

**PENGARUH FAKTOR KETINGGIAN SUDU TERHADAP
KINERJA DARI PROTOTYPE TURBIN ANGIN
SUMBU VERTIKAL**

SKRIPSI

OLEH:

**HENRI GUNAWAN SIHOMBING
198130035**



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

HALAMAN JUDUL

PENGARUH FAKTOR KETINGGIAN SUDU TERHADAP KINERJA DARI PROTOTYPE TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL

SKRIPSI

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

Oleh :


HENRI GUNAWAN SIHOMBING
198130035

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Pengaruh Faktor Ketinggian Sudu Terhadap Kinerja dari
Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal
Nama : Henri Gunawan Sihombing
Mahasiswa :
NIM : 198130035
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh,
Komisi Pembimbing


(Dr. Jufriзал, ST, MT)


(Dr. Eng. Supriatno, S.T, M.T.)
Dekan



(Dr. Iswandi, ST, MT)
Ka. Prodi

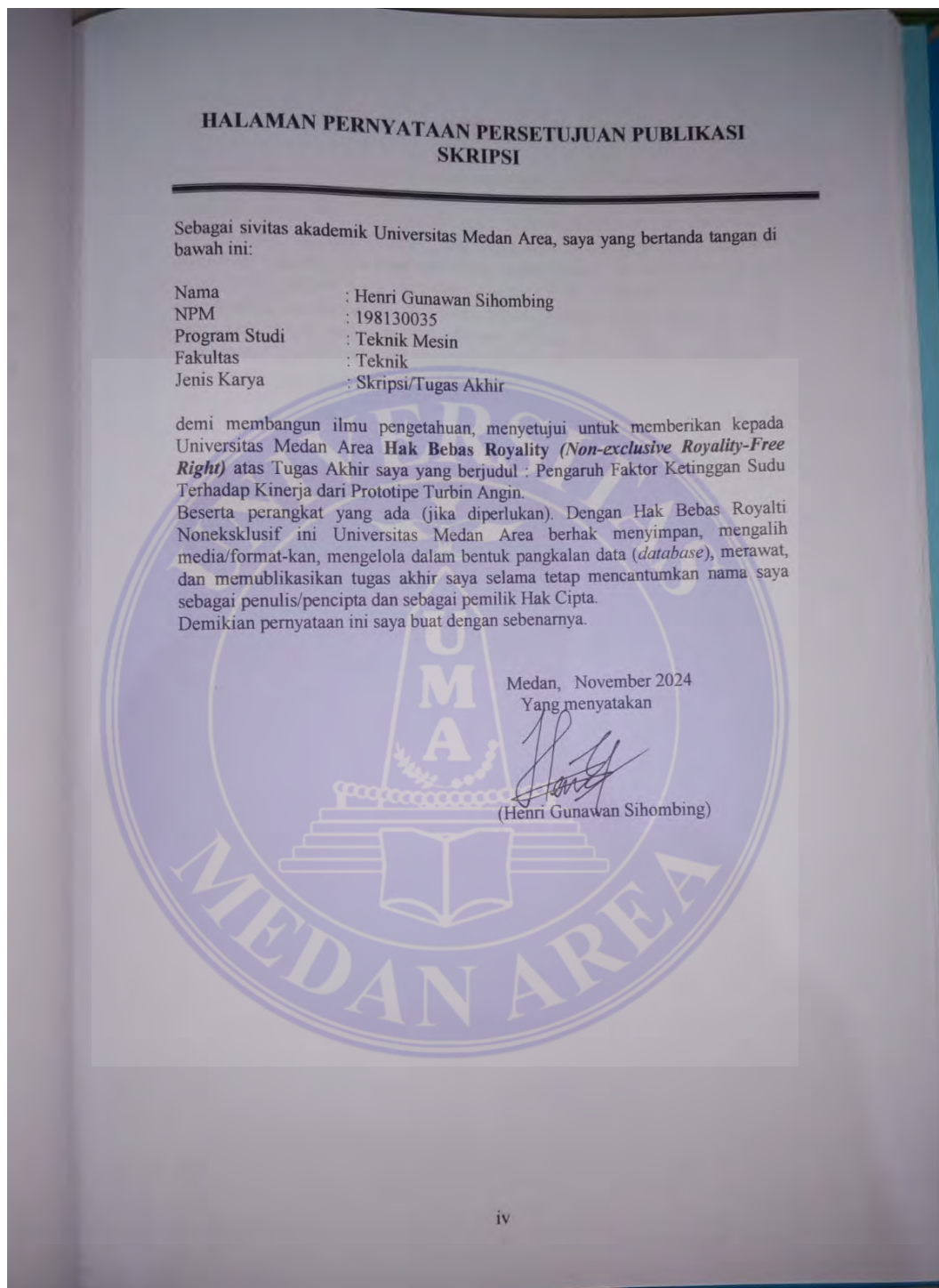
Tanggal Lulus:

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 sorma, 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.


Henri Gunawan Sihombing



ABSTRAK

Konsumsi energi di Indonesia terus meningkat seiring berkurangnya sumber energi tak terbarukan. Salah satu alternatif adalah energi angin. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh ketinggian sudu terhadap kinerja prototipe turbin angin sumbu vertikal. Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan uji langsung dan observasi. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan angin tertinggi dicapai pada sudu 1000 mm sebesar 11,3 m/s, sedangkan sudu 500 mm menghasilkan kecepatan 9,2 m/s. Daya turbin tertinggi tercatat pada sudu 1000 mm sebesar 0,032 watt, sementara efisiensi tertinggi juga dicapai oleh sudu 1000 mm sebesar 0,034%. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan ketinggian Sudu dapat meningkatkan kinerja turbin angin.

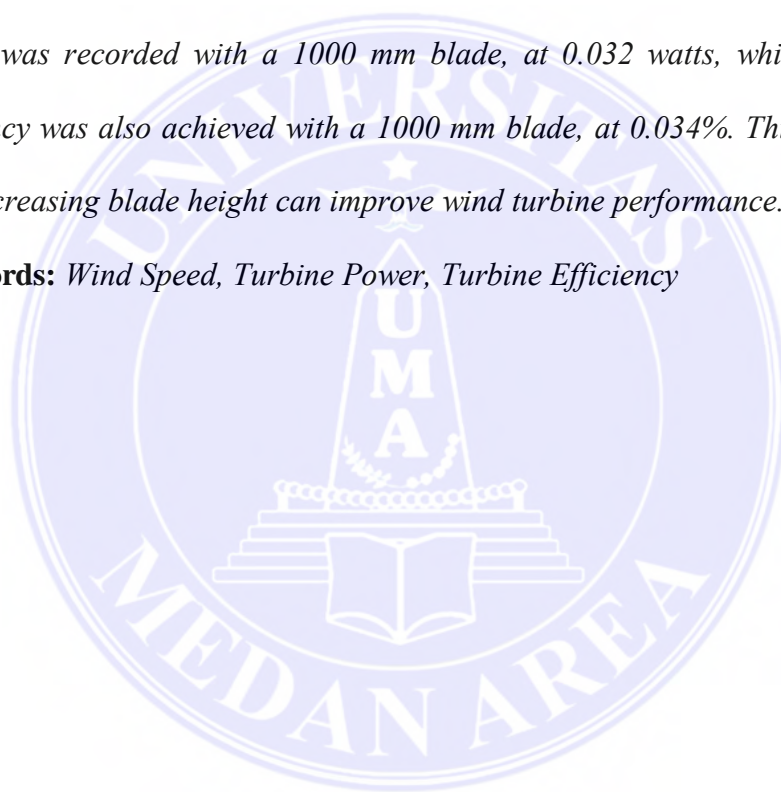
Kata Kunci: Kecepatan Angin, Daya Turbin, Efisiensi Turbin



ABSTRACT

Energy consumption in Indonesia continues to increase as non-renewable energy sources dwindle. One alternative is wind energy. This study aims to analyze the effect of blade height on the performance of a vertical-axis wind turbine prototype. The method used was quantitative research with direct testing and observation. The results showed that the highest wind speed was achieved with a 1000 mm blade, at 11.3 m/s, while a 500 mm blade produced a speed of 9.2 m/s. The highest turbine power was recorded with a 1000 mm blade, at 0.032 watts, while the highest efficiency was also achieved with a 1000 mm blade, at 0.034%. This study shows that increasing blade height can improve wind turbine performance.

