

**PENGARUH JUMLAH *BLADE* TERHADAP KEMAMPUAN
TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL**

SIDANG SKRIPSI

OLEH:

**ICHSAN PRAMUDIYAS ZAIN
198130100**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 8/6/26

Access From (repositori.uma.ac.id)8/6/26

HALAMAN JUDUL

PENGARUH JUMLAH *BLADE* TERHADAP KEMAMPUAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL

SIDANG SKRIPSI

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

Oleh :

ICHSAN PRAMUDIYAS ZAIN
198130100

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

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Kemampuan
Turbin Angin Sumbu Vertikal
Nama Mahasiswa : Ichsan Pramudiyas Zain
NIM : 198130100
Fakultas : Teknik Mesin

Disetujui Oleh

(Komisi Pembimbing)



Dr. Jufrizal, ST., MT.

Pembimbing I



Dr. H. Supriatno, ST., MT.
Dean Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus : 19 Mei 2025

HALAMAN PERNYATAAN

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

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

Medan, Maret 2025



Ichsan Pramudiyas Zain

198130100

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

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

Nama : Ichsan Pramudiyas Zain
NIM : 198130100
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 : Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Kemampuan 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 : Maret 2025

; menyatakan



Ichsan Pramudiyas Zain
198130100

ABSTRAK

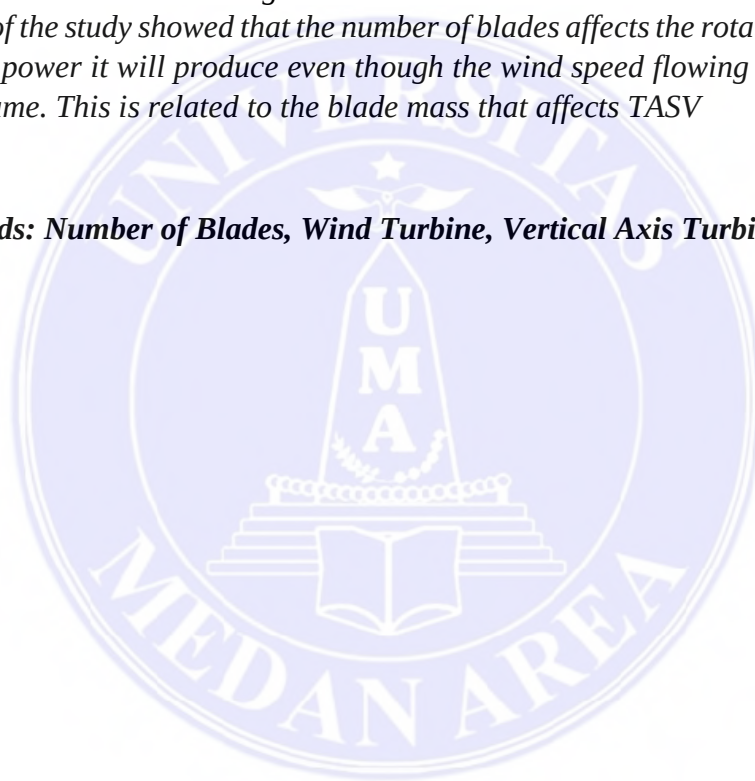
Energi angin merupakan salah satu energi yang berpotensi besar menjadi sumber utama energi terbarukan. Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi energi yang dibangkitkan adalah jumlah bilah angin. Penelitian ini dilaksanakan di Desa Sigara-gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, Sumatra Utara, yang memiliki kecepatan angin rendah. Metode penelitian yang dilakukan pada proses penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, yaitu metode kualitatif. Dimana metode penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengobservasi dan analisis turbin angin sumbu vertikal (vertical axis wind turbine). Alat-alat seperti anemometer dan thakometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan putaran turbin. Bahan-bahan seperti generator dan blower juga digunakan dalam pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Jumlah blade mempengaruhi putaran suatu turbin dan daya yang akan dihasilkannya walaupun kecepatan angin yang mengalir ke turbin sama besar. Hal ini terkait dengan massa blade yang mempengaruhi TASV

Kata kunci: Jumlah Blade, Turbin Angin, Turbin Sumbu Vertikal.

ABSTRACT

Wind energy is one of the energies that has great potential to become the main source of renewable energy. One of the factors that affects the efficiency of the energy generated is the number of wind blades. This research was conducted in Sigara-gara Village, Patumbak District, Deli Serdang Regency, North Sumatra, which has low wind speed. The research method used in this research process to obtain better results is the qualitative method. Where this research method aims to analyze and observe and analyze vertical axis wind turbines. Tools such as anemometers and thakometers are used to measure wind speed and turbine rotation. Materials such as generators and blowers are also used in testing. The results of the study showed that the number of blades affects the rotation of a turbine and the power it will produce even though the wind speed flowing into the turbine is the same. This is related to the blade mass that affects TASV

Keywords: *Number of Blades, Wind Turbine, Vertical Axis Turbine.*



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga Proposal ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ialah Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan judul “Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Kemampuan Turbin Angin Sumbu Vertikal”.

Terimakasih penulis sampaikan kepada bapak Dr. Jufrizal, ST, MT selaku pembimbing yang telah banyak membantu dalam penyusunan proposal ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya, ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada saudara kandung saya dan teman teman yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian.

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

Penulis

Ichsan Pramudiyas Zain
198130100

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Angin.....	5
2.2 Turbin Angin.....	9
2.3 Teori Momentum <i>Elementer Betz</i>	25
2.4 TSR (Tip Speed Ratio)	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	27
3.2 Bahan dan Alat.....	28
3.3 Metode Penelitian	30
3.4 Populasi dan Sampel	31
3.5 Prosedur Kerja	32
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil pengujian dimmer satu sampai lima pada sudu 3	34
4.2 Hasil pengujian dimmer satu sampai lima pada sudu 4	40
BAB V PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di Atas Tanah	8
Tabel 2.2. Kelas Angin dan Kecepatan Angin	9
Tabel 2.3. Perbandingan antara turbin angin	19
Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir	27
Tabel 3.2 Variabel bebas dan terikat	30



