine efficiency was 0.033% at Dimmer 5, and the lowest was 0.012% at Dimmer 1. It can be concluded that as the wind speed increases, the efficiency of the wind turbine also increases. Therefore, the Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) is highly suitable for use in Sigara-gara Village as a wind power generator.

Keywords: *Wind Energy, Vertical Axis Turbine, Renewable Energy.*



RIWAYAT HIDUP

Penulis ini dilahirkan di Torganda, 24 Mei 2000 dari bapak Lantas Lumban Toruan dan ibu Lammiduk Boru Nababan. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara. Tahun 2019 penulis lulus dari SMK Nusantara Balam km 21 dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai mahasiswa fakultas teknik Universitas Medan Area. Selama perkuliahan penulis melaksanakan Kerja Praktek (Kp) di pabrik minyak kelapa sawit PT. Paluta Inti Sawit Pks Siancimun



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunianya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang di pilih dalam peneleitian ini ialah Pengujian Kemampuan Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal.

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

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi/tesis ini masih memiliki kekuarangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaa tugas akhir/skripsi/tesis ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

Penulis,



Willi Jensen
198130112

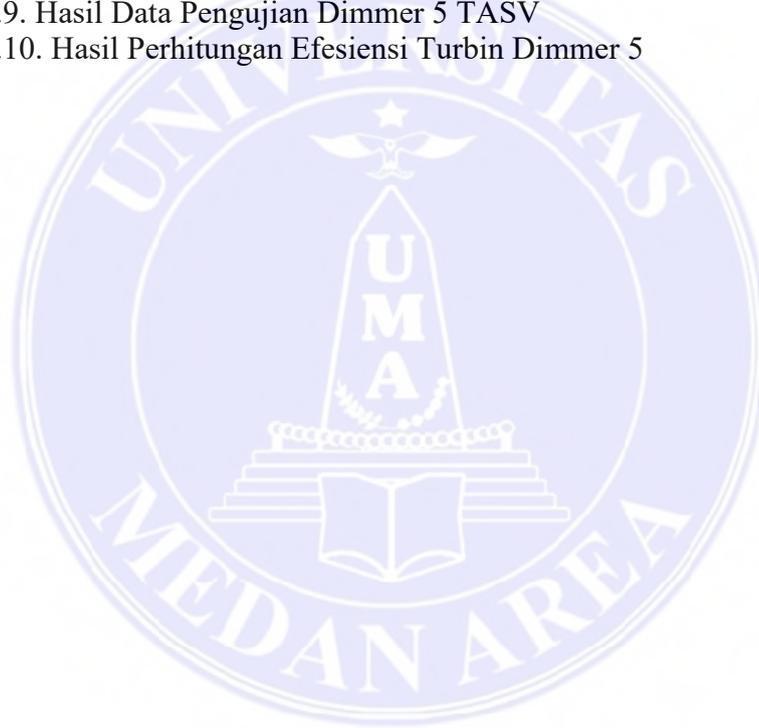
CS Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengujian Prototipe.....	5
2.2 Pengertian Energi.....	9
2.3 Energi Angin.....	10
2.4 Angin.....	12
2.5 Turbin Angin.....	13
2.6 Rumus dasar perhitungan turbin.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Waktu dan Tempat dan Penelitian.....	31
3.2 Alat dan Bahan.....	32
3.3 Metode Penelitian.....	34
3.4 Populasi dan Sample.....	36
3.5 Prosedur Kerja.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Hasil Pengukuran dan Efisiensi Turbin Dimmer 1.....	40
4.2 Hasil Pengukuran dan Efisiensi Turbin Dimmer 2.....	46
4.3 Hasil Pengukuran dan Efisiensi Turbin Dimmer 3.....	53
4.4 Hasil Pengukuran dan Efisiensi Turbin Dimmer 4.....	60
4.5 Hasil Pengukuran dan Efisiensi Turbin Dimmer 5.....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran.....	74
LAMPIRAN.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kelebihan dan Kekurangan TASH	16
Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan TASV	18
Tabel 2.3. Perbandingan Antara TASV dan TASH	27
Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir	31
Tabel 4.1. Hasil Data Pengujian Dimmer 1 TASV	40
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin Dimmer 1	46
Tabel 4.3. Hasil Data Pengujian Dimmer 2 TASV	47
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin Dimmer 2	53
Tabel 4.5. Hasil Data Pengujian Dimmer 3 TASV	54
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin Dimmer 3	59
Tabel 4.7. Hasil Data Pengujian Dimmer 4 TASV	60
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin Dimmer 4	65
Tabel 4.9. Hasil Data Pengujian Dimmer 5 TASV	66
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin Dimmer 5	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Jenis Turbin Angin Beserta Kontruksi TASV dan TASH	14
Gambar 2.2.	Beberapa TASH Menggunakan Turbin 5 MW	15
Gambar 2.3.	Turbin Bernama QR5 Gorlov jenis TASV	18
Gambar 2.4.	Darrieus Vertical Axis Wind Turbine	20
Gambar 2.5.	Prinsip Kerja TASV Savonius	20
Gambar 2.6.	Perubahan bentuk rotor	21
Gambar 2.7.	Skema Aliran Angin Turbin Angin Savonius	21
Gambar 2.8.	Penampang generator sinkron magnet permanen dengan 2 kutub	22
Gambar 2.9.	Darrieus H-Rotor	26
Gambar 2.10.	Grafik hubungan antara Koefisien daya dan Tip speed ratio	30
Gambar 3.1.	Anemometer	32
Gambar 3.2.	Thakometer	32
Gambar 3.3.	Generator	33
Gambar 3.4.	Blower	33
Gambar 3.5.	Sketsa Turbin Angin Sumbu Vertikal	35
Gambar 3.6.	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1.	Grafik kecepatan Angin Selama 60 Menit Dimmer 1	41
Gambar 4.2.	Grafik Putaran Sudu Turbin Selama 60 Menit Dimmer 1	42
Gambar 4.3.	Grafik Kecepatan Angin Selama 60 menit Dimmer 2	48
Gambar 4.4.	Grafik Putaran Sudu Turbin Selama 60 Menit Dimmer 2	49
Gambar 4.5.	Grafik Kecepatan Angin Selama 60 Menit Dimmer 3	55
Gambar 4.6.	Grafik Putaran Sudu Turbin Selama 60 Menit Dimmer 3	55
Gambar 4.7.	Grafik Kecepatan Angin Selama 60 Menit Dimmer 4	61
Gambar 4.8.	Grafik Putaran Sudu Turbin Selama 60 Menit Dimmer 4	61
Gambar 4.9.	Grafik Kecepatan Angin Selama 60 Menit Dimmer 5	67
Gambar 4.10.	Grafik Putaran Sudu Turbin Selama 60 Menit Dimmer 5	67

DAFTAR NOTASI

P_w	= Daya angin (watt)
ρ	= Densitas udara ($\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$)
A	= Luas penampang turbin (m^2)
v	= Kecepatan udara (m/s)
E_k	= Energi kinetik (joule)
m	= Massa (kg)
tsr	= Tip speed ratio
T	= Torka
N_S	= Kecepatan sinkron generator (rpm)
f	= Frekuensi (Hz)
p	= Jumlah kutub
e	= Tegangan induksi pada jangkar (volt)
V	= Tegangan terminal output (volt)
R_a	= Resistansi jangkar (Ω)
X_S	= Tegangan sinkron (Ω)
η	= Efisiensi prototipe (%)
P_L	= Daya beban (W)
P_T	= Daya mekanik turbin (W)
P_S	= Daya maksimal yang dihasilkan dari rotor (Watt)
A	= Luas penampang sudu turbin (m^2)
ρ	= Massa jenis udara (kg/m^3)
V	= Kecepatan angin (m/s)
C_p	= 0.593 (betz coefficient)
T	= Torsi (N. m)
F	= Gaya pembebanan (N)
l	= Panjang lengan torsi (m)
Tsr	= Tip speed ratio
V	= Kecepatan putar rotor (m/s)
Ω	= Kecepatan putar sudut (rad/s)
F	= Frekuensi putaran turbin (Hz), (s-1)
$F=1$	= (rotasi/second)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat dan juga jumlah penduduk yang semakin meningkat, maka energi yang dibutuhkan juga semakin hari semakin besar. Masa ini dan kedepan kita harus memanfaatkan sumber-sumber energi yang terbarukan. Energi yang kita gunakan saat ini masih didominasi bahan bakar fosil yang secara berangsur-angsur akan habis. Salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat kita manfaatkan adalah energi angin. Turbin angin dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik, sehingga dapat mengatasi salah satu masalah energi bagi masyarakat yang membutuhkan. (Siregar 2019)

Salah satu sumber energi terbarukan adalah energi angin. Energi angin merupakan salah satu energi yang ramah lingkungan, sumber energi yang berlimpah dan dapat diperbaharui sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan. Potensi angin di Indonesia pada umumnya memiliki kecepatan angin yang rendah berkisar antara 3 m/s – 7 m/s, sehingga jenis turbin angin vertikal dirasa sangat cocok untuk digunakan pada kondisi kecepatan angin rendah. Pada umumnya bentuk turbin angin yang banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal, walau demikian turbin angin sumbu vertikal menjadi alternatif untuk menghasilkan energi listrik disebabkan oleh beberapa keuntungan. Turbin angin vertikal memiliki *Self Starting* yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun kecepatan angin rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relatif tinggi (Sargolzaei, 2007)

Letak geografis Desa Sigara-gara berada pada ketinggian ± 57 meter diatas permukaan laut. Desa Sigara Gara memiliki kecepatan angin maksimum setiap hari berkisar antara 2,7 m/s sampai 4,1 m/s dan letak antronomis Desa Sigara-gara terletak pada $3^{\circ}31'07.5''N$ dan $98^{\circ}44'14.5''E$. Desa Sigara-gara merupakan salah satu desa yang berada dikawasan yang memiliki kecepatan angin yang rendah.