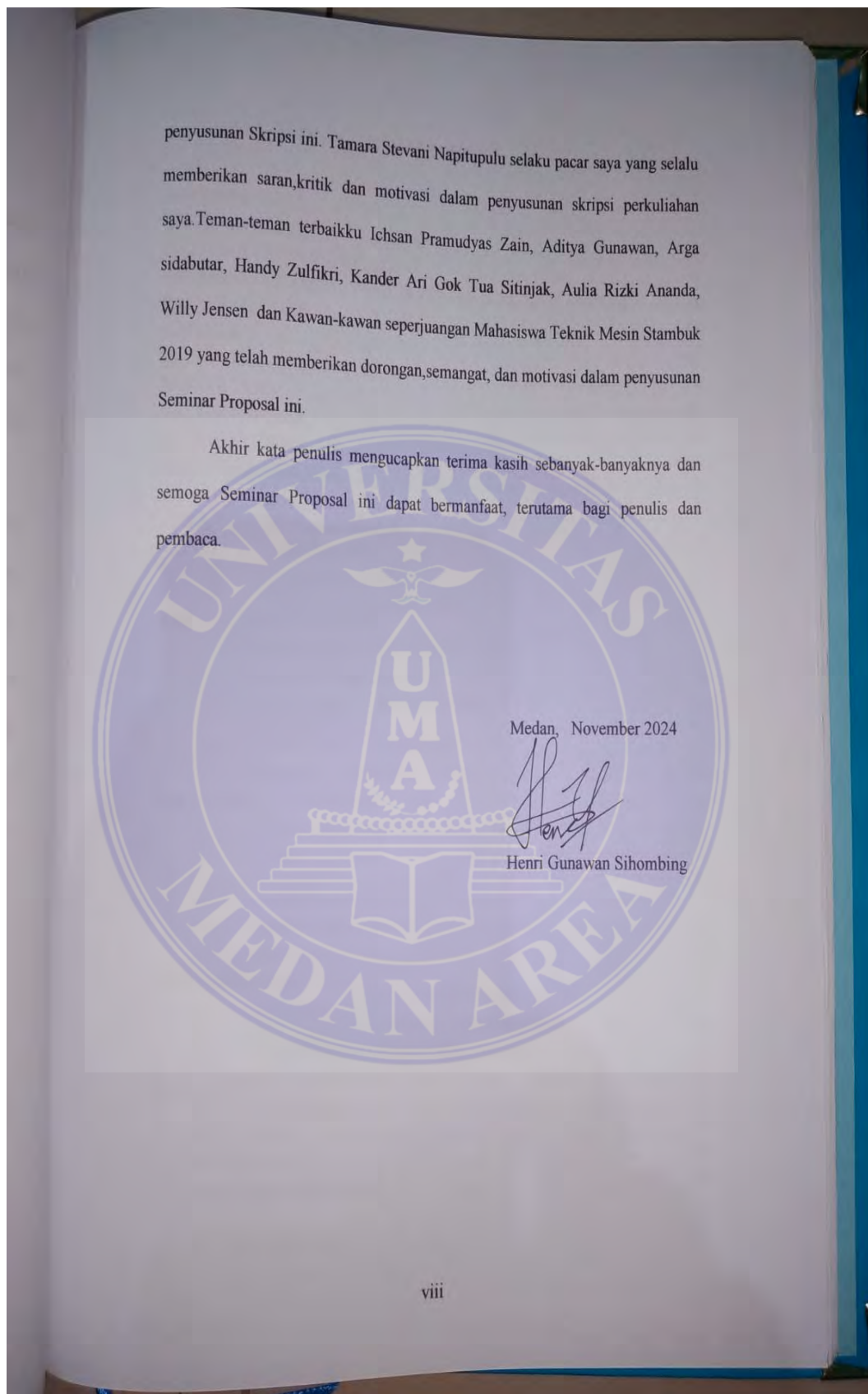
Keywords: *Wind Speed, Turbine Power, Turbine Efficiency*



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan karunia 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 Seminar Proposal ini ialah : “Pengaruh Faktor Ketinggian Sudu Terhadap Kinerja dari Prototipe Turbin Angin”.

Dalam penulisan dan penelitian skripsi ini banyak kendala yang penulis alami, namun berkat bantuan moril dan material dari berbagai pihak, maka skripsi ini dapat diselesaikan, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Anser Sihombing dan Ibu Junita Sihite 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 Seminar Proposal ini dapat terselesaikan. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M,Eng, M.Sc., selaku rektor Universitas Medan Area. Bapak DR. Eng. Supriatno, S.T, M.T, selaku Dekan fakultas teknik Universitas Medan Area. Bapak Dr. Iswandi, ST, MT, selaku selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi. Bapak Jufrizal,ST,MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran kepada penulis dalam penulisan Seminar Proposal ini. Segenap Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Birokrasi Administrasi Fakultas Teknik. Meliani Sihombing sebagai adik kandung saya yang telah memberikan dukungan dan doa untuk saya dalam program



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI	iv
KABSTRAK.....	vii
AKATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	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 Rancang Ulang Prototipe Turbin Angin	5
2.2 Definsi Turbin Angin.....	6
2.3 Energi Angin Sebagai Sumber Daya Energi.....	15
2.4 <i>Tip Speed Ratio</i>	20
2.5 Teori Momentum Elemen Betz.....	21
2.6 Efisiensi Turbin Angin	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Bahan dan Alat.....	24
3.3 Metode Penelitian	28
3.4 Populasi dan Sampel.....	29
3.5 Prosedur Kerja	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Kecepatan Angin Dimmer 5 Variasi Sudu.....	31
4.2 Hasil Daya Turbin Dimmer 5 Variasi Sudu	33
4.3 Hasil Efisiensi Dimmer 5 Variasi Sudu	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN DOKUMENTASI.....	48

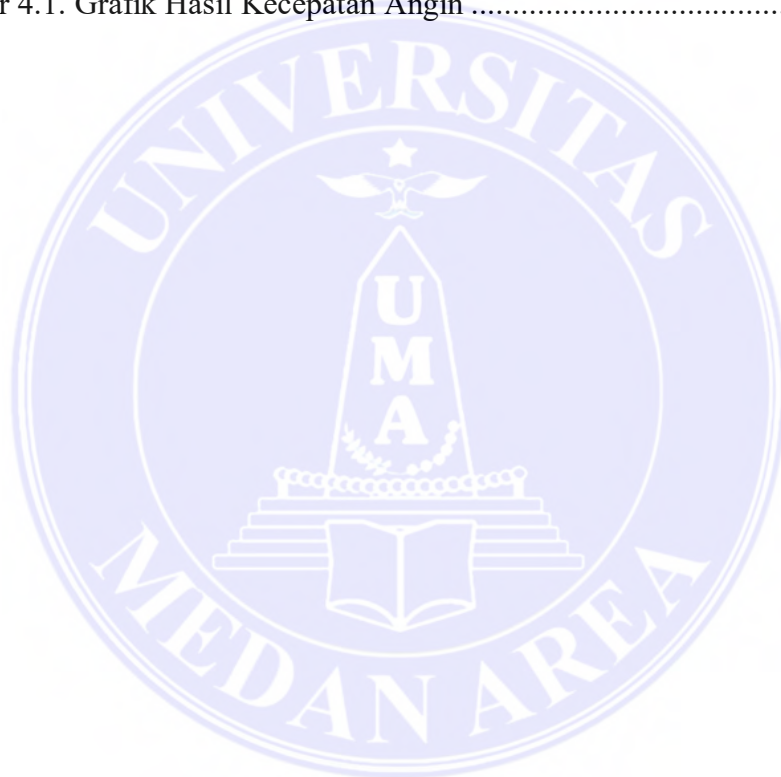
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Perbedaan turbin angin sumbu horisontal dan vertikal.....	14
Tabel 3.1.	Jadwal Rencana Penelitian	24
Tabel 3.2.	Tabel Tahapan Pengujian	26
Tabel 4.1.	Tabel Hasil Kecepatan angin	31
Tabel 5.3.	Hasil Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal Sudu 500mm.....	42
Tabel 5.3.2.	Hasil Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal Sudu 750mm.....	43
Tabel 5.3.3.	Hasil Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal Sudu 1000mm.....	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Turbin Angin Sumbu Vertikal dan Horizontal.....	8
Gambar 2.2. Jenis turbin angin sumbu horizontal	10
Gambar 2.3. Turbin Angin Horizontal Berdasar Jumlah Sudut	11
Gambar 2.4. Jenis Turbin Angin Sumbu Vertikal	13
Gambar 2.5. Berbagai Jenis Rotor Turbin Angin.	21
Gambar 3.1. Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	25
Gambar 3.2. Gambar Sudu 500mm, Sudu 750mm, dan Sudu 100mm	25
Gambar 3.3. Anemometer digital	26
Gambar 3.4. Digital Tachometer	27
Gambar 3.5. Dimmer	27
Gambar 3.6. Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1. Grafik Hasil Kecepatan Angin	32