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jenis turbin angin berdsarakan porosnya.	13
Gambar 2.2. Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara	16
Gambar 2.3. Turbin Angin Sumbu Horizontal.	16
Gambar 2.4. Turbin angin sumbu horizontal berdasarkan jumlah sudu.	17
Gambar 2.5. Turbin Angin Sumbu Vertikal.	17
Gambar 2.6. Turbin angin darrieus	18
Gambar 2.7. Turbin angin savonius	19
Gambar 2.8. Blade turbin angin sumbu vertikal	20
Gambar 2.9. Generator	22
Gambar 2.10. Prinsip kerja generator	24
Gambar 3.1. Turbin Angin Sumbu Vertikal 3 Dan 4	28
Gambar 3.2. Anemometer	28
Gambar 3.3. Tachometer	29
Gambar 3.4. Generator	29
Gambar 3.5. Blower	29
Gambar 3.6. Diagram Alir Penelitian.	33
Gambar 4.1. Grafik Kecepatan Angin Dimmer1	34
Gambar 4.2. Grafik Putaran Blade Dimmer 1	35
Gambar 4.3. Grafik Kecepatan Angin Dimmer 2	35
Gambar 4.4. Grafik Putaran Blade Dimmer 2	36
Gambar 4.5. Grafik Kecepatan Angin Dimmer 3	36
Gambar 4.6. Grafik Putaran Blade Dimmer 3	37
Gambar 4.7. Grafik Kecepatan Angin Dimmer 4	38
Gambar 4.8. Grafik Putaran Blade Dimmer 4	38
Gambar 4.9. Grafik Kecepatan Angin Dimmer 5	39
Gambar 4.10. Grafik Putaran Blade Dimmer 5	39
Gambar 4.11 Grafik Kecepatan Angin Dimmer1	40
Gambar 4.12 Grafik Putaran Blade Dimmer 1	41
Gambar 4.13. Grafik Kecepatan Angin Dimmer 2	42
Gambar 4.14. Grafik Putaran Blade Dimmer 2	43
Gambar 4.15. Grafik Kecepatan Angin Dimmer 3	43
Gambar 4.16. Grafik Putaran Blade Dimmer 3	44
Gambar 4.17. Grafik Kecepatan Angin Dimmer 4	45
Gambar 4.18. Grafik Putaran Blade Dimmer 4	46
Gambar 4.19. Grafik Kecepatan Angin Dimmer 5	46
Gambar 4.20. Grafik Putaran Blade Dimmer 5	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dimmer 1 sudu 3

Lampiran 2 Dimmer 2 sudu 3

Lampiran 3 Dimmer 3 sudu 3

Lampiran 4 Dimmer 4 sudu 3

Lampiran 5 Dimmer 5 sudu 3

Lampiran 6 Dimmer 1 sudu 4

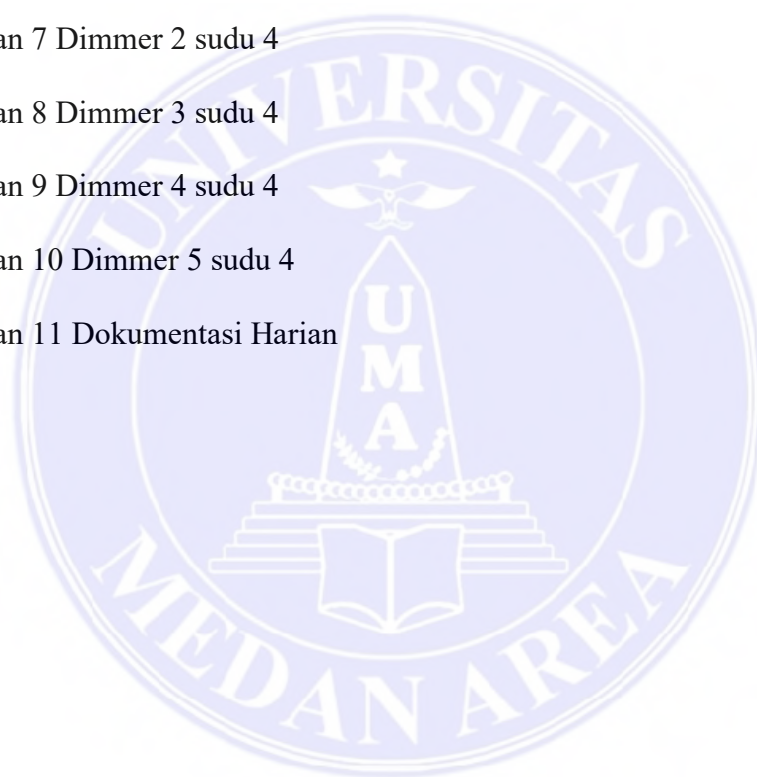
Lampiran 7 Dimmer 2 sudu 4

Lampiran 8 Dimmer 3 sudu 4

Lampiran 9 Dimmer 4 sudu 4

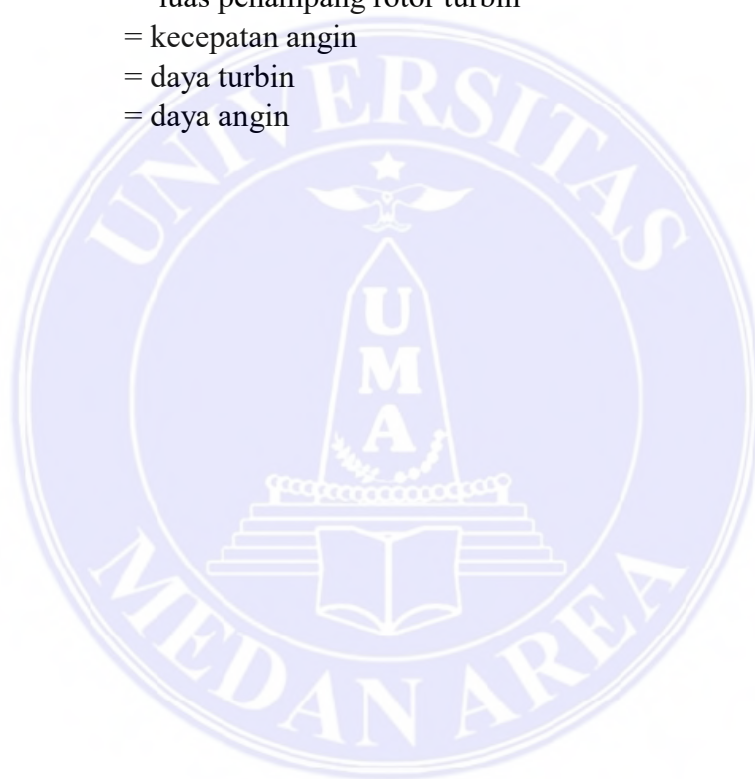
Lampiran 10 Dimmer 5 sudu 4

Lampiran 11 Dokumentasi Harian



DAFTAR NOTASI

TASV	= turbin angin sumbu vertikal
TASH	= turbin angin sumbu horizontal
m	= massa udara yang bergerak (kg)
V	= kecepatan angin (m/s)
λ	= Tip Speed Ratio
n	= Putaran (rpm)
D	= Diameter rotor (m)
v	= Kecepatan angin (m/s)
P	= kerapatan udara
A	= luas penampang rotor turbin
V_3	= kecepatan angin
P_t	= daya turbin
P_a	= daya angin



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi yang meningkat setiap tahunnya dapat memicu permasalahan seperti berkurangnya sumber energi fosil. Sumber energi fosil merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui yang saat ini penggunaannya masih menjadi sumber energi yang paling sering digunakan untuk mengoperasikan mesin-mesin penghasil energi listrik. (Bono & Suwoto, 2018).

Energi angin muncul sebagai sumber energi alternatif sekaligus sumber energi terbarukan (Adriani, 2018). Indonesia sebagai Negara kepulauan memiliki wilayah pesisir yang potensial untuk pengembangan listrik tenaga angin (PLTB). Karena sifatnya yang terbarukan (*renewable*) sudah jelas akan memberikan keuntungan karena angin tidak akan habis digunakan tidak seperti pada penggunaan bahan bakar fosil. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan (Rachman, 2012).