Kawasan ini adalah kawasan yang memiliki banyak penduduk, namun daerah ini tidak memiliki intensitas angin yang besar karena berada diwilayah yang bukan merupakan wilayah Pegunungan dan juga bukan daerah pesisir. Maka dari itu, perlu dikembangkan pemanfaatan sumber daya angin dengan penggunaan turbin. Dimana jenis turbin yang cocok untuk wilayah ini adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal yang cara kerjanya tidak terlalu dipengaruhi oleh intensitas angin. Untuk pemanfataan Turbin Angin Sumbu Vertikal ini tentu akan sangat diperlukan pengujian prototipenya.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang masalah Maka rumusan masalah ini yaitu:

- a. Apakah kondisi lingkungan mempengaruhi kinerja turbin angin sumbu vertikal (*VAWT*) di Desa Sigara-gara?
- b. Bagaimana turbin angin sumbu vertikal bekerja dengan kecepatan angin di Desa Sigara-Gara?
- c. Seberapa besar efisiensi yang dihasilkan oleh protipe turbin angin sumbu vertikal?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui faktor kecepatan angin terhadap putaran sudu turbin
- b. Untuk mengetahui faktor kecepatan angin terhadap efisiensi turbin angin
- c. Untuk mengetahui faktor kecepatan angin terhadap daya turbin angin

1.4 Hipotesis Penelitian

Pengujian kemampuan prototipe turbin angin sumbu vertikal dalam menghitung efisiensi operasional turbin angin sumbu vertikal dengan tiga buah *blade*, diharapkan dapat mengetahui kualitas prototipe turbin angin di Desa Sigaragara.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat teoritis penelitian ini adalah :

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

Manfaat praktis dari penelitian ini diharapkan dapat di tujukan kepada penelitian- penelitian lain dan untuk masyarakat.

1. Untuk Peneliti

Hasil dari penelitian memberikan penambahan pengetahuan tentang energi dari sumber energi terbarukan dan pengetahuan tentang energi angin dengan

mengaplikasikannya menjadi sumber energi melalui turbin angin sumbu vertikal

2. Untuk Masyarakat

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengujian Prototipe

Teknik Pengujian adalah metode yang diterapkan untuk mengevaluasi suatu sistem atau komponen dengan tujuan untuk menemukan apakah memenuhi persyaratan yang diberikan. Pengujian suatu sistem membantu mengidentifikasi kesenjangan, kesalahan, atau segala jenis persyaratan yang hilang yang berbeda dari persyaratan sebenarnya.

Pengujian turbin angin adalah proses yang kompleks dan dapat melibatkan sejumlah masalah dan tantangan. Beberapa masalah yang mungkin timbul selama pengujian turbin angin meliputi:

- a. **Kondisi Angin Variabel:** Kondisi angin yang tidak stabil atau variabel dapat membuat pengujian tidak konsisten. Hal ini dapat mempengaruhi akurasi data yang diperoleh selama pengujian.
- b. **Pengujian Kinerja Berulang:** Pengujian kinerja berulang mungkin diperlukan untuk mengumpulkan data yang cukup untuk memvalidasi hasil. Ini dapat memakan waktu dan biaya tambahan.
- c. **Kegagalan Komponen:** Selama pengujian, komponen turbin angin bisa mengalami kegagalan, yang dapat mengganggu proses pengujian dan memerlukan perbaikan atau penggantian.

- d. Data yang Rumit: Pengumpulan dan analisis data yang akurat dari pengujian turbin angin bisa rumit dan memerlukan pemahaman statistik dan teknis yang baik.

Untuk mengatasi masalah-masalah ini, insinyur dan peneliti harus mempersiapkan perencanaan pengujian yang cermat, mematuhi protokol keselamatan yang ketat, dan sering kali menggunakan teknik pengujian simulasi komputer untuk mengurangi risiko dan biaya yang terkait dengan pengujian lapangan. Selain itu, kerja sama dengan pihak berwenang dan pemilik lahan sangat penting untuk mendapatkan izin dan mengatasi masalah perizinan yang mungkin timbul. Berikut adalah beberapa cara umum untuk menguji turbin angin :

1. Pengujian di Lapangan (*Field Testing*):

- Pengujian Operasional: Turbin angin dipasang di situs pengujian lapangan yang memiliki kondisi angin yang cukup kuat. Mereka kemudian dijalankan dalam kondisi operasional untuk mengumpulkan data kinerja sebenarnya.
- Pengujian dalam Berbagai Kondisi Angin: Turbin angin diuji dalam berbagai kecepatan angin dan arah angin untuk memahami bagaimana mereka berperilaku dalam kondisi yang berbeda.
- Pengujian Beban: Turbin angin dapat diuji dengan memberikan beban pada generatornya untuk mengukur kinerja mereka di bawah tekanan maksimum.

2. Simulasi komputer

- Pengujian komputer dan simulasi perangkat lunak digunakan untuk memodelkan kinerja turbin angin dalam berbagai kondisi angin.
- Simulasi komputer memungkinkan insinyur untuk memprediksi kinerja

turbin angin dan mengidentifikasi masalah potensial sebelum membangun prototipe fisik.

5. Pengujian Beban (*Load Testing*) :

- Pengujian beban adalah proses menguji turbin angin dengan memberikan beban berlebihan pada berbagai komponennya untuk memastikan kekuatan dan ketahanannya.
- Ini membantu mengidentifikasi potensi kegagalan atau masalah dalam sistem.

6. Pengujian Daya Tahan dan Pemeliharaan (*Durability and Maintenance Testing*) :

- Pengujian daya tahan dan pemeliharaan melibatkan pengujian turbin angin dalam jangka waktu yang lebih lama untuk memahami bagaimana mereka bertahan dalam pengoperasian dan memeriksa frekuensi pemeliharaan yang diperlukan.

Selama pengujian, data seperti efisiensi, keandalan, dan performa keseluruhan turbin angin akan terus dipantau dan dicatat. Hasil pengujian ini membantu produsen dan operator turbin angin untuk mengoptimalkan desain, kinerja, dan pemeliharaan mereka. Keselamatan selalu menjadi prioritas selama pengujian untuk mencegah kecelakaan yang dapat terjadi akibat kegagalan komponen.

Prototype atau prototipe adalah sebuah metode dalam pengembangan produk dengan cara membuat rancangan, sampel, atau model dengan tujuan pengujian konsep atau proses kerja dari produk. *Prototype* sendiri bukanlah produk

final yang nantinya akan diedarkan.

Tujuan utama dari pembuatan prototipe adalah untuk menguji ide, desain, atau konsep secara praktis sebelum menghabiskan waktu dan sumber daya yang besar untuk produksi atau implementasi penuh. Ini adalah langkah penting dalam pengembangan produk atau proyek karena membantu dalam pemahaman lebih baik tentang bagaimana suatu produk atau sistem akan berfungsi dan bagaimana pengguna akan berinteraksi dengannya. Sistem prototype sendiri mempunyai beberapa contoh yang harus diketahui detailnya.

Berikut ini adalah beberapa contoh prototype adalah:

1. *Low-Fidelity*

Contoh sederhana yang pertama yaitu prototype yang dirancang di atas kertas. Ini merupakan jenis prototype yang sangat umum dan paling dasar, karena cara yang satu ini dianggap lebih cepat dan juga murah, digunakan satu kali pakai, mudah untuk diubah dan menguji literasi baru. Selain itu, jenis prototype ini juga dapat memungkinkan tampilan dari keseluruhan produk secara cepat.