DAFTAR NOTASI

Ω	= Kecepatan Sudut Baling-Baling Dalam Radian Per Detik.
R	= Jarak Dari Pusat Rotasi Turbin Angin Ke Ujung Baling-Baling (M)
V_{tip}	= Kecepatan Ujung Baling-Baling (<i>Tip Speed</i>) Turbin Angin (M/S).
V_{wind}	= Kecepatan Angin Yang Masuk Ke Turbin Angin (M/S).
I	= Arus Listrik (A)
P	= Daya (Watt)
V	= Tegangan (Volt)
IKVA	= Power Dinamo
PF	= Power Fektor
P	= Tenaga Pada Permukaan Baling-Baling (J)
ρ	= Massa Jenis Angin (Kg/m^3)
A	= Luas Permukaan Baling-Baling (m^2)
Ek	= Energi Kinetik (<i>Joule</i>)
M	= Massa (Kg)
V	= Kecepatan Angin (M/S)
E	= Energi Potensial Angin (Joule)
M	= Massa Udara (Kg)
V	= Kecepatan Angin (M/S)
V_i	= Kecepatan Angin Yang Terukur (M/S)
T_i	= Lama Angin Bertiup Dengan Kecepatan
$V_i N$	= Banyak Data Pengukuran

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi di Indonesia semakin hari semakin meningkat bersamaan dengan semakin berkurangnya sumber energi tidak terbarukan yang sekarang umum dipakai. Energi listrik menjadi sebuah kebutuhan utama yang digunakan oleh manusia. Secara nasional kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, akan tetapi laju kebutuhan energi yang sangat cepat tersebut tidak diimbangi dengan produksi riil sektor energi. Saat ini energi nasional masih terfokus kepada energi fosil yaitu batubara, minyak bumi, dan gas bumi. (Muhammad, Partaonan, & M.Ridho, 2019)

Turbin angin sumbu vertikal dipilih pada penelitian ini karena berbagai pertimbangan. Yaitu kemampuannya menerima angin dari berbagai arah, mampu berputar pada kecepatan angin yang rendah serta tidak diperlukan rem untuk kecepatan angin tinggi. Namun demikian diperlukan sebuah desain yang baik agar bisa memanfaatkan potensi angin yang ada di maluku Utara. Dengan demikian akan didapatkan sumber energi alternatif yang bisa memenuhi kebutuhan masyarakat terutama di daerah desa si gara-gara.

Ketinggian sudu mempengaruhi tingkat kecepatan angin yang dapat dicapai, karena jika sudu memiliki ketinggian tertentu maka angin memiliki kecepatan lebih tinggi dan lebih stabil. sudu yang lebih tinggi memiliki daya tangkap angin lebih kuat dan meningkatkan efisiensi konversi energi. Di ketinggian lebih rendah atau dekat dari permukaan tanah, angin cenderung sedikit karena adanya hambatan pada bangunan dan ini dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam

putaran sudu, mengurangi efisiensi turbin. Turbin angin dengan sudu yang tinggi memiliki jangkauan atau area tangkapan angin yang lebih luas, sehingga lebih banyak angin yang dapat dimanfaatkan. Area cakupan yang lebih besar ini memungkinkan penangkapan energi angin yang lebih efisien, meningkatkan jumlah daya listrik yang dihasilkan oleh turbin angin. Selain itu, alasan lainnya adalah untuk mengurangi polusi yang ditimbulkan dari pemakaian bahan bakar minyak, karena sumber polusi terbesar di dunia berasal dari gas buang atau emisi bahan bakar minyak, maka dibutuhkan sebuah solusi untuk mengatasi masalah tersebut, terarah pada energi alternatif yang cukup ketersediaannya di bumi dan dapat diharapkan kelanjutannya. (Farel.H.Napitupulu & Fritz, 2013)

Pada penelitian ini, dilakukan di desa sigara-gara, kecamatan patumbak, kabupaten deli serdang, Sumatera Utara atau pada lokasi tempat pembuatan atau penempatan turbin angin mabar kabupaten medan deli, Sumatera Utara.

Berdasarkan penjelasan yang diberikan, perlu dikatakan bahwa angin dari alam dapat digunakan sebagai sumber listrik yang disebabkan oleh fakta bahwa sumber daya energi angin berkelanjutan, tidak terbatas, atau selalu tersedia. Ini karena pasokan energi angin dapat diskalakan, tidak terbatas, atau selalu dapat diakses.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang masalah, terdapat berbagai objek yang berhubungan dengan penelitian ini diantaranya :

- a. Bagaimana pengaruh Faktor Kecepatan Putaran *Blade* dari Berbagai Ketinggian Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal?

- b. Bagaimana pengaruh Faktor Daya Turbin dari Berbagai Ketinggian Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal?
- c. Bagaimana pengaruh Faktor Efisiensi Turbin dari Berbagai Ketinggian Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk Mengetahui Pengaruh Kecepatan angin dari Berbagai Panjang Variasi Sudu yang Berbeda Terhadap kinerja Turbin Angin.
- b. Untuk Mengetahui Pengaruh Daya Turbin dari Berbagai Panjang Variasi Sudu yang Berbeda Terhadap Kinerja Turbin Angin.
- c. Untuk Mengetahui Pengaruh Efisiensi Turbin dari Berbagai Panjang Variasi Sudu yang Berbeda Terhadap Kinerja Turbin Angin.

1.4 Hipotesis Penelitian

- a. Tidak ada pengaruh faktor ketinggian sudu terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal
- b. Terdapat pengaruh faktor ketinggian sudu terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

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

- d. 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.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik. Sedangkan Angin ialah udara yang bergerak dikarenakan adanya perbedaan suhu atmosfer bumi. Udara dari daerah bertekanan tinggi kemudian bergerak menuju daerah bertekanan rendah.

Prototipe adalah model awal percobaan dari suatu produk, sistem, atau konsep yang sedang dikembangkan. Tujuan utama pembuatan prototipe adalah untuk memberikan gambaran visual, fungsional, atau fisik tentang bagaimana produk atau sistem tersebut akan terlihat dan berperilaku.

Berikut adalah beberapa karakteristik dan pengertian terkait dengan prototipe:

1. Eksperimen dan Pengujian

Prototipe digunakan untuk melakukan eksperimen, pengujian, dan evaluasi. Ini memungkinkan para pengembang atau desainer untuk memahami bagaimana produk atau sistem tersebut berfungsi dan mengidentifikasi potensi perbaikan.

2. Komunikasi dan Presentasi

Prototipe dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan berbagai pihak terkait, termasuk tim pengembang, pemangku kepentingan, atau pelanggan. Prototipe memberikan gambaran yang lebih nyata daripada konsep atau desain pada tahap awal.