Energi angin merupakan salah satu energi yang berpotensi besar menjadi sumber utama energi terbarukan. Dengan bantuan sistem, energi angin dapat dimanfaatkan untuk merubah energi gerak menjadi energi listrik yang mana angin digunakan sebagai medianya. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan pembangkit listrik yang bebas emisi yang tidak berdampak buruk terhadap lingkungan. Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai

bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Dari sisi kebijakan, untuk mengatasi ketersediaan energi Indonesia melalui PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. (KESDM, 2019).

Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin belum dapat langsung dipergunakan, oleh karena itu diperlukan mesin yang dapat mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga dapat diteruskan menjadi energi listrik. Alat ini dinamakan dengan turbin angin atau sering disebut juga dengan kincir angin (Lentera Angin Nusantara, 2014). Turbin angin dapat dibedakan berdasarkan arah sumbu rotasi rotor yaitu turbin angin sumbu vertikal (TASV), turbin angin sumbu horizontal (TASH) (Napitupulu, 2013).

Namun, agar dapat dihasilkan energi yang maksimal, maka energi angin yang ditangkap harus dapat dikonversikan secara maksimal untuk menghasilkan energi listrik (Misbahuddin, 2017). Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi energi yang dibangkitkan adalah jumlah bilah angin. Oleh sebab itu dalam paper ini akan diulas bagaimana pengaruh jumlah blade terhadap putaran turbin, berapa kecepatan angin yang bisa dimanfaatkan untuk dapat memutar turbin, dan bagaimana proses pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik.

Dalam penelitian ini fokus pada pembangkit listrik tenaga angin dengan posisi turbin sumbu vertikal yang akan diuji menurut data kecepatan angin di desa Sigara gara, Kecamatan Patumbak, Kabupaten Deli Serdang, provinsi Sumatera Utara. Turbin angin dirancang dengan tiga bilah *blade* yang terbuat dari bahan pipa pvc.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah ini adalah

- a. Bagaimana pengaruh jumlah blade terhadap kemampuan turbin angin sumbu vertikal.
- b. Bagaimana mengetahui daya angin dari alat turbin angin sumbu vertikal dengan kecepatan angin.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Menganalisis pengaruh jumlah *blade* terhadap kemampuan Turbin Angin Sumbu Vertikal.
- b. Mengetahui daya angin dari alat turbin angin sumbu vertikal dengan kecepatan angin.

1.4 Hipotesis Penelitian

Pengaruh jumlah blade terhadap kemampuan Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan 3 buah *blade* dan 4 buah *blade*, diharapkan dapat memenuhi tujuan yang ingin dicapai seperti pengaruh jumlah blade terhadap kemampuan Turbin Angin Sumbu Vertikal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat teoritis penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan ilmu kepada pembaca mengenai turbin angin sumbu vertikal.

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

Manfaat praktis penelitian ini adalah :

1) Bagi Peneliti

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

2) Bagi masyarakat

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Energi angin merupakan bentuk energi yang tersedia di alam. Angin yang bergerak memiliki energi. Sejak dahulu, energi angin telah banyak dimanfaatkan manusia. Energi ini mempunyai dua sisi yang bertolak belakang. Pada satu sisi, angin bisa menjadi musibah, seperti angin badai dan topan. Di sisi lain, angin bisa menjadi sumber tenaga yang dibutuhkan manusia, untuk membantu dan mempermudah kegiatannya.

2.1.1. Definisi Angin

Angin adalah gerakan udara yang terjadi diatas permukaan bumi. Angin terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara, ketinggian dan temperatur. Semakin besar perbedaan tekanan udara maka kecepatan angin akan meningkat. Selain itu kecepatan angin pada siang hari akan lebih besar daripada malam hari karena pada waktu siang hari udara relatif lebih tinggi dibanding dengan malam hari. Didaerah khatulistiwa, udara menjadipanas mengembang dan menjadi ringan, naik keatas bergerak kedaerah yang lebih dingin, udaranya menjadi dingin dan turun kebawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara, berupa perpindahan dari kutub utara ke khatulistiwa menyusuri permukaan bumi, dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis khatulistiwa kembali kekutub utara melalui lapisan udara yang lebih tinggi.

Angin adalah salah satu energi yang mudah didapatkan, tapi masih jarang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Sebelumnya, angin dimanfaatkan

sebagai irigasi, pencacah hasil panen, pengering dan, lain-lain. Seiring dengan semakin berkurangnya cadangan energi fosil maka anginpun dijadikan sebagai sumber energi sebagai pembangkit listrik atau biasa dikenal dengan PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu). Secara umum pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian. Padahal kapasitas pembangkit listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen pertahun. Dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48 GW pada akhir tahun 2004 tersebar dalam 74.400 turbin angin disekitar 60 negara (Zenal & Heris, 2018)..

2.1.2. Karakteristik Angin

Adanya perbedaan kecepatan udara disebabkan variasi temperatur menimbulkan gerakan udara dari satu ketinggian ke ketinggian yang lain, sedang arahnya dipengaruhi oleh kecepatan bumi pada porosnya. Hal ini yang mengakibatkan perbedaan kecepatan angin di sekitar garis khatulistiwa dengan daerah di kutub bumi. Hal itulah yang menyebabkan perbedaan kecepatan angin di Indonesia dengan kecepatan angin di beberapa negara Eropa. Di daerah tropis akan terjadi angin dari daerah maksimum subtropis ke daerah minimum equator. Angin ini disebut angin pasat timur laut di belahan bumi utara dan angin pasat tenggara di belahan bumi selatan. Ini berarti arah angin biasanya menuju equator. Angin pasat banyak membawa uap air karena berhembus dilaut lepas. Akan tetapi pada beberapa wilayah dipermukaan bumi angin pasat tersebut mengalami perubahan arah akibat pengaruh lingkungan setempat. Di Indonesia yang secara geografis terletak diantara dua benua dan dua samudra serta letak matahari yang berubah setiap enam bulan berada di utara dan enam bulan berikutnya berada di selatan,

maka angin pasat tersebut mengalami perubahan menjadi angin musson barat dan angin musson timur. Kecepatan angin juga dipengaruhi oleh beberapa faktor setempat, misalnya bukit-bukit, pohon-pohon dan variasi temperatur setempat (I Kade, 2014)..

Beberapa karakteristik angin di Indonesia antara lain:

- a) Arah angin yang sering berubah
- b) Sering terjadi turbulensi
- c) Kecepatan rata-rata angin relatif rendah

Jika kita ingin memanfaatkan energi angin harus diperhatikan :

- a) Didaerah mana kincir angin tersebut ditempatkan
- b) Berapa kisaran jumlah angin dalam setahun pada daerah tersebut
- c) Bagaimana pola distribusi kecepatan angin didaerah tersebut

Untuk mengetahui laju rata-rata angin suatu daerah diperlukan data kecepatan angin dari BMKG.

2.1.3. 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 & Abd, 2022).

Angin adalah udara yang bergerak karena perbedaan tekanan. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Energi angin dapat digunakan untuk menggerakkan turbin di pembangkit listrik tenaga angin. Memanfaatkan energi angin dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mengurangi dampak terhadap lingkungan (Indriani dkk, 2019).