2. *High-Fidelity*

Jenis prototype yang kedua ini lebih dekat dengan prototype dalam bentuk ataupun format digital yang dibuat menggunakan perangkat lunak desain khusus. Kelebihan dari jenis *high-fidelity* ini yaitu kemampuannya dalam melibatkan semua pemangku kepentingan demi mempunyai visi yang diwujudkan di tangan mereka dan bisa menilai seberapa cocok visi tersebut dengan kebutuhan pengguna dan memecahkan masalah mereka.

3. *Paper Prototype*

Sesuai dengan namanya, *prototype* yang satu ini menggunakan kertas sebagai media untuk menyampaikan rancangan dari produk yang nantinya akan dirilis. *Paper prototype* ini sangat sederhana, namun bisa memberikan beberapa pilihan terkait dengan kekurangan dari sisi tampilan atau fungsionalitas produk.

2.2 Pengertian energi

Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Energi merupakan suatu besaran yang dapat membuat suatu benda melakukan usaha (Schaffarczyk, 2024). Energi bersifat kekal yang artinya tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, tetapi dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk yang lain (Irabu & Roy, 2007). Dalam kehidupan sehari-hari energi merupakan kemampuan suatu benda untuk bergerak, maka benda tersebut dikatakan mempunyai energi (Schaffarczyk, 2024). Sumber energi didunia sangat banyak dan tersebar dimana-mana, tetapi manusia hanya memanfaatkan sebagian sumber yaitu energi yang bersumber dari minyak bumi, bahan fosil dan gas alam, sedangkan masih banyak sumber energi lain yang bisa dimanfaatkan seperti sampah dedaunan, kayu, air, matahari, angin, tanaman-tanaman dan gelombang pasang yang masih sedikit sekali dimanfaatkan oleh manusia (Ajao, 2009). Menurut sumber yang didapat, energi terbagi menjadi 2, antara lain:

1. Sumber Energi Tak Terbaharui Sumber energi tak terbaharui adalah sumber energi dari alam yang apabila digunakan secara terus-menerus dapat habis. Sumber energi ini yaitu bahan fosil, minyak bumi dan gas alam (Schaffarczyk, 2024).

2. Sumber Energi Terbaharui Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat dengan cepat diisi kembali oleh alam. Sumber energi ini berasal dari alam yang tersedia sangat melimpah yaitu air, angin, biomass, biogas dan energi matahari (Schaffarczyk, 2024).

2.3 Energi Angin

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

Angin sebagai sumber alami dapat digunakan sebagai salah satu sumber energi listrik. Angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya bahwa penggunaan sistem konversi energi angin memiliki efek positif ke lingkungan. Angin juga didefinisikan sebagai bentuk energi yang tersedia di alam yang diperoleh dengan mengubah energi kinetik, energi dari angin diubah menjadi energi kinetik atau listrik.

Energi angin dapat memberikan kontribusi penting yaitu mengurangi emisi karbon dioksida dalam produksi listrik dengan kincir angin (Mulkan, 2022).

Angin adalah udara yang bergerak karena perbedaan tekanan. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Energi angin dapat digunakan untuk menggerakkan turbin di pembangkit listrik tenaga angin. Memanfaatkan energi

angin dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi dampak terhadap lingkungan (Indriani, Manurung, & Hendra, 2019).

Daya dihasilkan pada poros turbin adalah konversi energi kinetik aliran angin. Aliran angin bergerak dengan kecepatan tertentu diserap ke dalam susunan sudu-sudu turbin angin. Secara matematis, udara memiliki massa (m) dan bergerak dengan kecepatan v , memiliki energi kinetik sama dengan:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan demikian dapat dihitung daya aliran angin dalam satuan watt dengan menggunakan persamaan (2.2) :

$$P_w = \frac{1}{2}(\rho Av)(v^2) = \frac{1}{2}\rho Av^3 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- P_w : Daya angin (watt)
- ρ : Densitas udara ($\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$)
- A : Luas penampang turbin (m^2)
- v : Kecepatan udara (m/s)
- E_k : Energi kinetik (joule)
- m : Massa (kg)

Besar daya yang diperoleh dari persamaan (2.2) merupakan daya murni maksimum yang dihasilkan oleh aliran angin.

2.4 Angin

Angin merupakan aliran udara dalam jumlah besar diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena ada perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat udara bertekanan tinggi ke bertekanan rendah. Jika dipanaskan, udara akan memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin di sekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi (Wikipedia, 2016)

Angin dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan tempat dan musim terjadinya yaitu angin laut, angin darat, angin lembah, angin gunung, angin fohn, angin muson, angin musim barat dan angin musim timur (Wikipedia, 2016).

Angin laut merupakan angin yang bertiup dari arah laut ke darat yang biasanya terjadi dari pukul 09.00 WIB sampai dengan pukul 16.00 WIB di daerah pesisir pantai. Angin laut ini terjadi pada siang hari karena air mempunyai kapasitas panas yang lebih besar daripada daratan, sinar matahari memanasi laut lebih lambat daripada daratan. Ketika suhu permukaan daratan meningkat pada siang hari, udara di atas permukaan darat meningkat pula akibat konduksi. Tekanan udara di atas daratan menjadi lebih rendah karena panas, sedangkan tekanan udara di lautan cenderung masih lebih tinggi karena lebih dingin. Akibatnya terjadi gradien tekanan dari lautan yang lebih tinggi ke daratan yang lebih rendah, sehingga menyebabkan terjadinya angin laut, dimana kekuatannya sebanding dengan perbedaan suhu antara

daratan dan lautan. Jenis angin ini biasa dimanfaatkan para nelayan untuk membantu kepulangannya dari laut (Wikipedia, 2016).

Angin darat adalah angin yang bertiup dari arah darat ke arah laut yang umumnya terjadi pada saat malam hari dari jam 20.00 WIB sampai dengan 06.00 WIB di daerah pesisir pantai. Angin jenis ini bermanfaat bagi para nelayan untuk berangkat mencari ikan dengan perahu bertenaga angin sederhana. Pada malam hari daratan menjadi dingin lebih cepat daripada lautan, karena kapasitas panas tanah lebih rendah daripada air. Akibatnya perbedaan suhu yang menyebabkan terjadinya angin laut berangsur-angsur hilang dan sebaliknya muncul perbedaan tekanan yang berlawanan karena tekanan udara di atas lautan yang lebih panas itu menjadi lebih rendah daripada daratan, sehingga terjadilah angin darat (Wikipedia, 2016).

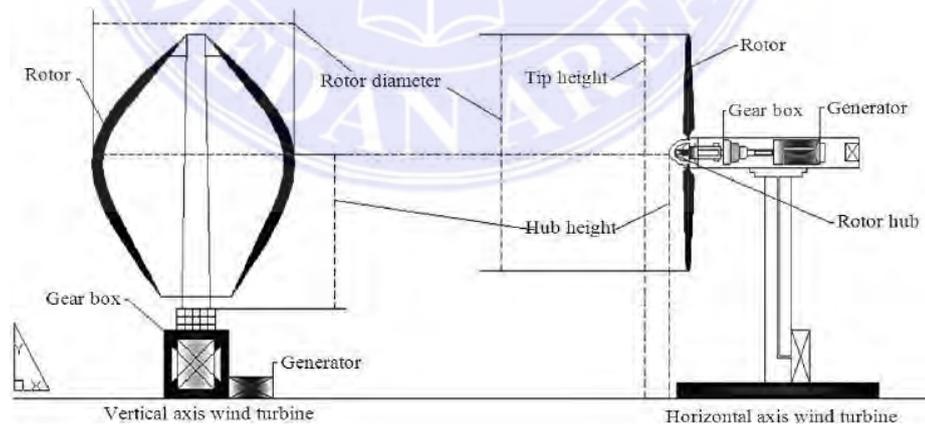
2.5 Turbin Angin

Berdasarkan orientasi putaran rotornya, *wind turbine* dibagi dua jenis yaitu sumbu horizontal dan vertikal. Rotor sumbu horizontal putarannya sejajar dengan arah datangnya angin, sedangkan sumbu vertikal berlawanan dengan arah datangnya angin. Rotor sumbu horizontal berbasis gaya angkat, sudu yang ramping, dan kecepatan putar yang tinggi. Rotor sumbu vertikal berbasis gaya hambat, sudu yang lebar dan kecepatan putar yang rendah

Turbin angin adalah kincir angin atau alat mekanik yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi dan biji-bijian, keperluan irigasi, dan lainnya. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan negara lain yang lebih dikenal dengan sebutan negara windmill (Dinzi, 2017). Beberapa penelitian yang telah melakukan penelitian

terkait tentang turbin angin, antara lain: Bambang Setioko (2007). kenaikan harga BBM mendorong masyarakat untuk mencari alternatif baru yang murah dan mudah didapat untuk mendapatkan energi mekanik menjadi tenaga listrik. Energi angin merupakan energi yang murah dan mudah didapat, sehingga hal ini dimanfaatkan untuk memutar turbin angin yang digunakan sebagai tenaga penggerak generator listrik. Kini turbin angin mulai banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dengan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbarui yaitu angin.