3. Pengembang Lanjutan

Hasil dari pengujian prototipe dapat digunakan untuk melakukan iterasi, atau pengembangan lanjutan, terhadap desain atau konsep awal. Proses ini membantu menyempurnakan produk atau sistem seiring berjalannya waktu.

4. Menghemat Waktu dan Biaya

Prototipe memungkinkan untuk mengidentifikasi potensi masalah atau kekurangan pada tahap awal pengembangan, yang dapat menghemat waktu dan biaya jika perbaikan atau perubahan perlu dilakukan.

2.2 Definsi Turbin Angin

Turbin angin adalah suatu perangkat mesin yang digunakan untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik. Turbin angin bekerja dengan cara mengonversi gerakan rotasional dari baling-baling atau bilah-bilah yang diputar oleh angin menjadi energi mekanis, yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator. Sejarah mencatat, turbin angin pertama kali dibuat oleh (*Pour La Cour*) pada abad ke-19 di Denmark untuk pembangkitan listrik di daerah yang terpencil.

Turbin angin pertama di Indonesia dipasang pada tahun 1996. Turbin angin ini dioperasikan di Desa Kursi, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Proyek ini merupakan bagian dari upaya pemerintah Indonesia untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan, seperti energi angin, dalam upaya diversifikasi sumber energi dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Turbin angin pertama di Indonesia tersebut memiliki kapasitas daya sekitar 225 kilowatt (kW). Meskipun kapasitas dayanya relatif kecil jika dibandingkan dengan turbin angin modern saat

ini, langkah tersebut menandai langkah awal Indonesia dalam menggali potensi energi angin sebagai sumber energi listrik.

Berjalannya waktu, pengembangan energi angin di Indonesia terus berkembang. Pada tahun 2010-an, beberapa proyek energi angin lebih besar telah diluncurkan di berbagai wilayah Indonesia. Sebagai contoh, pada tahun 2018, pembangkit listrik tenaga angin Sidrap di Sulawesi Selatan menjadi salah satu proyek terbesar di Indonesia, dengan kapasitas daya mencapai 75 megawatt (MW). Upaya ini sejalan dengan komitmen pemerintah Indonesia untuk meningkatkan andil energi terbarukan dalam bauran energi nasional.

2.2.1 Mekanisme Turbin Angin

Mekanisme turbin angin melibatkan konversi energi kinetik dari angin menjadi energi mekanis, dan selanjutnya, energi mekanis tersebut diubah menjadi energi listrik. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam mekanisme turbin angin:

1. Penangkapan Energi Angin

Baling-baling atau bilah pada rotor turbin angin dirancang untuk menangkap energi kinetik angin. Angin yang mengalir menyebabkan baling-baling berputar.

2. Rotasi Baling-Baling

Gerakan baling-baling yang berputar mengakibatkan rotor turbin angin berputar pada porosnya. Rotasi ini menghasilkan energi mekanis

3. Generator

Energi mekanis yang dihasilkan oleh rotasi baling-baling kemudian diteruskan ke generator yang terpasang pada turbin. Generator mengubah energi mekanis menjadi energi listrik melalui prinsip elektromagnetik.

4. Pengontrol Kecepatan Angin

Sistem pengontrol turbin angin dapat memantau kecepatan angin dan mengatur sudut baling-baling atau kecepatan putaran rotor untuk memastikan operasi yang efisien dan aman.

5. Inverter (Opsional)

Dalam sistem pembangkit listrik tenaga angin modern, arus listrik yang dihasilkan oleh generator biasanya berbentuk arus searah (DC). Inverter dapat digunakan untuk mengonversi arus searah menjadi arus bolak-balik (AC), yang sesuai dengan standar distribusi listrik umumnya. Listrik yang dihasilkan oleh turbin angin dikirimkan ke jaringan listrik untuk didistribusikan ke konsumen atau digunakan lokal.

2.2.2 Jenis-Jenis Turbin Angin

Turbin angin berdasarkan bentuk rotornya dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu turbin angin sumbu mendatar atau *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT), dan turbin angin sumbu vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Perbedaan bentuk kedua turbin angin tersebut biasanya memiliki kegunaan yang berbeda pula sesuai dengan bentuk yang dibutuhkan. Adapun perbedaan bentuk turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2. 1. Turbin Angin Sumbu Vertikal dan Horizontal

2.2.3 Turbin Angin Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya Turbin angin pertama kali ditemukan oleh GJM Darrieus tahun 1920. Keuntungan dari turbin jenis Darrieus adalah tidak memerlukan mekanisme orientasi pada arah angin (tidak perlu mendeteksi arah angin yang paling tinggi kecepatannya) seperti pada turbin propeller. Mukund R. Patel menambahkan, untuk turbin angin Darrieus-sumbu vertikal, penetapan luas sapuan rotor rumit karena melibatkan integral elips. Namun, dengan menganggap blade sebagai parabola persamaannya menjadi sederhana sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena pada saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

a. Kelebihan turbin angin sumbu horizontal

Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%

b. Kelemahan turbin angin sumbu horizontal

Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator, seperti pada gambar 2.2 berikut.

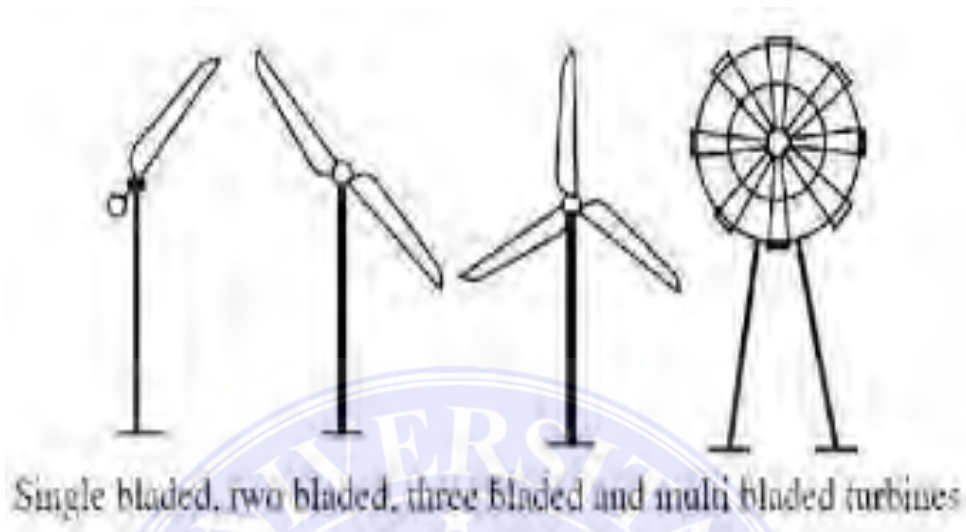


Gambar 2. 2. Jenis turbin angin sumbu horizontal

Turbin angin sumbu horizontal ialah jenis turbin angin yang paling banyak digunakan. Turbin ini terdiri dari sebuah menara yang di puncaknya terdapat sebuah baling-baling yang berfungsi sebagai rotor dan menghadap atau membelakangi arah angin.

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

Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi empat jenis yaitu seperti pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. Turbin Angin Horizontal Berdasar Jumlah Sudu

2.2.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada

ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan objek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

Adapun beberapa kelebihan turbin angin sumbu vertikal dibandingkan dengan sumbu horizontal adalah sebagai berikut.

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b. Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- c. TASV biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak pada saat angin berhembus sangat kencang.
- d. TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- e. TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah
- f. Kekurangan turbin angin sumbu vertikal
- g. TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- h. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.

- i. Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.

Jenis turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4. Jenis Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu horisontal dan turbin angin sumbu vertikal memiliki beberapa perbedaan. Perbedaan tersebut memungkinkan penggunaan yang berbeda juga yang dijabarkan pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Perbedaan turbin angin sumbu horisontal dan vertikal.