2.1.4. Kecepatan Energi Angin

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

Angin dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu angin darat, angin laut, angin gunung, angin lembah, angin monsun, angin fohn, angin muson timur dan barat. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yaitu anemometer. Prinsip kerja anemometer adalah hembusan angin menyentuh baling-baling

anemometer. Berikutnya adalah putaran baling-baling diubah menjadi besaran (Murniati, 2022). Tingkat kecepatan dari angin dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di Atas Tanah

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

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

Tenaga Angin)

Skala di atas merupakan tingkat kecepatan angin dilihat dari fenomena yang terjadi pada benda-benda sekitar. Kelas angin dan kecepatan angin dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kelas Angin dan Kecepatan Angin

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

2.2 Turbin Angin

Kincir angin telah digunakan setidaknya selama 3000 tahun, terutama untuk menggiling biji-bijian atau memompa air, sedangkan dikapal layar angin menjadi sumber penting kekuatan lebih lama lagi. Sejak awal abad ke 13 sumbu horizontal kincir angin adalah bagian integral dari ekonomi pedesaan dan hanya tidak digunakan lagi, munculnya mesin berbahan bakar fosil yang murah dan kemudian penyebaran elektrifikasi pedesaan. Pengguna turbin angin untuk menghasilkan listrik dapat ditelusuri kembali ke akhir abad 19 dengan generator kincir angin DC 12 kW, dibangun oleh Brush di AS dan penelitian yang dilakukan oleh La Cour di Denmark. Namun, untuk sebagian besar abad ke 20 ada sedikit minat menggunakan energi angin selain untuk pengisian baterai untuk tempat tinggal terpencil dan

sistem ini berdaya rendah dengan cepat diganti begitu akses ke jaringan listrik menjadi tersedia. Satu pengecualian penting adalah turbin angin Smith-Putnam 1250 kW dibangun di AS pada tahun 1941. Mesin yang luar biasa ini memiliki rotor baja sepanjang 53 m diameter, control pitch rentang penuh dan blade yang mengepak untuk mengurangi beban, meskipun blade spar gagal secara dasyat pada tahun 1945 itu tetap menjadi turbin angin terbesar yang pernah dibangun selama 40 tahun (Putnam, 1948). Golding (1955) dan Shepherd (1994) memberikan gambaran yang menarik sejak awal pengembangan turbin angin. Mereka mencatat diameter 100 kW 30 m turbin angin balaclava di USSR pada tahun 1931 dan Andrea Enfield 100 kW desain pneumatik berdiameter 24 m dibangun di Inggris pada awal 1950-an, didalam bilah berongga turbin, terbuka di ujungnya digunakan untuk menarik udara melalui menara dimana turbin lain menggunakan generator. Di Denmark 200 kW berdiameter 24 m mesin Gedser dibangun pada tahun 1956.

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

Ada banyak ketidakpastian tentang arsitektur mana yang mungkin terbukti paling hemat biaya dan beberapa konsep inovatif diselidiki sepenuhnya. Di Kanada, turbin angin Darrieus sumbu vertikal 4 MW dibangun dan konsep ini juga diselidiki

dalam uji sumbu vertikal Sandia berdiameter 34 m yang difasilitasi oleh Amerika Serikat. Di Inggris desain sumbu vertikal alternatif menggunakan lurus bilah untuk memberikan rotor tipe “H” dan 500 kW diusulkan oleh Dr Peter Musgrove.

Pada tahun 1981 sebuah turbin angin sumbu horizontal 3 MW yang inovatif dibangun dan diuji di Amerika Serikat, menggunakan transmisi hidrolis dan sebagai alternatif dari drive yaw seluruh struktur di orientasikan ke arah angin. Itu pilihan terbaik untuk jumlah bilah tetap tidak jelas untuk sementara waktu dan besar turbin dibangun dengan satu, dua, dan tiga bilah. Banyak informasi ilmiah dan teknik penting diperoleh dari ini, program penelitian yang didanai oleh pemerintah dan prototipe umumnya berfungsi sebagai dirancang, namun harus diakui bahwa masalah pengoperasian sangat besar tidak berawak dan dalam iklim angin sulit diperkirakan dan keandalan prototipe tidak baik. Pada saat yang sama multi prototipe megawatt sering dibangun oleh perusahaan swasta dengan dukungan negara yang cukup besar, membangun jauh lebih kecil seringkali lebih sederhana. Khususnya mekanisme dukungan keuangan di California pada pertengahan 1980-an menghasilkan pemasangan sejumlah besar turbin kecil 100 kW. Sejumlah desain ini juga menderita dari berbagai masalah tetapi, umumnya lebih mudah diperbaiki dan memodifikasi. Yang disebut konsep Denmark muncul dari tiga bilah, rotor yang diatur kiosk dan drive train mesin induksi berkecepatan tetap. Arsitektur yang tampak terbukti sangat sukses dan sekarang telah berhasil diimplementasikan pada turbin 60 m dan pada peringkat 1,5 MW (Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, 2001).

2.2.1 Definisi Turbin Angin

Turbin angin adalah alat untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Secara garis besar turbin angin digolongkan ke dalam dua macam tipe, yaitu horizontal axis wind turbine (hawt) dan vertical axis wind turbine (vawt). Kincir angin poros vertikal mempunyai sumbu vertikal dengan sudu paralel dengan sumbunya. Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, selanjutnya putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

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

Kinerja turbin angin berhubungan dengan 3 jenis skala kecepatan angin, yaitu kecepatan *cut-in*, kecepatan optimal, dan kecepatan *cut-off*. Kecepatan *cut-in* adalah kecepatan terendah diperlukan untuk menghasilkan daya generator. Kecepatan optimal adalah kecepatan angin menghasilkan tenaga maksimal (Napitupulu & Siregar, 2013). Sebaliknya kecepatan *cut-off* adalah kecepatan maksimum turbin sedang berjalan, yang biasanya dipilih untuk memastikan

keamanan konstruksi turbin angin. Turbin angin dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu *Horizontal Wind Turbin* dan *Vertical Wind Turbin*.

Berdasarkan arah sumbu gerakannya, turbin angin terbagi menjadi dua, yaitu: turbin angin sumbu horisontal dan vertikal. Sedangkan berdasarkan prinsip gaya aerodinamik yang terjadi, turbin angin dibagi menjadi dua, yaitu jenis: lift dan drag. Pengelompokan berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud adalah apakah turbin angin menangkap energi angin dengan hanya memanfaatkan gaya drag dari aliran udara yang melalui rotor atau memanfaatkan gaya lift yang dihasilkan dari aliran udara yang melalui bentuk aerodinamis sudu. Dapat dikatakan terdapat turbin angin yang menggunakan rotor jenis drag dan turbin angin yang memanfaatkan rotor jenis lift. Dua kelompok ini memiliki perbedaan yang jelas pada kecepatan putar rotornya. Rotor turbin angin jenis drag berputar dengan kecepatan putar rendah sehingga disebut juga turbin angin putaran rendah. Rotor turbin angin jenis lift pada umumnya berputar pada kecepatan putar tinggi bila dibandingkan dengan jenis drag sehingga disebut juga sebagai turbin angin putaran tinggi.

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).