Pada dasarnya, jenis-jenis turbin angin dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu Turbin Angin Sumbu horizontal (TASH) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). dan Terdapat banyak perbedaan antara dua jenis turbin ini, salah satunya adalah pada jenis konstruksi dan mekanisme turbin Perbedaan jenis turbin angin tersebut dapat dilihat seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.1. Jenis Turbin Angin Beserta Kontruksi TASV dan TASH

2.5.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

TASH memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Kincir berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (balingbaling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin 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. Contoh penggunaan turbin angin jenis TASH di dunia yaitu di lepas pantai Belgia seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2. (Wikipedia, 2016). Sedangkan kelebihan dan kekurangan TASH seperti pada Tabel 2.2. (Apit, 2015) dan (Get STT-PLN, 2013).



Gambar 2.2. Beberapa TASH dipasang di laut utara Belgia menggunakan turbin 5 MW

Tabel 2.1. Kelebihan dan Kekurangan TASH

No	Kelebihan TASH	Kekurangan TASH
1.	Akses angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin.	Sulit diangkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, sulit dipasang.
2.	Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.	Konstruksi Menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilahbilah yang berat, gearbox, dan generator.
3.		Ukurannya yang tinggi merintang jangkauan pandangan
4.		Kerusakan struktur akibat turbulensi.

Menurut Melisa (2016) berdasarkan laporan yang diterima di salah satu surat kabar LA Times, menyatakan bahwa peneliti sedang membangun turbin angin jenis TASH terbesar di dunia yang diperkirakan mencapai ketinggian 479 m dan berdiameter 400 m di Amerika Serikat.

Penggunaan turbin angin sebagai penggerak memiliki kendala yaitu kecepatan angin dan arah angin yang berubah-ubah sepanjang waktu. Oleh karena itu, turbin angin yang baik adalah turbin yang dapat menerima angin dari segala arah. Selain itu juga harus mampu bekerja pada angin dalam kecepatan yang rendah. Jenis turbin angin ini dikenal dengan nama TASV. Turbin jenis ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan TASH.

2.5.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Dengan menggunakan turbin angin, energi angin bisa dirubah menjadi energi listrik. Pada bagian ini dibahas tentang turbin angin sumbu vertikal (TASV).

Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin yang memiliki gerakan sudu

sejajar dengan arah angin. Turbin angin jenis ini memiliki struktur yang lebih sederhana. Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin yang dapat digunakan pada kecepatan angin yang bervariasi dengan arah yang berbeda-beda. Tidak seperti turbin angin sumbu horizontal, turbin angin jenis ini memiliki kecepatan putar yang rendah dengan torka yang tinggi.

Penggunaan turbin angin sebagai penggerak memiliki kendala yaitu kecepatan angin dan arah angin yang berubah-ubah sepanjang waktu. Oleh karena itu, turbin angin yang baik adalah turbin yang dapat menerima angin dari segala arah. Selain itu juga harus mampu bekerja pada angin dalam kecepatan yang rendah. Jenis turbin angin ini dikenal dengan nama TASV. Turbin jenis ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan TASH.

Ada berbagai tipe TASV yang sering digunakan diantaranya adalah Savonius, Darrieus, dan H-Rotor. Contoh penggunaan turbin angin jenis TASV di dunia yaitu di negara Inggris dengan kapasitas 6,5 kW seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4. (Wikipedia, 2016). Sedangkan kelebihan dan kekurangan TASV seperti pada Tabel 2.2. (Apit, 2015) dan (Get STT-PLN, 2013).



Gambar 2.3. Sebuah turbin bernama Quietrevolution QR5 Gorlov jenis TASV di

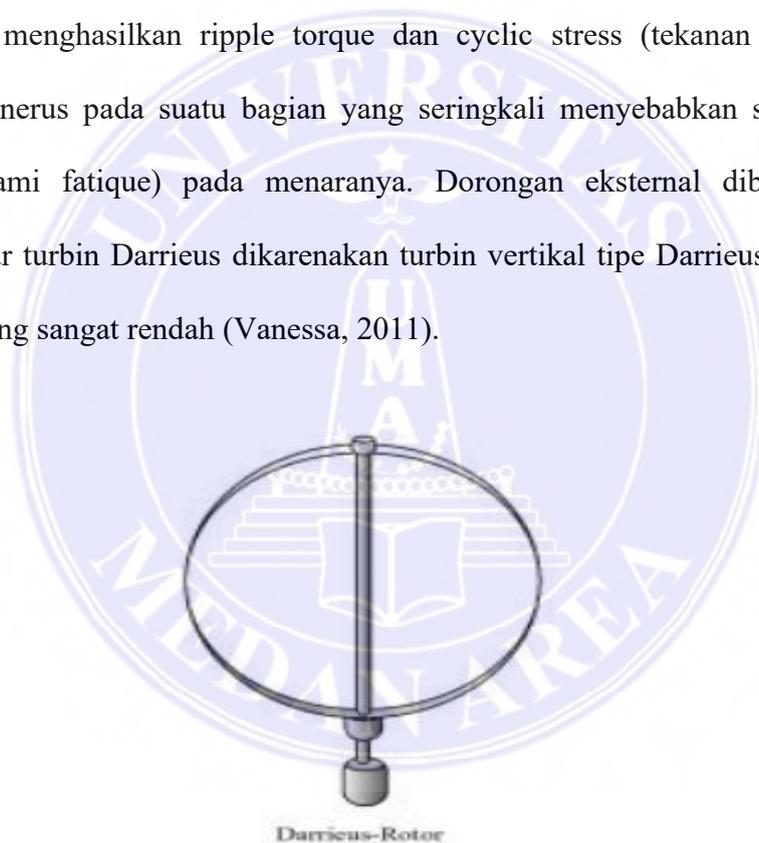
Bristol, Inggris. Ukuran diameter 3 m dan tinggi 5 m.

Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan TASV

No	Kelebihan TASV	Kekurangan TASV
1.	Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.	Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi KASH
2.	Pemeliharaannya lebih mudah	TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
3.	Pemeliharaannya lebih mudah	TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
4.	Memiliki ke aerodinamisa yang tinggi	Kebanyakan TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor di bebankan pada bantalan
5.	TASV biasanya memiliki <i>tip speed ratio</i> yang lebih rendah sehingga lebih kecil	
6.	TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi Dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.	
7.	TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.	

2.5.3 Darrieus Vertical Axis Wind Turbine

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) tipe Darrieus awalnya diperkenalkan di Perancis pada sekitar tahun 1930 oleh penemunya yaitu George Jean Maria Darrieus yang dipatenkan pada tahun 1931. Turbin angin sumbu vertikal tipe Darrieus mempunyai bentuk yang disusun dalam posisi simetris terhadap poros. Dengan pengaturan seperti itu, turbin tipe ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Turbin angin tipe Darrieus memiliki efisiensi yang baik, namun menghasilkan ripple torque dan cyclic stress (tekanan yang berulang terusmenerus pada suatu bagian yang seringkali menyebabkan sebuah material mengalami fatigue) pada menaranya. Dorongan eksternal dibutuhkan untuk memutar turbin Darrieus dikarenakan turbin vertikal tipe Darrieus memiliki torsi awal yang sangat rendah (Vanessa, 2011).