Dasar Perbedaan	Turbin Angin Sumbu Horisontal	Turbin Angin Sumbu Vertikal
Definisi	Turbin angin sumbu horizontal adalah turbin yang sumbu putarnya mendatar.	Turbin angin disebut turbin angin sumbu vertikal jika sumbu putarannya vertikal.
Nama disingkat	HAWT adalah singkatan yang digunakan untuk turbin angin sumbu horizontal.	VAWT adalah singkatan yang digunakan untuk menunjukkan turbin angin sumbu vertikal.
Sumbu rotasi terhadap aliran angin	Untuk turbin angin sumbu horizontal, sumbu putaran turbin sejajar dengan aliran angin.	Untuk turbin angin sumbu vertikal, sumbu putaran turbin tegak lurus terhadap aliran angin.
Lokasi generator listrik	Pada turbin angin sumbu horizontal, generator listrik dipasang di bagian atas menara.	Pada turbin angin sumbu vertikal, generator dipasang di atas tanah.
Lokasi gearbox	Pada HAWT, gearbox dipasang di bagian atas menara turbin.	Pada VAWT, gearbox dipasang di bagian bawah turbin.
Kebutuhan mekanisme	Pada turbin angin sumbu horizontal, diperlukan mekanisme yaw untuk mengarahkan turbin sesuai arah angin.	Turbin angin sumbu vertikal tidak memerlukan mekanisme karena menerima angin dari segala arah.
Memulai sendiri	Turbin angin sumbu horizontal dapat menyala sendiri.	Turbin angin sumbu vertikal tidak dapat menyala sendiri, oleh karena itu diperlukan mekanisme start untuk memulainya dari posisi diam.
Desain dan instalasi	Desain dan pemasangan turbin angin sumbu horizontal sangatlah rumit.	Desain dan pemasangan turbin angin sumbu vertikal relatif sederhana.
Ruang pengoperasian bilah	Turbin angin sumbu horizontal memerlukan ruang yang besar untuk pengoperasian sudunya.	Turbin angin sumbu vertikal memerlukan ruang kecil untuk pengoperasian sudu.
Ketergantungan pada arah angin	Pengoperasian turbin angin sumbu horizontal bergantung pada arah angin.	Pengoperasian turbin angin sumbu vertikal tidak bergantung pada arah angin karena menerima angin dari segala arah.
Tinggi dari tanah	Ketinggian turbin angin sumbu horizontal dari tanah cukup besar.	Turbin angin sumbu vertikal dipasang pada jarak yang relatif lebih kecil dari permukaan tanah.

Dasar Perbedaan	Turbin Angin Sumbu Horisontal	Turbin Angin Sumbu Vertikal
Kebutuhan nacelle	Dalam kasus turbin angin sumbu horizontal, nacelle berat dipasang di bagian atas menara.	Tidak diperlukan nacelle pada turbin angin sumbu vertikal.
Koefisien daya	Turbin angin sumbu horizontal mempunyai koefisien daya yang tinggi.	Turbin angin sumbu vertikal mempunyai koefisien daya yang rendah.
Rasio kecepatan tip (TSR)	Turbin angin sumbu horizontal mempunyai rasio kecepatan tip yang tinggi.	Turbin angin sumbu vertikal memiliki rasio kecepatan tip yang sangat rendah.
Kebisingan dihasilkan	Pengoperasian turbin angin sumbu horizontal menimbulkan kebisingan.	Turbin angin sumbu vertikal menghasilkan kebisingan yang relatif lebih sedikit.
Efisiensi	Efisiensi ideal turbin angin sumbu horizontal adalah sekitar 50% hingga 60%.	Efisiensi ideal turbin angin sumbu vertikal biasanya lebih dari 70%.
Hambatan bagi burung	Turbin angin sumbu horizontal menyebabkan gangguan yang tinggi bagi burung.	Turbin angin sumbu vertikal mengurangi hambatan bagi burung.
Biaya	Turbin angin sumbu horizontal lebih mahal karena desain dan pemasangannya yang rumit.	Turbin angin sumbu vertikal lebih murah karena desain dan pemasangannya cukup sederhana.

2.3 Energi Angin Sebagai Sumber Daya Energi

2.3.1 Defenisi Angin

Angin merupakan energi yang terjadi dikarenakan adanya perbedaan suhu antara udara dingin dan panas yang mengalir. (Kadir, 1995) Angin adalah udara yang bergerak sehingga memiliki kecepatan, tenaga, dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Pergerakan angin ini memiliki energi kinetik, oleh karena itu energi angin dapat dikonversi menjadi energi lainnya seperti energi listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin. Angin adalah besaran vektor yang memiliki arah dan besaran dalam bentuk

kecepatan. Dalam Satuan Internasional, satuan standar kecepatan adalah meter/detik atau m/s.

Angin seperti fluida yang lain pada umumnya mempunyai profil geseran atau profil kecepatan ketika mengalir melewati benda padat, misalnya permukaan bumi. Pada tepat di permukaan bumi, kecepatan relatif angin terhadap permukaan bumi sama dengan nol. Kemudian kecepatan ini menjadi semakin tinggi sebanding ketinggian dari permukaan bumi. Ada dua jenis profil geseran angin yang biasa digunakan untuk menghitung energi: profil geseran angin eksponensial (*exponential wind shear profile*) dan profil geseran angin kekasaran permukaan (*surface roughness wind shear stress*) (Y.Daryanto,2007).

Dalam dunia meteorologi, satuan kecepatan angin standar adalah knot, umumnya digunakan dalam penerbangan dan pelayaran. Namun pada berbagai keperluan, satuan kecepatan angin yang lain juga terkadang digunakan, antara lain:

- a. kilometer/jam (km/jam)
- b. mil/jam (mph ~ miles/hour)
- c. meter/detik (m/s ~ meter/second)

2.3.2 Energi Angin

Energi angin adalah bentuk energi yang dihasilkan oleh pergerakan udara (angin) di atmosfer Bumi. Pergerakan angin disebabkan oleh perbedaan suhu di permukaan Bumi, radiasi matahari, dan faktor-faktor meteorologis lainnya. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan daya mekanis atau energi listrik melalui penggunaan turbin angin.

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi energi listrik alami yang begitu besar, salah satunya adalah angin. Potensi angin dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi, Indonesia mempunyai kecepatan diatas 5m/detik (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, 2006). Menurut Kepala Penelitian dan Pengembangan Daerah Jawa Barat “Neni Sri Utami, 2012” Kecepatan angin di Indonesia kurang dari 5,9 per meter detik tapi bukan tidak bisa dimanfaatkan.

Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana saja, daerah daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi tetap perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya. Oleh karena itu studi potensi pemanfaatan energi angin ini sangat tepat dilakukan guna mengidentifikasi daerah-daerah berpotensi. Angin selama ini dipandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat (Y. Daryanto, 2007).

2.3.3 Rumus Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Angin

Kecepatan rata – rata angin dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \dots \dots \dots (2.1)$$

V = kecepatan angin rata-rata (m/s)

V_i = kecepatan angin yang terukur (m/s)

t_i = lama angin bertiup dengan kecepatan

$V_i n$ = banyak data pengukuran

Kecepatan angin disuatu tempat dapat dipengaruhi oleh ketinggian terhadap tanah, makin dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin makin kecil (Cahya Adijana Nugraha, 2015).