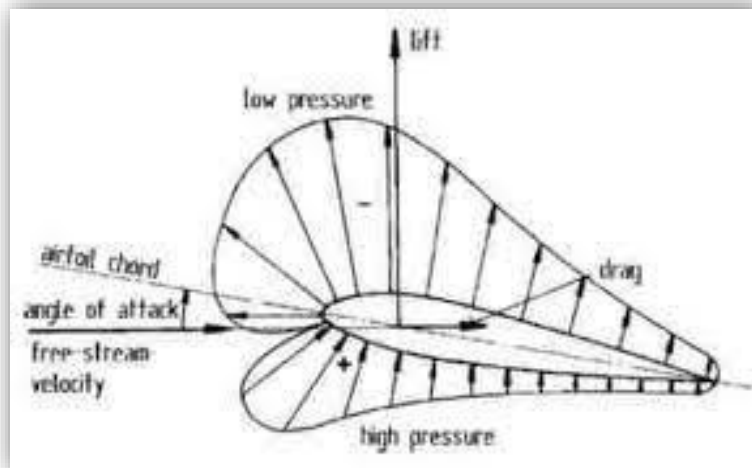
Gambar 2.1. Jenis turbin angin berdsarakan porosnya.

Sumber : (Napitupulu & Siregar, 2013)

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

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

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



Gambar 2.2. Gaya aerodinamis rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara
(Sumber : Napitupulu & Siregar, 2013).

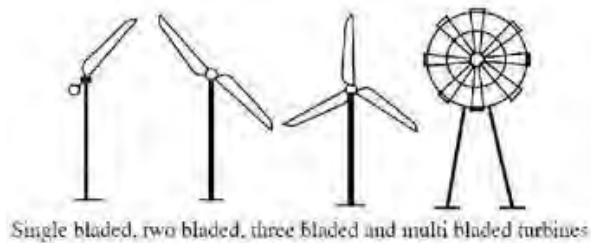


Gambar 2.3. Turbin Angin Sumbu Horizontal.
(Sumber : Jumlah Blade dkk., 2018).

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

1. Turbin angin satu sudu (*single blade*)

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



Gambar 2.4. Turbin angin sumbu horizontal berdasarkan jumlah sudu.

(Sumber : Indriani dkk, 2019.)

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

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

Turbin angin sumbu vertikal memiliki poros atau Sumbu rotor utama tegak lurus. turbin angin sumbu vertikal dapat menggunakan angin dari arah yang berbeda. Pada turbin angin sumbu vertikal, generator dan *gearbox* dapat ditempatkan di bawah atau ditanah. Gambar 2.4 menunjukkan turbin angin sumbu vertikal.



Gambar 2.5. Turbin Angin Sumbu Vertikal.

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

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

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

a) Turbin Angin *Darrieus*

Turbin angin *Darrieus* adalah jenis turbin angin sumbu vertikal yang dikenal dengan desain berbentuk seperti roda dengan baling-baling melengkung yang berputar sekitar sumbu vertikalnya. Turbin ini dinamai dari penemunya, *Georges Darrieus*, seorang insinyur Prancis, yang mengembangkan desain ini pada tahun 1931 (Lubis, 2018).

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



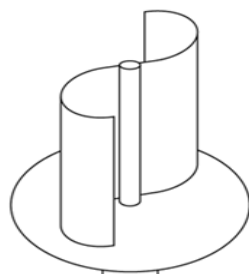
Gambar 2.6. Turbin angin *darrieus*

(Sumber : Jumlah Blade dkk., 2018).

b) Turbin Angin *Savonius*

Turbin angin *Savonius* pertama yang diperkenalkan oleh para insinyur Finlandia *Sigurd J. Savonius* 1922. Turbin angin sumbu vertikal ini terdiri dari dua

baja setengah berbentuk silinder runtuh (atau elips). sehingga membentuk huruf "S" (Napitupulu & Siregar, 2013). Turbin angin savonius dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7. Turbin angin *savonius*

(Sumber : Estrada dkk.)

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

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

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

2.2.3 Komponen Utama Turbin Angin Sumbu Vertikal

Komponen utama dari turbin angin sumbu vertikal (*vertical Axis Wind Turbin*) terdiri dari poros, sudu, bantalan (*bearing*), dan sistem transmisi. Adapun

komponen utama dari turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) adalah sebagai berikut :

1. *Blade* (Baling-baling)

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

Beberapa karakteristik penting dari sudu turbin angin sumbu vertikal adalah:

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

posisi vertikalnya memungkinkan bagian yang bergerak lebih dekat ke tanah.

Blade turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Blade* turbin angin sumbu vertikal

Sumber : (Maulana & Sidiq, 2018).

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

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

angin pada berbagai kecepatan angin. Sistem kontrol yang tepat dapat membantu meningkatkan efisiensi turbin.

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

2. Sumbu (*Axis*)

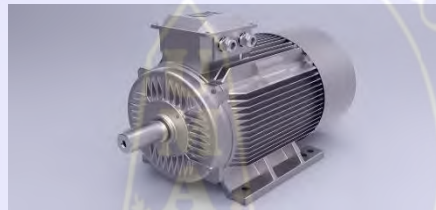
Poros adalah struktur utama yang menopang baling-baling dan menghubungkannya dengan generator atau mekanisme penggerak lainnya. Sumbu (*Axis*) harus dirancang untuk mampu menahan beban dan tekanan yang dihasilkan oleh putaran baling-baling. Sumbu (*Axis*) juga harus memiliki kekuatan dan daya tahan yang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

3. Generator atau Mekanisme Penggerak

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

Generator yang biasa digunakan di turbin angin sumbu vertikal adalah generator sinkron (*synchronous generator*) atau induksi (*asynchronous generator*). Tugas keduanya adalah mengubah putaran bilah turbin angin menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Generator sinkron bekerja dengan cara menghasilkan arus listrik yang frekuensinya sesuai dengan frekuensi jaringan listrik tempatnya terhubung. Ini berarti bahwa kecepatan rotasi generator harus tetap konstan agar

keluaran listrik memiliki frekuensi yang tepat. Generator sinkron cocok untuk aplikasi di mana turbin angin dioperasikan dengan kecepatan tetap. Sementara generator induksi, juga dikenal sebagai generator asinkron, lebih fleksibel dalam hal kecepatan rotasi. Mereka dapat menghasilkan arus listrik meskipun kecepatan rotasi berubah-ubah. Generator induksi biasanya lebih mudah diatur untuk beroperasi pada berbagai kecepatan angin. Namun, mereka mungkin memerlukan kontrol tambahan untuk memastikan bahwa keluaran listrik sesuai dengan frekuensi jaringan. Pemilihan generator tergantung pada desain turbin angin, karakteristik angin di lokasi, serta kebutuhan dan tujuan penggunaan listrik yang dihasilkan. generator dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9. Generator

Prinsip generator arus bolak-balik dengan berdasarkan hukum *Faraday* yang menyatakan bahwa sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik, besar tegangan generator bergantung pada :

- a. kecepatan putaran (N)
- b. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluk (Z)
- c. Banyak nya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (ϕ).

Gambar prinsip kerja generator dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Prinsip kerja generator

(Sumber : Fadila dkk., 2019)

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

rangka dan pondasi digunakan untuk menopang seluruh struktur turbin angin. rangka harus dirancang untuk menahan beban dan tekanan yang dihasilkan oleh baling-baling dan poros pusat. Pondasi harus dirancang untuk menahan beban turbin angin dan mampu menstabilkan turbin angin di lokasi yang dipilih.