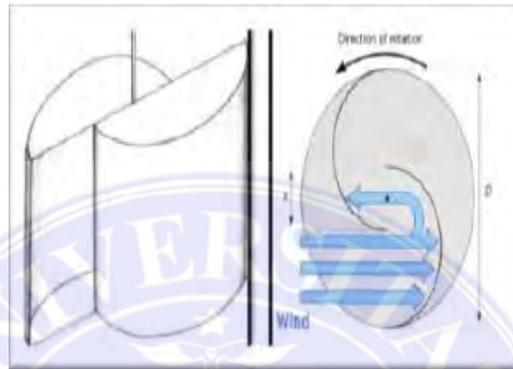


Gambar 2.4. Darrieus Vertical Axis Wind Turbine

2.4.4 Turbin Angin Savonius

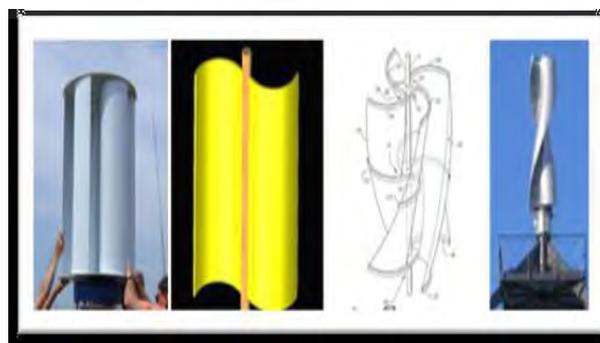
Tipe Savonius seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. diciptakan oleh seorang insinyur Finlandia SJ Savonius pada tahun 1929. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) ini merupakan jenis yang paling sederhana dan menjadi versi

besar dari anemometer. Turbin Savonius dapat berputar karena adanya gaya dorong dari angin, sehingga putaran rotor pun tidak akan melebihi kecepatan angin. Jenis turbin ini cocok untuk aplikasi daya yang rendah dan biasanya digunakan pada kecepatan angin yang berbeda



Gambar 2.5. Prinsip Kerja TASV Savonius

Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal yang dapat digunakan pada angin kecepatan rendah adalah turbin angin Savonius. Konstruksi turbin sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah silinder. Pada perkembangannya turbin Savonius ini banyak mengalami perubahan bentuk rotor, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7. (J. Sargolzay, 2007).



Gambar 2.6. Perubahan bentuk rotor

Berikut adalah skema aliran angin pada turbin angin Savonius. Pada tipe-U aliran udara terlihat sama besar pada kedua Sudu turbinnya, sedangkan pada tipe-L aliran udara pada bilah yang lurus lebih besar. Hal ini sesuai dengan konsep dasar turbin angin Savonius, dimana aliran udara pada rotor akan memberikan daya dorong tambahan pada Sudu turbin lain. Terlihat pada gambar 2.8. (Vanessa, 2011).



Gambar 2.7. Skema Aliran Angin Turbin Angin Savonius

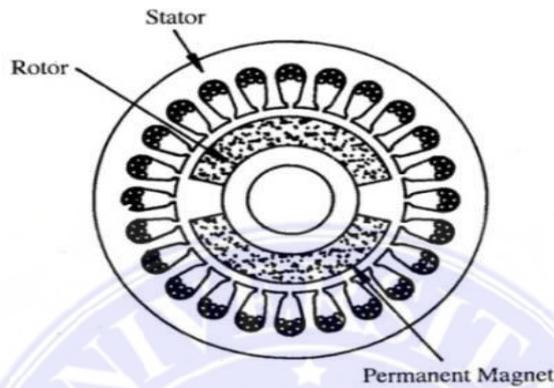
Turbin angin Savonius adalah salah satu jenis turbin angin yang digerakkan dengan gaya drag. Turbin ini terdiri atas dua hingga tiga bucket atau sudu yang disusun sedemikian rupa sehingga jika dilihat dari atas akan terlihat seperti membentuk huruf S. Pada turbin angin Savonius luas penampang sapuan turbin adalah panjang diameter bucket turbin (D) dikali tinggi turbin (h), atau secara matematis dapat digambarkan pada persamaan (2.4) :

$$A = D \cdot H \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Turbin angin tipe Savonius memiliki koefisien daya (C_p) dan tip speed ratio (λ) yang kecil. koefisien daya (C_p) berkisar antara 0.08 hingga 1.50 dan tip speed ratio (λ) berkisar antara 0.5 hingga 1.2. Untuk mengetahui kemampuan torka dari turbin savonius terhadap gerakan generator dinyatakan dengan Persamaan (2.5) di bawah ini. (Buxamusa, 2010)

$$P_T = T \cdot (\tau)_m = T \cdot \frac{2\pi n_g}{60} \dots\dots\dots(2.5)$$

Melda Latif: Eisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah



Gambar 2.8. Penampang generator sinkron magnet permanen dengan dua kutub

Dimana :

T = Torka

N_s = kecepatan sinkron generator (rpm).

1. Generator Sinkron Magnet Permanen

Generator sinkron atau alternator adalah generator yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron bekerja pada kecepatan sinkron (S. A. Nasar, 1995). Gambar 2.9 memperlihatkan konstruksi dari magnet permanen.

$$n_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- n_s = kecepatan sinkron generator (*rpm*)
- f = frekuensi (Hz)
- p = jumlah kutub

Prinsip kerja generator sinkron adalah berdasarkan hukum induksi elektromagnetik Faraday dimana jika suatu konduktor sepanjang l digerakkan dengan kecepatan konstan v_r rpm pada suatu medan magnet homogen B maka pada konduktor tersebut akan dibangkitkan tegangan induksi (e) sebesar e .

$$e = Blv_r \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- e = tegangan induksi generator (V)
- B = medan magnet (Wb/m²)
- l = panjang belitan (m)
- v_r = kecepatan putar (rpm)

Pada kondisi berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar adalah reaksi yang timbul karena adanya interaksi antara luksi yang timbul karena adanya arus mengalir pada belitan jangkar dengan luksi pada belitan medan rotor. Reaksi jangkar bersifat reaktif dan disebut reaktansi magnetisasi (X_m). Reaktansi magnetisasi ini bersamaan dengan reaktansi luks bocor (X_a) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s),

$$\begin{matrix} E_a = V + IR_a + jIX_s \\ X_s + X_m + X_a \end{matrix} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

E_a = tegangan induksi pada jangkar (volt)

V = tegangan terminal output (volt)

R_a = teristansi jangkar (Ω)

X_s = tegangan sinkron (Ω)

Hubungan antara daya aktif (daya berbeban) dari generator sinkron terhadap tegangan adalah seperti Persamaan (2.9), (T. Wildi, 2000)

$$P_L = \frac{E_a V}{X_s} \sin \delta \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana δ adalah sudut torka antara E_a dan V ($^\circ$) Efisiensi diperoleh :

$$\eta = \frac{P_L}{P_T} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

η = efisiensi prototipe (%)

P_L = daya beban (W)

P_T = daya mekanik turbin (W)

Sedangkan efisiensi rata-rata yang dihasilkan adalah :

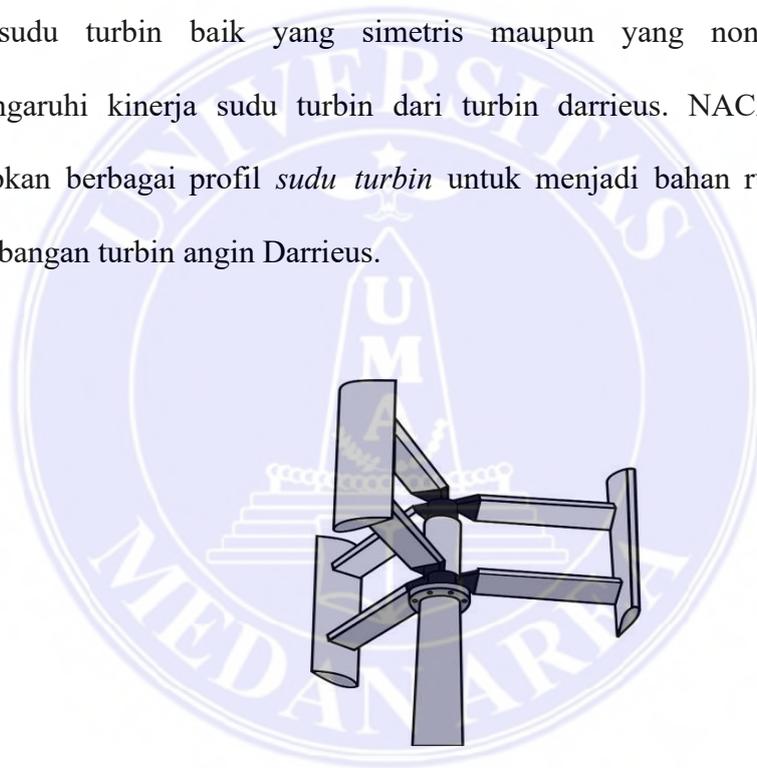
$$\eta = \frac{\sum_{n=1}^n \eta_n}{n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

2.4.5 Turbin Angin Darrieus H-Rotor

Turbin angin Darrieus adalah VAWT yang memiliki efisiensi yang tinggi dan mampu menghasilkan torsi yang cukup besar pada putaran dan kecepatan angin yang tinggi, turbin angin ini sering divariasikan dengan tipe turbin angin rotor yang

menggunakan *vertical sudu turbin* sebagai rotornya. Turbin angin ini merupakan turbidengan rotor modern yang mengalami banyak perkembangan dibidang desain dan kontruksinya. Pada umumnya turbin jenis ini dibangun dengan memvariasikan jenis dan jumlah sudu turbin turbin, baik menggunakan 3 sudut, 4 sudut dan seterusnya, hingga didapatkan nilai torsi dan koefisien daya yang optimal, meskipun berada pada variasi kecepatan angin yang bergerak secara acak.