2.3.4 Perhitungan Daya yang Dihasilkan Oleh Turbin

Menurut Douglas C. Giancoli tahun 1998 Energi angin merupakan energi dengan suatu yang bergerak dengan kecepatan dan memiliki massa. Angin yang bergerak memiliki massa dan energi yang sebanding, serta kecepatan. Persamaan berikut dapat digunakan sebagai penentuan nilai potensi energi angin, yaitu:

$$E = 0,5 \cdot m \cdot V^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

E = energi potensial angin (Joule)

m = massa udara (kg)

V = kecepatan angin (m/s)

Sistem PLTB memanfaatkan energi angin untuk memutarakan turbin, sehingga dengan adanya putaran dari turbin tersebut dapat mengonversikan energi angin menjadi energi listrik. Perumusan energi kinetik pada suatu turbin sebagai berikut.

$$Ek = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

Ek = Energi Kinetik (Joule)

m = massa (kg)

v = Kecepatan Angin (m/s)

Menghitung tenaga pada permukaan baling-baling dapat diselesaikan dengan rumus sebagai berikut.

$$P = \frac{1}{5} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

P = tenaga pada permukaan baling-baling (j)

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

A = luas permukaan baling-baling (m^2)

Menghitung daya listrik dari dinamo dapat diselesaikan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$P = IKVA \cdot PF \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

IKVA = power dinamo

PF = power fektor

Menghitung arus yang dihasilkan oleh dinamo dapat diselesaikan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$I = P/V \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

I = arus listrik (A)

P = daya (watt)

V = tegangan (volt)

Untuk menyalakan lampu indikator pada alat dapat diselesaikan dengan rumus sebagai berikut.

$$P = V \cdot I \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

P = daya (watt)

V = tegangan (volt)

I = arus listrik (A)

2.4 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio (TSR) adalah parameter yang digunakan dalam konteks turbin angin untuk mengukur sejauh mana turbin tersebut dapat memanfaatkan energi angin yang masuk. *Top Speed Ratio* didefinisikan sebagai rasio antara kecepatan ujung baling-baling (*tip speed*) turbin angin dan kecepatan angin yang masuk ke turbin. Tujuannya adalah untuk menentukan sejauh mana baling-baling turbin dapat memanfaatkan energi angin yang tersedia. Rumus *perhitungan Top Speed Ratio* (TSR) adalah sebagai berikut :

$$TSR = V_{tip} / V_{wind} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

TSR : *Top Speed Ratio*

V_{tip} : Kecepatan ujung baling-baling (*tip speed*) turbin angin. Kecepatan ini diukur dalam meter per detik (m/s).

V_{wind} : Kecepatan angin yang masuk ke turbin angin. Kecepatan ini juga diukur dalam meter per detik (m/s).

Untuk menghitung kecepatan ujung baling-baling (V_{tip}), Anda dapat menggunakan rumus berikut :

$$V_{tip} = \omega \cdot R \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

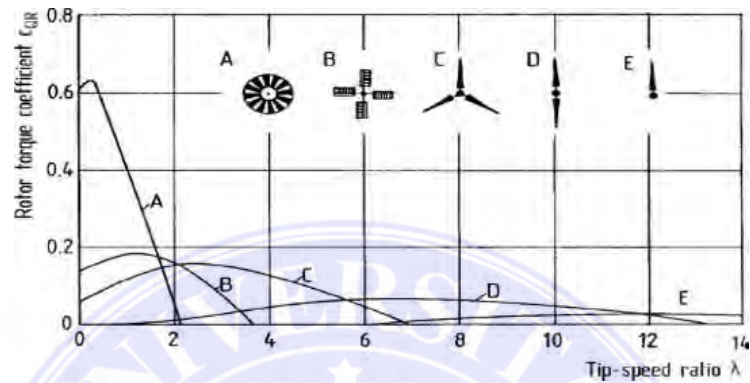
ω : Kecepatan sudut baling-baling dalam radian per detik.

R : Jarak dari pusat rotasi turbin angin ke ujung baling-baling (radius) dalam meter.

Efisiensi turbin angin biasanya mencapai puncak pada TSR sekitar 7 hingga

8. Jika TSR terlalu rendah, turbin tidak dapat menangkap sejumlah besar energi

angin yang masuk. Di sisi lain, jika TSR terlalu tinggi, turbin mungkin tidak dapat menangkap dan mengubah sebagian besar energi angin, sehingga efisiensinya menurun. Oleh karena itu, pemilihan TSR yang sesuai dengan desain turbin angin adalah kunci untuk mencapai kinerja yang optimal, seperti pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5. Berbagai Jenis Rotor Turbin Angin.

2.5 Teori Momentum Elemen Betz

Teori Momentum Elemen Betz, dikembangkan oleh fisikawan Jerman (Albert Betz pada tahun 1919), memberikan dasar untuk memahami batasan teoretis terhadap efisiensi konversi energi dari angin menjadi energi mekanis oleh turbin angin. Teori ini umumnya diaplikasikan pada turbin angin dengan satu elemen, seperti turbin angin *horizontal axis*. Prinsip utama dari teori ini adalah bahwa saat angin melewati turbin, tekanan udara di belakang turbin akan berkurang. Tekanan ini berkurang karena energi kinetik angin diubah menjadi energi mekanis. Namun, tidak mungkin mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi mekanis, karena itu akan menghasilkan kevakuman di belakang turbin.. Oleh karena itu, Sebagian energi kinetik harus tetap ada dalam bentuk energi kinetik setelah melewati turbin. (Fadila et al., 2019)

Berikut adalah poin-poin utama dari Teori Momentum Elemen Betz :

1. Batas Betz :

Menurut Teori Betz, efisiensi maksimal yang dapat dicapai oleh turbin angin adalah sekitar 59,3%. Artinya, tidak mungkin untuk mengekstrak lebih dari 59,3% dari energi kinetik angin yang melalui daerah swept (daerah yang dicakup oleh baling-baling) turbin angin.

2. Prinsip Kuantitas Momentum

Teori ini mengandalkan prinsip kuantitas momentum. Energi kinetik dari angin yang melewati turbin diubah menjadi energi mekanis pada baling-baling turbin. Betz menggunakan hukum kekekalan momentum untuk menghitung sejauh mana energi kinetik dapat dikonversi.

3. Optimalisasi *Design*

Teori Betz juga memberikan informasi tentang desain optimal baling-baling turbin angin untuk mencapai efisiensi maksimal. Berdasarkan teori ini, semakin besar daerah swept baling-baling, semakin besar efisiensi yang dapat dicapai.

4. Distribusi Kecepatan Angin

Teori Betz juga memberikan gambaran tentang distribusi kecepatan angin di sekitar turbin. Setelah angin melewati turbin, kecepatannya berkurang, dan teori ini memberikan formula untuk menghitung kecepatan angin setelah melewati turbin.

2.6 Efisiensi Turbin Angin

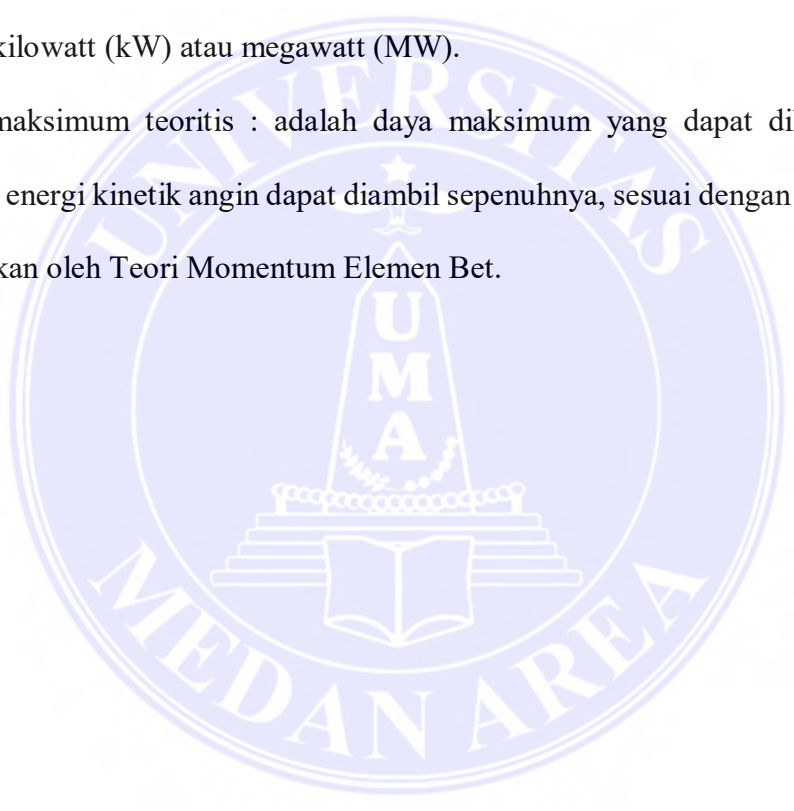
Efisiensi turbin angin adalah parameter yang mengukur sejauh mana turbin mampu mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanis yang dapat digunakan. Efisiensi ini sering diukur sebagai rasio antara daya keluaran yang

dihasilkan oleh turbin dengan daya yang dapat dihasilkan jika seluruh energi kinetik angin yang melalui area swept (daerah yang dicakup oleh baling-baling) turbin dapat diambil sepenuhnya. Formula umum untuk menghitung efisiensi turbin angin (η) adalah :

$$\eta = \text{Daya keluaran turbin} / \text{Daya maksimum teoritis} \dots \dots \dots (2.10)$$

Daya keluaran turbin : adalah daya mekanis yang dihasilkan oleh turbin dan diukur dalam kilowatt (kW) atau megawatt (MW).