5. Sistem Kontrol

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

2.2.4 Prinsip Konversi Energi Angin

Energi kinetik dalam benda bergerak dirumuskan dengan persamaan :

$$E = \frac{1}{2} MV^2$$

Dimana, m: massa udara yang bergerak (kg) V: kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Untuk menganalisis seberapa besar energi angin yang dapat diserap oleh turbin angin, digunakan teori momentum elementer betz (Mathew, 2006)

2.3 Teori Momentum *Elementer Betz*

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

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

2.4 TSR (*Tip Speed Ratio*)

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

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

$$\lambda = \frac{\pi \times \eta \times D}{V \times 60} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- λ = *Tip Speed Ratio*
- n = Putaran (rpm)
- D = Diameter rotor (m)
- v = Kecepatan angin (m/s)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Tempat penelitian dan perakitan dilaksanakan di Bengkel Bubut Sudarman Medan, Jalan Mangan 8 Mabar Hilir.

3.1.2 Waktu Penelitian

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

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Kegiatan	Sept 2024	Okt 2024	Nov 2024	Des 2024	Janu 2025	Feb 2025
Pengajuan Judul						
Penulisan Proposal						
Penyelesaian Proposal						
Seminar Proposal						
Proses Penelitian						
Pengolahan Data						
Penyelesaian Laporan						
Seminar Hasil						
Evaluasi dan Persiapan Sidang						
Sidang Sarjana						

3.2 Bahan dan Alat

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



Gambar 3.1 Turbin angin sumbu vertikal 3 dan 4 buah *blade*.

Adapun alat-alat yang digunakan dapat dilihat dibawah ini:

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 3.2 Anemometer

b. Tachometer

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



Gambar 3.3 Tachometer

c. Generator

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



Gambar 3.4 Generator

d. Blower

Blower adalah Mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu, juga sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu.



Gambar 3.5. Blower

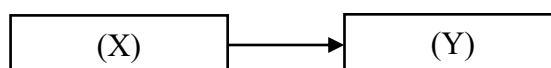
3.3 Metode Penelitian

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

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

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui perbedaan jumlah *blade* terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal di bengkel bubut sudarman medan Jl. Mangan. Kegiatan ini dilakukan dalam penelitian meliputi untuk mengetahui kecepatan angin dan putaran *blade*. Pengambilan data dapat diukur melalui alat anemometer dan tachometer (Waruwu, 2023).

Dalam penelitian ini, peneliti ini melakukan penelitian pengaruh jumlah *blade* terhadap kemampuan turbin angin sumbu vertikal. Pada penelitian ini terdapat satu variabel bebas (independen) dan satu variabel terikat (dependen).



Keterangan:

X : Jumlah *blade*

Y : Kemampuan turbin

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

Tabel 3.2 Variabel bebas dan terikat

Variabel bebas	Variabel terikat
Jumlah blade	Kemampuan turbin
Kecepatan angin	Putaran <i>blade</i>

3.4 Populasi dan Sampel

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang di inginkan, yang menjadi populasi penelitiannya yaitu seluruh proses analisis turbin angin sumbu vertikal atau pokok yang menjadi fokus tujuan penelitian ini meliputi analisis hasil pengujian. Sampel penelitian adalah Sebagian kecil elemen yang diambil dari populasi penelitian yang di ambil secara acak berdasarkan ciri tertentu yang selaras dengan tujuan penelitian. Dalam penelitian ini terdapat beberapa variabel sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel ini disebut variabel pengaruh, sebab berfungsi mempengaruhi variabel lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tinggi blade, lebar blade dan tip speed ratio. Variasi tinggi yaitu 100 cm, 120 cm dan 140 cm, lebar yaitu 20 cm, 30 cm dan 40 cm dan tip speed ratio yang digunakan adalah 1, 2 dan 3.

2. Variabel terikat

Variabel ini dipengaruhi oleh variabel lain, karenanya juga disebut variabel yang dipengaruhi atau variabel terpengaruhi. Variabel terikat ini adalah daya turbin dan koefisien daya.

3. Variabel kontrol

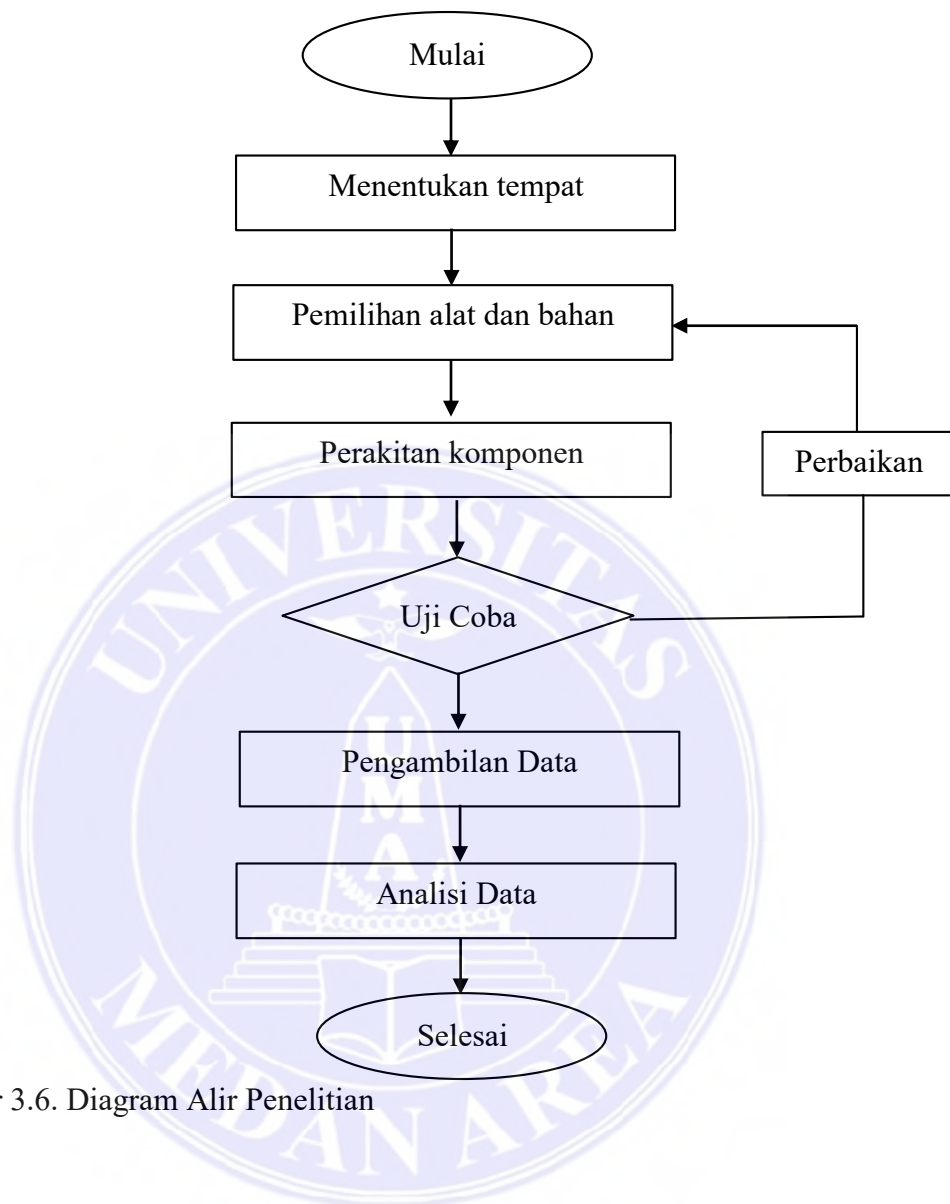
Variabel kontrol merupakan variabel yang dapat dikendalikan oleh moderator. Dimana variabel kontrol itu fungsinya ikut mempengaruhi sehingga

pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak di pengaruhi oleh faktor– faktor lain yang tidak termasuk dalam penelitian. Variabel kontrol disebut pembanding hasil penelitian eksperimen yang dilakukan. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah jumlah blade (empat) buah.