Menurut NACA (*National Association for Campus Activities*), profil dari setiap sudu turbin baik yang simetris maupun yang non-simetris akan mempengaruhi kinerja sudu turbin dari turbin darrieus. NACA sendiri telah menetapkan berbagai profil *sudu turbin* untuk menjadi bahan rujukan disetiap pengembangan turbin angin Darrieus.



Gambar 2.9. Darrieus H-Rotor

Dari penjelasan dari turbin angin TASH dan TASV dari kedua turbin tersebut adimana memiliki perbandingan antara turbin angin sumbu vertikal dan horizontal terlihat pada tabel 2.3.

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

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

2.6 Rumus Dasar Perhitungan Turbin

Rumus perhitungan yang digunakan untuk mengetahui kerja model turbin angin adalah sebagai berikut :

a. Daya maksimal rotor

Daya angin (P_s) merupakan daya yang tersedia oleh angin di mana daya ini berbanding lurus pangkat tiga kecepatannya dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

P_s : Daya maksimal yang dihasilkan dari rotor (Watt)

A : Luas penampang *sudu turbin* (m²)

ρ : Massa jenis udara (kg/m³)

V : Kecepatan angin (m/s)

C_p : 0.593 (*Betz Coefficient*)

b. Torsi

Torsi (τ) merupakan hasil perkalian dari besarnya gaya pembebanan (F) dengan panjang lengan torsi (l), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{P_s}{\omega} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

T : Torsi (N.m)

F : Gaya pembebanan (N)

l : Panjang lengan torsi (m)

c. Kecepatan putaran

Untuk mengetahui kecepatan putaran dari turbin yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = n, \frac{2\pi}{60} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Sehingga bisa didapatkan nilai putaran (n) dengan persamaan,

$$n = \left(\frac{60}{2\pi}\right) \cdot \omega \dots\dots\dots(2.15)$$

d. Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio adalah perbandingan antara kecepatan yang ada pada ujung *sudu turbin* turbin angin dengan kecepatan angin itu sendiri, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$tsr = \frac{\text{Speed of rotor tip}}{\text{wind speed}} = \frac{v}{r} = \frac{wr}{v} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

tsr : Tip speed ratio

v : Kecepatan putar rotor (m/s)

r : Jari-jari sudu turbin angin (m)

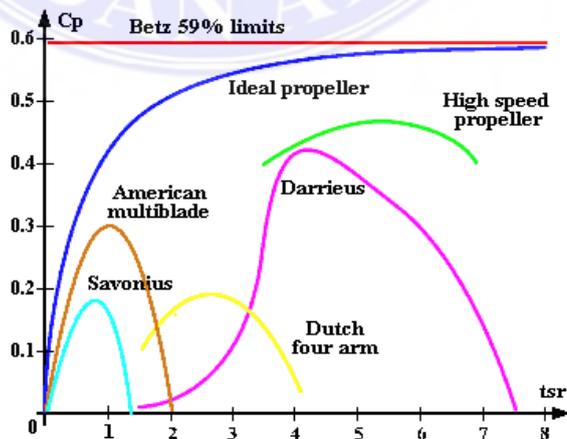
V : kecepatan angin (m/s)

ω : kecepatan putar sudut (rad/s)

f : frekuensi putaran turbin (Hz),(s-1)

f = 1 (rotasi/second)

Menurut Albert Betz, hubungan antara koefisien daya (Cp) dengan *tip speed ratio* (tsr) dari berbagai jenis turbin angin adalah 59 %, teorinya tersebut dinamakan dengan *Betz Limit* dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.10. Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya (Cp) dan *Tip Speed Ratio* (tsr)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Sigara-Gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, selama pengujian dan pembuatan alat dilakukan di Bengkel Las Bubut, Jalan Mabar. Dimana waktu pelaksanaannya dapat kita lihat pada tabel 3.1. di bawah ini

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	2024															
	Juli				Agustus				September				Oktober			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■														
Penulisan Proposal			■	■												
Seminar Proposal					■	■										
Proses Penelitian						■	■	■	■	■	■					
Pengolahan Data										■	■	■	■	■		
Penyelesaian Laporan														■		
Seminar Hasil Evaluasi Dan Pesiapan Sidang Sarjana															■	■

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Alat Pengujian Protototipe TASV

Adapun alat yang di butuhkan dalam penelitian yaitu:

a. Anemometer

Anemometer adalah alat pengukur kecepatan angin yang biasanya digunakan dalam bidang meteorologi dan geofisika atau stasiun prakiran cuaca. Anemometer berfungsi untuk mengukur kecepatan angin, alat ini juga dapat mengukur besarnya tekanan angin, cuaca dan tinggi gelombang laut.



Gambar 3.1. Anemometer

b. Thakometer

Thakometer adalah alat untuk mengukur putaran mesin, khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satuan waktu



Gambar 3.2. Thakometer

3.2.2 Bahan Pengujian Prototipe TASV

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam pengujian prototipe TASV antara lain:

a. Generator

Generator adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanis. Prinsip kerja dari generator listrik adalah induksi elektromagnet



Gambar 3.3. Generator

b. Blower

Blower adalah mesin atau alat yang berfungsi sebagai distributor udara dari tekanan rendah ke tekanan tinggi (Lubis. S, 2020). Udara yang terdapat di dalam blower akan ikut berputar dikarenakan poros dan *impeller* pada blower berputar, sehingga dapat mengubah energi mekanik menjadi energi *fluida* (angin) (Rosid & Sumarjo, 2017).



Gambar 3.4. Blower

3.3 Metode Penelitian

Dalam hal pengumpulan data ini penulis terjun langsung pada objek yang akan di teliti untuk mendapatkan data yang valid maka peneliti menggunakan metode sebagai berikut :

1. Metode Observasi (Pengamatan)

Melakukan pengamatan secara langsung proses penggunaan turbin angin sumbu vertikal

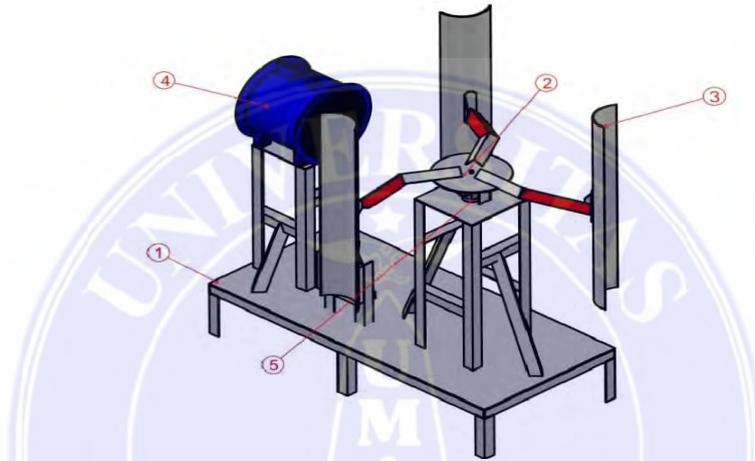
2. Metode Experimen

Pengujian turbin angin ini dilakukan dengan menggunakan sumber angin dari alat bernama blower, kemudian kecepatan angin tersebut akan diukur menggunakan *anemometer*.

3. Metode Kuantitatif

Pada penelitian Analisis turbin angin tipe savonius dilakukan dengan pengolahan hasil data yang diambil, kemudian dilakukan perhitungan yang memperoleh nilai berupa efisiensi turbin dan daya angin.

Pembuatan rancangan menggunakan proyeksi amerika standart operasional prosedur. Dalam merancang turbin angin, digunakan AutoCAD sebagai pandangan atas, pandangan depan, dan pandangan samping. Berikut gambar 3.5 Pembuatan sketsa perancangan.



Gambar 3.5. Sketsa Turbin Angin Sumbu Vertikal

Bahan-bahan pembuatan:

1. Rangka turbin angin menggunakan bahan besi siku 35 mm x 35 mm dan besi plat 3 mm.
2. Piringan lengan sudu turbin menggunakan bahan besi siku 35 mm x 35 mm besi plat 5 mm.
3. Sudu turbin menggunakan bahan pipa PVC
4. Blower
5. Generator

Pengukuran Turbin Angin:

Model dari turbin angin sumbu vertikal sangat banyak, namun ada faktor-faktor yang harus diperhatikan, yaitu salah satunya dapat digunakan pada kecepatan angin yang relatif rendah. Pada penelitian ini, menggunakan prototipe VAWT. Dimana, angin yang akan berhembus melalui salah satu bilah rotor diharapkan akan lebih banyak mengalir pada bilah rotor lainnya, yang masuk ke dalam poros untuk mencadangkan daya dorong tambahan, mengakibatkan rotor akan berputar lebih cepat. Konstruksi prototipe pada penelitian ini, menggunakan 3 buah *blade* agar dapat dipindah dengan mudah (portabel) (Nakhoda & Saleh, 2015).