Daya maksimum teoritis : adalah daya maksimum yang dapat dihasilkan jika seluruh energi kinetik angin dapat diambil sepenuhnya, sesuai dengan batasan yang ditetapkan oleh Teori Momentum Elemen Bet.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Adapun Waktu penelitian dimulai dari pengajuan sampai persetujuan judul skripsi, pengambilan data, pengolahan data, hingga penyusunan skripsi dinyatakan selesai.

3.1.2 Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di CV. IRA Publishing Perum Graha Garuda Mas Blok II No. 39 Dusun V Desa Sigara-Gara Kecamatan Patumbak Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, Kode Pos: 20361. Dikarenakan pada tempat penelitian memiliki potensi angin yang stabil dan kecepatan angin yang bagus.

Adapun Jadwal Penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1. Jadwal Rencana Penelitian

Aktifitas	2024											
	Juli	Agst	Sept	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
	123 4	123 4	123 4	123 4	123 4	123 4	123 4	123 4	123 4	123 4	123 4	123 4
Pengajuan Judul	■											
Penulisan Proposal		■										
Seminar Proposal			■									
Proses Penelitian				■								
Pengolahan Data					■							
Penyelesaian Laporan						■						
Seminar Hasil							■					
Evaluasi dan Persiapan Sidang Sarjana								■	■	■	■	■

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

1. Turbin Angin Sumbu Vertikal / *VAWT*

Turbin Angin Sumbu Vertikal / *VAWT* tipe savonius merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. Pada penelitian ini alat yang akan diteliti yaitu Turbin Angin Sumbu Vertikal.



Gambar 3.1. Turbin Angin Sumbu Vertikal
2. Sudu

Sudu berfungsi sebagai penangkap angin, sudu yang digunakan ada 3 variasi mulai dari 500mm, 750mm, dan 1000mm



Gambar 3.2. Gambar Sudu Mulai dari Sudu 500mm, Sudu 750mm, dan Sudu 1000mm

2. Tabel Tahapan Pengujian

Tabel 3.2. Tabel Tahapan Pengujian

Ketinggian Sudu	Variabel Bebas	Variabel Terikat
-----------------	----------------	------------------

Sudu 500mm	Kecepatan angin	- Daya Angin - Daya Turbin - Efisiensi Turbin
Sudu 750mm	Kecepatan angin	- Daya Angin - Daya Turbin - Efisiensi Turbin
Sudu 1000mm	Kecepatan angin	- Daya angin - Daya Turbin - Efisiensi Turbin

3.2.2 Alat

1. Anemometer

Pada penelitian ini digunakan untuk membantu dalam menentukan kecepatan angin yang tepat dan akurat dalam waktu sekali setiap 5 menit selama 1 jam. Anemometer terlihat pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.3. Anemometer digital

2. Digital Tachometer

Pada penelitian ini digunakan untuk mengukur putaran *blade* yang tepat dan akurat dalam waktu sekali setiap 5 menit selama 1 jam. proses penelitian terlihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4. Digital Tachometer

3. Dimmer

Berfungsi Sebagai simulasi dan pengatur kecepatan angin yang akan di keluarkan melalui blower. Terlihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5. Dimmer

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 penggunaan energi listrik beserta cara kerja turbin angin sumbu vertikal.

2. Metode Wawancara

Mengadakan tanya jawab dengan pihak-pihak terkait untuk mendapatkan keterangan yang lebih mendalam tentang potensi energi angin pada turbin angin sumbu vertikal.

3. Dokumentasi

Teknik pengumpulan data dengan dokumen pada penelitian ini, merupakan pelengkap dari penggunaan metode observasi dan wawancara, yaitu dengan cara mempelajari data-data tertulis berupa buku-buku serta mempelajari dokumen tertulis lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

3.3.1 Analisis Data

Prosedur analisis data dalam penelitian ini dilakukan dalam tahapan sebagai berikut:

1. Metode Observasi (Pengamatan)

Melakukan pengamatan secara langsung proses terjadinya perubahan pada kecepatan angin dan putaran blade pada setiap 5 menit sekali selama 1 jam.

2. Metode Pengambilan Data

Selama pengamatan berlangsung pengambilan data perubahan pada kecepatan angin dan putaran blade menggunakan alat anemometer dan tachometer.

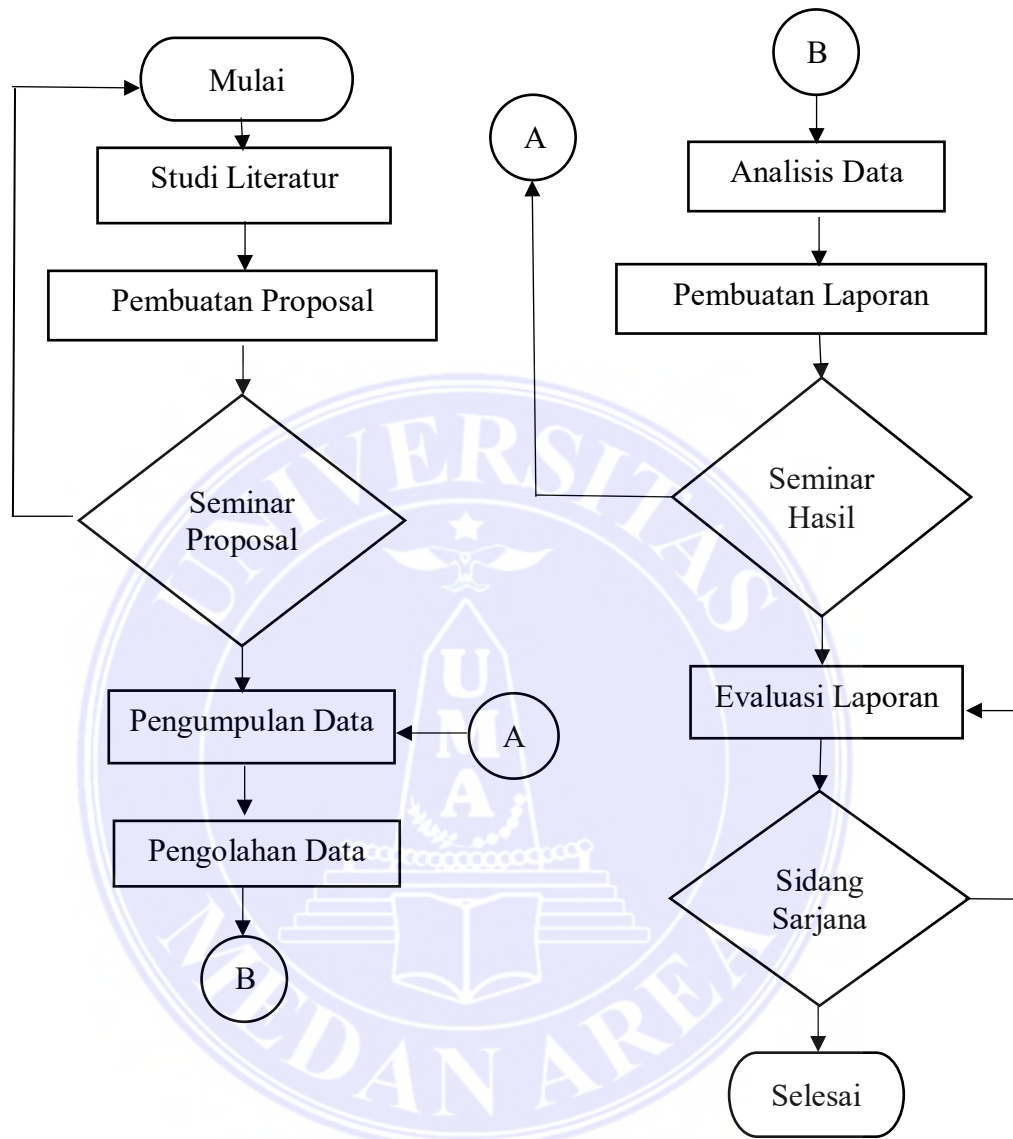
3. Metode Analisis Data

Ketika analisis penelitian sudah dilakukan data yang sudah didapatkan tersebut digunakan untuk mencari perhitungan daya turbin dan efisiensi turbin yang dihasilkan oleh turbin angin.