3.5 Prosedur Kerja

- a. Langkah pertama siapkan alat ukur seperti anemometer dan tachometer.
- b. Kemudian siapkan alat turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari 3 dan 4 buah *blade*.
- c. Setelah itu hidupkan blower arahkan ke turbin angin agar beroperasi.
- d. Setelah beroperasi turbin angin nya, penulis mulai mengamati turbin tersebut.
- e. Yang penulis amati adalah hasilnya seperti kecepatan angin, dan putaran blade. Dengan alat bantu seperti stopwatch untuk membantu mengamati waktu.
- f. Disini penulis mengukur mulai dimmer 1 sampai dimmer 5.
- g. Setelah mendapatkan semua hasil data yang di ukur atau diamati, lalu lanjut ke tahap pembuatan tabel dan grafik.

3.6 Diagram Alir Penelitian.



Gambar 3.6. Diagram Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Jumlah blade mempengaruhi putaran suatu turbin dan daya yang akan dihasilkannya walaupun kecepatan angin yang mengalir ke turbin sama besar. Hal ini terkait dengan berat blade yang mempengaruhi alat tersebut.
2. Diketahui daya angin pada dimmer satu sampai lima pada alat turbin angin sumbu vertikal dengan *blade* 4 sudu, hasil yang tertinggi pada dimmer lima dengan kecepatan angin 10,2 m/s dan putaran blade 119,6 rpm, yang menghasilkan daya turbin sebesar 104,729 watt. Hal ini sangat berbeda dengan varian *blade* 3.

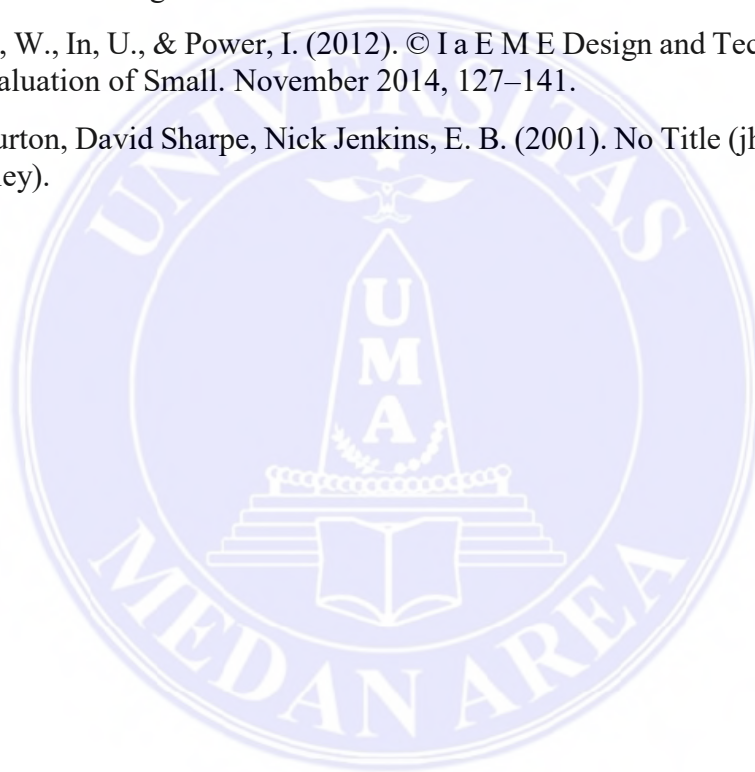
5.2 Saran

Data yang dimiliki masih minim, sehingga disarankan untuk adanya penelitian lebih lanjut. Selain itu penelitian dapat menggunakan desain turbin yang berbeda atau barang yang lebih ringan dan tahan lama untuk mengetahui kinerja turbin angin sumbu vertikal, karena barang yang saat ini digunakan tidak memuaskan hasil yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bono And G. Suwoto. (2018). “Pembuatan Turbin Angin Sumbu Vertikal Dengan Variasi Jumlah Sudu Dan Sistem Buka-Tutup Sirip,” *eksergi j. Tek. Energi*, Vol. 14, No. 2, pp. 31– 35.
- KESDM. (2019). *utlook Energi Indonesia 2019*. (Jakarta : Biro Komunikasi, Layanan Informasi Publik & KerjaSama KESDM RI).
- Adriani. (2018). “Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Generator Dinamo Drillini Terhadap Empat Sumbu Horizontal”. *Jurnal instek*, P-ISSN: 2541-1179, E-ISSN: 2581-1711, volume 3 No.1.
- Rachman Akbar. (2012). “Analisis dan Pemetaan Potensi Energi Angin di Indonesia”. (Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia).
- Lentera Angin Nusantara. (2014). “Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin dan Standard Operational Procedure”. (Ciheras, PT. Lentera Bumi Nusantara).
- Napitupulu H F, Mauritz F. (2013). “Uji Eksperimental Dan Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Jumlah Sudu Terhadap Daya Dan Putaran Turbin Angin Vertikal Axis Savonius Dengan Menggunakan Sudu Pengarah”. *Jurnal Dinamis* ISSN 0216-7492, Volume II, No.12.
- Misbahudin, dkk. (2017). “Analisa Pengaruh Perbedaan Variasi Jumlah Sudu Untuk Optimalisasi Daya Listrik Pada Turbin Angin Savonius Bertingkat”. (Malang : Fakultas Teknik UNISMA).
- Mulkan, A., & Abd, M. (2022). Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik UNIDA*, 3(1).
- Indriani, A., Manurung, G., & Daratha, N. (2019.). *Perancangan Turbin Sumbu Horizontal dan Sumbu Vertikal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Studi Kasus di Kota Bengkulu)*.
- I Kade Wiratama, I Made Mara, L. Edsona Furqan Prina. (2014). Pengaruh Jumlah Blade Dan Variasi Panjang Chord Terhadap Performansi Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH). *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*, Volume 4 No. 2.
- Zenal Abidin, Heris Syamsuri. (2018). Uji Eksperimental Pengaruh Length Blade Pada Daya Putar Sistem Konversi Energi Turbin Angin Vertikal. *Jurnal Media Teknologi* : Vol 6 No 1.
- Murniati, M. E. (2022). Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Pembangkit Enegi Listrik Tenaga Angin Di Daerah Banyuwangi Kota Menggunakan Database Online BMKG. *Jurnal Surya Energy*, 6(1).<https://doi.org/10.32502/jse.v6i1.3364>
- Lubis, Z. (2018). Metode Baru Merancang Sistemmekanis Kincir Angin Pembangkit Listrik Tenaga Angin. In *Journal of Electrical Technology* (Vol. 3, Issue 3).