3.4 Populasi dan Sample

Penelitian dilaksanakan di Desa Sigara-gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Angin yang berhembus memiliki karakteristik tersendiri seperti, angin memiliki kecepatan angin yang sangat beragam dari suatu tempat ke tempat lain serta dari waktu ke waktu, angin memiliki sifat yang dapat menyebabkan tekanan terhadap suatu permukaan yang melawan arah angin tersebut, angin juga memiliki sifat mempercepat pendinginan dari suatu benda yang panas. 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

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

a. Menghidupkan Blower



b. Mengarahkan blower ke sudu turbin agar terjadi putaran terhadap sudu turbin



c. Menyiapkan anemometer dan melakukan pengukuran terhadap kecepatan angin yang di hasilkan blower

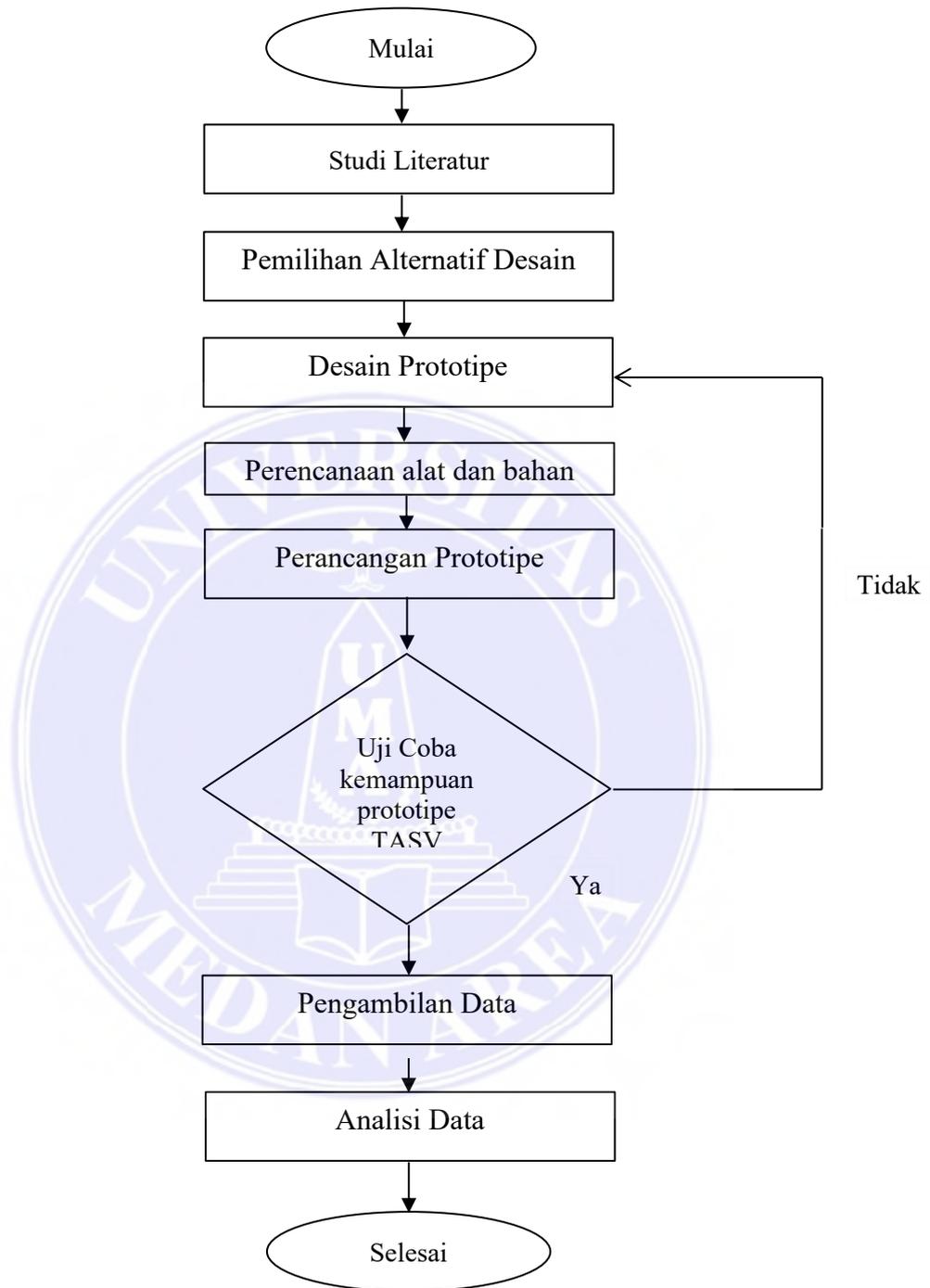


d. Menyiapkan tachometer dan melakukan pengukuran terhadap putaran sudu turbin



e. Setelah hasil yang diukur telah didapat maka selanjut nya melakukan perhitungan dan menyusun laporan.





Gambar 3.6. Diagram Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada paparan diatas, maka kesimpulan yang dapat penulis simpulkan sebagai berikut:

1. Kecepatan Angin:

Saat diuji dengan Dimmer 1 hingga Dimmer 5, tercatat variasi kecepatan angin dengan nilai rata-rata, maksimum, dan minimum yang berbeda-beda untuk setiap dimmer. Kecepatan angin rata-rata tertinggi tercatat pada Dimmer 5 dengan nilai 9,7 m/s, sedangkan kecepatan angin terendah tercatat pada Dimmer 1 dengan nilai rata-rata 4,4 m/s. Terdapatnya perbedaan variasi kecepatan angin dipengaruhi oleh perbedaan suhu di Desa Sigara-gara, kecepatan angin eksternal yang mempengaruhi kinerja turbin, serta turbulensi pada saat melakukan penelitian. Semakin tinggi kecepatan angin, maka semakin besar daya yang dihasilkan turbin.

2. Putaran Sudu Turbin:

Rotasi sudu turbin berhubungan dengan peningkatan kecepatan angin. Semakin tinggi kecepatan angin maka semakin tinggi pula putaran sudu rotor yang tercatat.

Putaran sudu tertinggi dicapai pada Dimmer 5 dengan nilai maksimum 102,8 rpm, sedangkan nilai terendah dicapai pada Dimmer 1 dengan nilai 38,9 rpm.

3. Efisiensi Turbin Angin:

Efisiensi turbin angin meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan

angin selama setiap pengujian dimmer. Namun efisiensi turbin secara keseluruhan masih sangat rendah.

Efisiensi turbin tertinggi terdapat pada Dimmer 5 dengan nilai rata-rata sebesar 0,033%, sedangkan efisiensi terendah terdapat pada Dimmer 1 dengan nilai 0,012%. Rendahnya nilai efisiensi menunjukkan masih banyak ruang perbaikan pada desain atau kondisi pengoperasian turbin angin yang diuji. Efisiensi turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan arah angin. Selain itu, desain rotor dan hambatan aerodinamis juga dapat menurunkan efisiensi dari turbin angin. Efisiensi turbin angin juga berbanding lurus terhadap daya turbin yang diperoleh.

Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa walaupun turbin angin mampu menghasilkan putaran sudu turbin yang semakin meningkat seiring dengan kecepatan angin. Maka, efisiensi turbin angin yang dihasilkan juga akan meningkat. Diperlukan pengembangan lebih lanjut pada desain prototipe yang lebih aerodinamis untuk dapat meningkatkan efisiensi turbin angin yang dihasilkan.

5.2 Saran

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

1. Penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan variasi kecepatan angin lebih luas untuk menilai performa turbin pada berbagai kondisi cuaca, termasuk kecepatan rendah dan tinggi. Selain itu, pengujian di lokasi dengan topografi dan intensitas angin berbeda, seperti pesisir, dataran tinggi, atau daerah urban, diperlukan untuk mengevaluasi adaptabilitas dan efisiensi turbin.
2. Selain itu, penelitian mendatang dapat menggunakan desain turbin yang berbeda (lebih aerodinamis) atau material yang lebih ringan dan tahan lama untuk meningkatkan efisiensi energi. Analisis ekonomi terkait biaya produksi, instalasi, dan perawatan turbin juga dapat diteliti lebih lanjut untuk menentukan kelayakan penerapannya dalam skala besar.