3.4 Populasi dan Sampel

Dalam studi ini, Pengujian dilakukan di desa sigara-gara, kecamatan patumbak, kabupaten deli serdang, sumatera utara atau pada lokasi tempat pembuatan atau penempahan turbin angin mabar kabupaten medan deli, sumatera utara. angin memiliki kecepatan angin yang sangat beragam dari suatu tempat ke tempat lain serta dari waktu ke waktu, sehingga hasil pengujian yang didapat berbeda beda pada setiap 5 menit selama 1 jam.

3.5 Prosedur Kerja



Gambar 3.6. Diagram Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dari judul proposal yang ditulis oleh penulis maka kesimpulan yang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kecepatan angin:

Pada pengujian dimmer 5 sudu 500mm,750mm,dan 1000mm tercatat variasi kecepatan angin dengan nilai rata-rata, maksimum, dan minimum yang berbeda-beda untuk setiap sudunya. Kecepatan angin rata-rata tertinggi tercatat pada sudu 1000mm dengan kecepatan angin 11,3 m/s , sedangkan rata-rata kecepatan angin terendah tercatat pada sudu 500mm dengan kecepatan angin 9,2 m/s. Jadi dengan hasil demikian kesimpulannya adalah semakin panjang sudu maka semakin tinggi pula kecepatan angin yang didapat.

2. Daya Turbin:

Pada pengujian dimmer 5 sudu 500mm,750mm,dan 1000mm tercatat hasil daya turbin dengan nilai rata-rata, maksimum, dan minimum yang berbeda-beda untuk setiap sudunya. Daya turbin rata-rata terendah tercatat pada sudu 500mm dengan daya turbin 28,3watt , sedangkan rata-rata daya turbin tertinggi tercatat pada sudu 1000mm dengan daya turbin 52,4 watt. Jadi dengan hasil yang demikian kesimpulannya adalah semakin panjang sudu menghasilkan daya turbin semakin tinggi juga.

3. Efisiensi turbin angin:

Pada pengujian dimmer 5 sudu 500mm,750mm,dan 1000mm tercatat hasil efisiensi turbin dengan nilai rata-rata, maksimum, dan minimum yang berbeda-beda untuk setiap sudunya. Efisiensi turbin rata-rata tercatat pada sudu 500mm efisiensi turbin 33,6 , sedangkan rata-rata efisiensi turbin tercatat pada sudu 750mm dengan efisiensi turbin 33,6%. Dan rata-rata efisiensi turbin tercatat pada sudu 1000mm dengan efisiensi turbin 33,6%
Jadi dengan hasil yang demikian kesimpulannya adalah semakin panjang sudu tidak mempengaruhi efisiensi tubin angin.

5.2 Saran

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

1. Pada penelitian seperti ini seharusnya dilakukan di tempat dataran tinggi yang luas yang memiliki kecepatan angin kencang dan konstant dan jauh dari bangunan rumah,gedung serta pepohonan.Dengan tujuan mencapai nilai hasil daya yang dihasilkan kinerja turbin angin lebih besar dan perbedaan penambahan sudu semakin terlihat jelas.
2. Selain itu, pada penelitian selanjutnya agar menggunakan generator,design turbin angin yang lebih modern dan terbaru.karena pada tahun tahun berikutnya kemungkinan semua hasil yang tertera pada hasil turbin langsung terhubung otomatis ke komputer maupun laptop dan tidak memakai alat digital anemometer ataupun digital tachometer.
3. Dalam proses penelitian,desain sudu yang digunakan tidak simetris atau bentuknya tidak sempurna dalam hal ini sangat disayangkan pada pekerja

pembuat sudu tersebut tidak fokus maupun tidak bekerja dengan baik dalam pembuatan sudu tersebut. Untuk kedepannya semoga para pekerja di indonesia mampu fokus dalam membuat suatu rancangan agar bentuk sesuai dan diharapkan konsumen.

5.3 Hasil Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal Sudu 500mm
Dimmer 5 Sudu 500mm

Waktu (m)	Kecepatan Angin m/s	Putaran Blade (rpm)
5	9,3	115,3
10	8,7	111,2
15	9,5	114,3
20	9,5	115,7
25	9,6	119,5
30	9,5	111,5
35	8,4	110,3
40	9,5	115,4
45	9,5	115,7
50	9,7	111,8
55	9,6	117,9
60	8,5	114,3
Nilai Rata-rata		
Waktu (m)	Kecepatan angin (m/s)	Putaran blade (rpm)
60	9,2	114,40
Maximun dan minimum		
Max	9,5	119,5
Min	8,4	110,3

Tabel 5.3.2 Hasil Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal Sudu 750mm

Dimmer 5 Sudu 750mm		
Waktu	Kecepatan Angin	Putaran Blade
(m)	m/s	(rpm)
5	10,6	115,7
10	10,9	123,4
15	10,5	108,4
20	11,1	107,2
25	10,6	120,7
30	9,8	125,1
35	11,7	130,2
40	10,3	100,1
45	10,5	103,2
50	11,8	100,6
55	10,6	110,2
60	10,3	101,7
Nilai Rata-rata		
Waktu	Kecepatan angin	Putaran blade
(m)	(m/s)	(rpm)
60	10,7	111,3
Maximun dan minimum		
Max	11,8	130,2
Min	9,8	100,1

Tabel 5.2.3 Hasil Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal Sudu 1000mm
Dimmer 5 Sudu 1000mm

Waktu (m)	Kecepatan Angin m/s	Putaran Blade (rpm)
5	10,3	99,2
10	11,5	110,5
15	10,4	110,1
20	13,2	110,6
25	10,7	99,1
30	10,7	110,3
35	11,8	98,3
40	15,6	98,6
45	10,2	99,4
50	11,0	98,2
55	10,6	114,3
60	10,1	111,6
Nilai Rata-rata		
Waktu (m)	Kecepatan angin (m/s)	Putaran blade (rpm)
60	11,3	105
Maximum dan minimum		
Max	15,6	114,3
Min	10,1	98,2

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 (Vertikal Axis Wind Turbin)* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/26353>.
- Betz, A. (1919). *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen*. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht.
- Cahya, A.N. (2015). *Analisis Kecepatan Angin dan Efisiensi Turbin Angin di Berbagai Ketinggian*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Daryanto, Y. (2007). *Energi Terbarukan: Potensi dan Aplikasinya di Indonesia*. Jakarta: PT Gramedia.
- Douglas, C. Giancoli. (1998). *Physics: Principles with Applications (5th ed.)*. New Jersey: Prentice Hall.
- 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>
- Kadir, A. (1995). *Energi: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: UI Press.
- Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). (2006). *Kajian Potensi Energi Angin di Indonesia*. Jakarta: LAPAN.
- Mohammad Adam, Partaonan Harahap, & M. Ridho Nasution. (2019, Juli). *Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator DC, II*, 30-36. <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE/article/view/3648>.
- Neni S. U. (2012). *Potensi dan Pemanfaatan Energi Angin di Jawa Barat*. Bandung: Balitbangda Jawa Barat.
- Pour La Cour. (1890). *Windmill Power for Electricity Generation*. Copenhagen: Danish Academy of Science.

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://repository.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://repository.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/26347>



L

AMPIRAN DOKUMENTASI