- Maulana, Y., & Sidiq, A. (2018). Perancangan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Jenis Straight Blade. *Jurnal JIEOM*, 1(2), 35–38.
- Fadila, A., Zakaria, I., Fauzan, M., & Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang Jl Sudarto, J. H. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga Dengan Profil NACA 0006. In *Eksergi Jurnal Teknik Energi* (Vol. 15, Issue 3).
- Junaidin, B. (2017). Perancangan Purwarupa Vertical Axis Wind Tubine (Vawt) Skala Kecil. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 9(2), 29. <https://doi.org/10.28989/angkasa.v9i2.177>
- Estrada, L. M. E., Mt, S. T., Natsir, A., & Mt, S. T. (n.d.). Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil Design Vertical Axis Wind Turbine Type (Savonius) As Generating Electric Wind Power Small Scale.
- Turbine, W., In, U., & Power, I. (2012). © I a E M E Design and Techno- Economic Evaluation of Small. November 2014, 127–141.
- Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, E. B. (2001). No Title (jhon Wiley (ed.); wiley).



Lampiran 1

Hari : Sabtu
Tanggal : 23 november 2024
Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan JI, Mangaan 8 Hilir

Dimmer 1 sudu 3

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	4.4	41.8
10	4.5	41.7
15	4.2	40.3
20	4.9	41.8
25	4.8	41.2
30	4.8	41.0
35	4.5	40.8
40	4.8	40.9
45	4.9	40.6
50	4.9	40.3
55	4.6	40.4
60	4.3	40.2
RATA- RATA	4.6	40.9
MAX	4.9	41.8
MIN	4.2	40.2

Lampiran 2

Hari : Kamis

Tanggal : 28 november 2024

Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan Jl, Mangan 8 Hilir

Dimmer 2 sudu 3

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	6.3	64.9
10	6.3	64.9
15	6.4	65.0
20	6.4	65.1
25	6.5	64.9
30	6.5	64.1
35	6.3	64.8
40	6.4	64.9
45	6.1	64.7
50	6.3	64.9
55	6.7	65.2
60	6.4	65.1
RATA RATA	6.4	64.9
MAX	6.7	65.2
MIN	6.1	64.1

Lampiran 3

Hari : Senin

Tanggal : 2 Desember 2024

Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan JI, Mangan 8 Hilir

Dimmer 3 sudu 3

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	7.9	81.7
10	7.8	81.6
15	8.1	81.7
20	8.1	81.8
25	8.1	81.5
30	7.9	81.4
35	7.6	80.6
40	7.6	80.6
45	7.2	80.7
50	8.1	81.5
55	7.3	80.6
60	7.4	80.7
RATA RATA	7.8	81.2
MAX	8.1	81.8
MIN	7.2	80.6

Lampiran 4

Hari : Kamis

Tanggal : 5 Desember 2024

Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan Jl, Mangan 8 Hilir

Dimmer 4 sudu 3

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	8.6	94.9
10	8.6	95.2
15	8.5	95.1
20	8.9	95.4
25	8.9	95.6
30	8.7	95.6
35	8.6	94.2
40	8.7	94.8
45	8.5	94.9
50	8.9	94.9
55	8.8	95.7
60	8.4	95.5
RATA RATA	8.7	95.2
MAX	8.9	95.7
MIN	8.4	94.2

Lampiran 5

Hari : Senin

Tanggal : 9 Desember 2024

Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan Jl, Mangan 8 Hilir

Dimmer 5 sudu 3

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	9.9	120.1
10	10.1	119.2
15	10.2	120.2
20	9.9	117.6
25	9.9	118.4
30	10.1	119.7
35	9.9	119.7
40	10.0	120.2
45	10.1	120.4
50	10.2	120.5
55	9.8	119.8
60	9.9	119.4
RATA RATA	10.0	119.6
MAX	10.2	120.5
MIN	9.8	117.6

Lampiran 6

Hari : Jumat
Tanggal : 13 Desember 2024
Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan JI, Mangan 8 Hilir

Dimmer 1 sudu 4

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	4.1	40.3
10	4.3	40.4
15	4.2	40.2
20	4.2	40.6
25	4.4	40.8
30	4.5	40.3
35	4.2	40.6
40	4.4	40.9
45	4.9	40.7
50	4.5	40.7
55	4.2	40.1
60	4.3	40.3
RATA RATA	4.3	40.5
MAX	4.9	40.9
MIN	4.1	40.1

Lampiran 7

Hari : Selasa
Tanggal : 17 Desember 2024
Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan JI, Mangan 8 Hilir

Dimmer 2 sudu 4

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	6.3	64.7
10	6.3	64.6
15	6.5	64.2
20	6.5	64.2
25	6.4	64.3
30	6.4	64.3
35	6.1	64.1
40	6.2	63.7
45	6.2	63.7
50	6.5	64.3
55	6.5	64.3
60	6.7	65.2
RATA RATA	6.4	64.3
MAX	6.7	65.2
MIN	6.1	63.7

Lampiran 8

Hari : Sabtu
Tanggal : 21 Desember 2024
Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan JI, Mangan 8 Hilir

Dimmer 3 sudu 4

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	7.9	81.4
10	7.8	81.3
15	7.9	81.4
20	8.1	81.1
25	8.1	81.1
30	7.7	81.3
35	7.8	81.3
40	7.8	81.3
45	7.9	81.2
50	7.9	80.7
55	7.9	80.7
60	7.7	81.6
RATA RATA	7.9	81.2
MAX	8.1	81.6
MIN	7.7	80.7

Lampiran 9

Hari : Jumat
Tanggal : 27 Desember 2024
Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan JI, Mangan 8 Hilir

Dimmer 4 sudu 4

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	8.5	94.5
10	8.5	94.4
15	8.6	94.4
20	8.6	94.3
25	8.7	94.3
30	8.8	94.2
35	8.9	94.1
40	8.9	94.1
45	8.6	94.3
50	8.5	94.4
55	8.6	94.5
60	8.6	94.5
RATA RATA	8.7	94.3
MAX	8.9	94.5
MIN	8.5	94.1

Lampiran 10

Hari : Senin
Tanggal : 30 Desember 2024
Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan JI, Mangan 8 Hilir

Dimmer 5 sudu 4

WAKTU	KECEPATAN	PUTARAN BLADE
S	(M/S)	RPM
5	9.9	119.4
10	10.1	120.1
15	10.2	120.1
20	9.9	118.4
25	9.9	117.8
30	10.1	119.4
35	9.9	119.6
40	10.0	119.6
45	10.1	120.2
50	9.9	120.4
55	10.0	120.1
60	9.9	119.6
RATA RATA	10.0	119.6
MAX	10.2	120.4
MIN	9.9	117.8

Lampiran 11

Hari : Senin

Tanggal : 30 Desember 2024

Tempat Penelitian : Bengkel bubut Sudarman, Medan JI, Mangaan 8 Hilir



Cara mengukur putaran blade menggunakan tachometer



Cara mengukur kecepatan angin menggunakan alat anemometer