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>
- Ajao, K. R., & Mahamood, M. R. (2009). Wind energy conversion system: The past, the present and the prospect. *Journal of American Science*, 5(6), 17-22. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=d1cc5901ed725cfd1badca30d8d7c5519df0493#page=21>
- Ananda, A. R. (2024). *Rancang Ulang Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine)* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area). <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/26353>
- Apit Fathurohman. (2015). Jenis - Jenis Turbin Angin. <http://termodinamika.rini.blogspot.com/2015/05/jenis-jenis-turbin-angin.html> (diakses tanggal 22 Maret 2016).
- Buxamusa, A. (2010). *Wind Flow Analysis and Modeling Power Generation for a Multiple Wind Turbine Installation* (Doctoral dissertation). <https://digital.maag.yzu.edu/xmlui/handle/1989/10652>
- Daryanto, Y. (2007). *Kajian potensi angin untuk pembangkit listrik tenaga bayu*. Balai PPTAGG-UPT-LAGG.
- Dinzi, R. (2017). *Optimasi Daya pada Sistem Turbin Angin Menggunakan Kontrol Pitch Angle dengan Fuzzy Logic Control (Aplikasi pada Kecepatan Angin Daerah Nias Utara)* (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara). <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/14865>
- Get STT-PLN. (2013). Jenis – Jenis Turbin Angin. <http://www.getsttpln.net/2014/03/jenis-jenis-turbin-angin.html>. (diakses tanggal 22 Maret 2016).
- Idris, M., Zulfikar, A. J., Dariantio, 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>
- Indriani, A., Manurung, G., Daratha, N., & Hendra, H. (2019). Perancangan Turbin Sumbu Horizontal dan Sumbu Vertikal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Studi Kasus di Kota Bengkulu). *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 9(2), 1-6. <https://ejournal.unib.ac.id/jamplifier/article/view/15376>
- Irabu, K., & Roy, J. N. (2007). Characteristics of wind power on Savonius rotor using a guide-box tunnel. *Experimental thermal and fluid science*, 32(2), 580-586. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894177707000878>
- Lubis, S. (2020). Analisa Pengaruh Sudut Sudu Impeller Pada Unjuk Kerja Blower Sentrifugal. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 1(1), 11-18. <https://jurnal.ceredindonesia.or.id/index.php/mesil/article/view/9>
- Melisa. (2016). Peneliti Sedang Mengembangkan Turbin Angin Terbesar di Dunia. <http://www.inddit.com/f-6z0om3-/peneliti-sedang-mengembangkan->

- turbin-angin-terbesar-didunia (diakses tanggal 01 April 2016).
- Mulkan, A. (2022). Analisis pemanfaatan energi sebagai sumber pembangkit energi listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 3(1), 74-83.
- Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2015). Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Tenaga Listrik Portabel. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 3, pp. 59-67). https://www.academia.edu/download/54535574/8.-Yusuf-Nakhoda_okok.pdf
- Rosid, R., & Sumarjo, J. (2017). Analisa Simulasi Kerusakan Impeller Pada Pompa Sentrifugal Akibat Kavitasi. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 11(2), 102-112. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek/article/view/2102>
- Sargolzaei, J. (2007). Prediction of the power ratio in wind turbine Savonius rotors using artificial neural networks. *International Journal of Energy and Environment*, 1(2), 51-55.
- Schaffarczyk, A. P. (2024). *Introduction to wind turbine aerodynamics*. Springer Nature.
- 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>
- Siregar, A. M. (2017). Design and manufacture of prototypes Dua tipe rotor turbin angin sumbu vertikal sebagai objek penelitian studi eksperimental. *Jurnal Teknovasi* Volume 04, Nomor 02, 2017, 1–14 ISSN : 2540-8389
- Vanessa, M. C. LAPORAN PENELITIAN TURBIN ANGIN HYBRID (SAVONIUS-DARRIEUS). https://www.researchgate.net/profile/Medeline-Vanessa/publication/303652634_LAPORAN_PENELITIAN_RISET_MINI_TENTANG_TURBIN_ANGIN_MODEL_SAVONIUS_DAN_DARRIEUS/links/585560d908ae8f695556162c/LAPORAN-PENELITIAN-RISET-MINI-TENTANG-TURBIN-ANGIN-MODEL-SAVONIUS-DAN-DARRIEUS.pdf
- Wikipedia. 2016. Angin. <https://id.wikipedia.org/wiki/Angin> (diakses tanggal 22 Maret 2016).
- Wikipedia. 2016 .Wind turbine. https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine (diakses tanggal 22 Maret 2016).

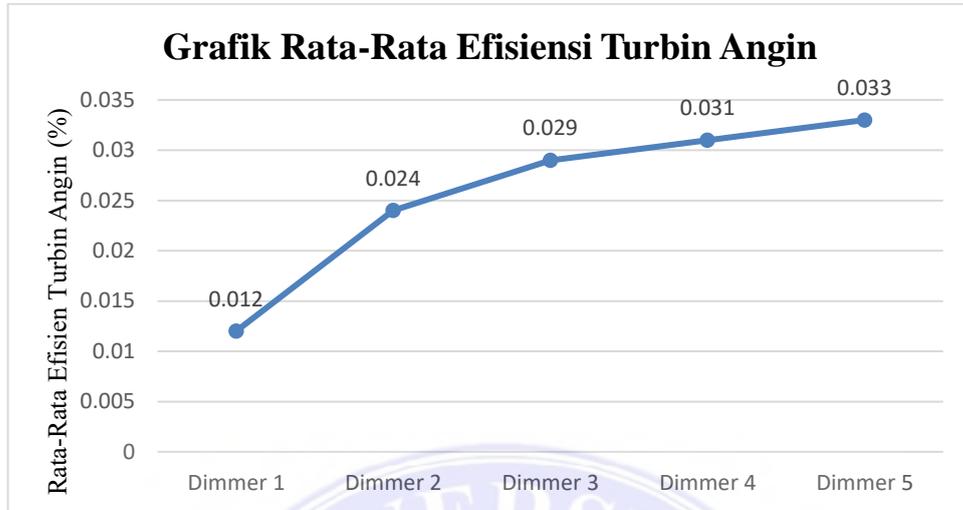
Citasi

Tugas Akhir		
Abdullah, I., Nurdin, J., & Hasanuddin. (2016) Ajao, K. R., & Mahamood, M. R. (2009) Ananda, A. R. (2024) Apit Fathurohman. (2015) Buxamusa, A. (2010) Daryanto, Y. (2007) Dinzi, R. (2017) Get STT-PLN. (2013) Idris, M., Zulfikar, A. J., Darianto, Iswandi, Jufrizal, Hermanto, T., Haniza, & Harahap, U. N. (2024) Indriani, A., Manurung, G., Daratha, N., & Hendra, H. (2019) Irabu, K., & Roy, J. N. (2007) Lubis, S. (2020) Melisa. (2016) Mulkan, A. (2022) Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2015) Rosid, R., & Sumarjo, J. (2017) Sargolzaei, J. (2007) Schaffarczyk, A. P. (2024) Sidabutar, A. A. V. M. (2024) Sitinjak, K. A. G. T. (2024) Siregar, A. M. (2017) Vanessa, M. C. Wikipedia. 2016		

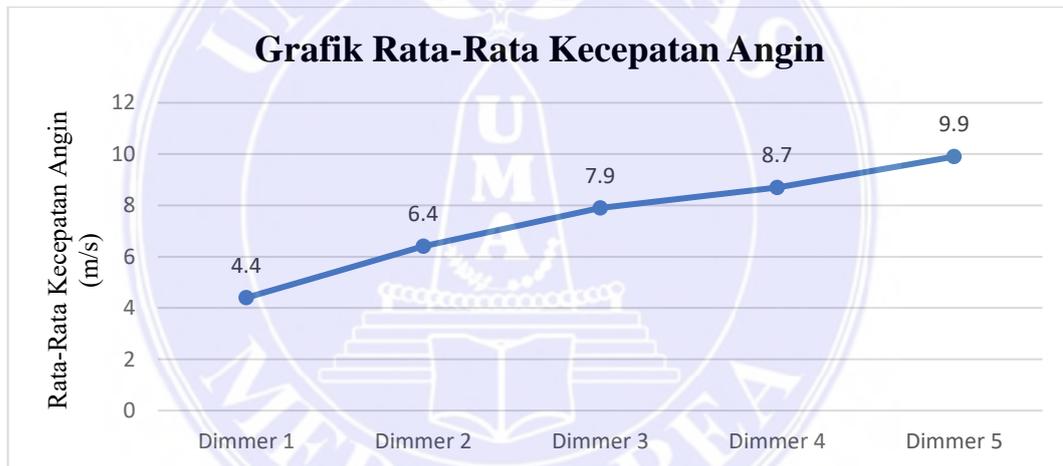
LAMPIRAN



Grafik Rata-Rata Efisiensi Turbin Angin (%)



Grafik Kecepatan Putaran Rata-Rata Angin



Grafik Rata-Rata Kecepatan Putaran Sudu Turbin

