

**PENGARUH KECEPATAN ANGIN TERHADAP ENERGI
LISTRIK YANG DIHASILKAN OLEH PROTOTIPE TURBIN
ANGIN SUMBU VERTIKAL**

SKRIPSI

**OLEH
ADITYA GUNAWAN
198130026**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/8/25

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

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

HALAMAN JUDUL

PENGARUH KECEPATAN ANGIN TERHADAP ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN OLEH PROTOTIPE TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh

Gelar Sarjana di Program Studi Fakultas Teknik

Universitas Medan Area

Oleh :

ADITYA GUNAWAN

198130026

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 6/8/25

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

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Energi Listrik
yang Dihasilkan Oleh Prototipe Turbin Angin Sumbu
Vertikal
Nama Mahasiswa : Aditya Gunawan
NPM : 198130026
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
(Komisi Pembimbing)


Dr. Jufriзал, ST, MT
Pembimbing I


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


Dr. Iswandi, ST, MT
Ka. Prodi

Tanggal Lulus : 13 Februari 2025



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

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Aditya Gunawan

NPM : 198130026

Program Studi : Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tugas Akhir

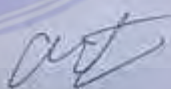
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan Prototipe Turbin Sumbu Vertikal.

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

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan, Pada Tanggal : 15 Mei 2025

Yang menyatakan

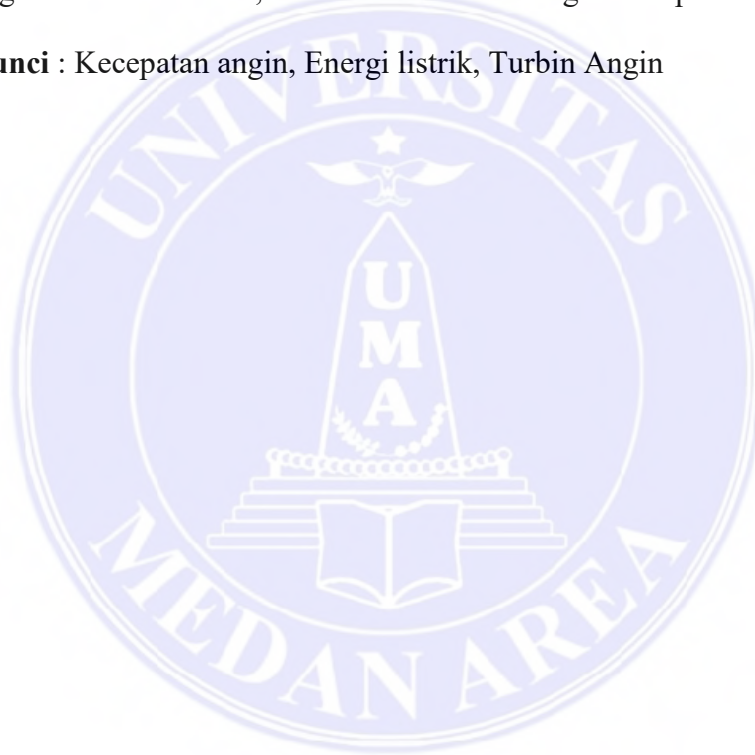


Aditya Gunawan

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu vertikal. Metode penelitian menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan kecepatan angin dan mengukur daya listrik yang dihasilkan. Daya yang dihasilkan berkisar 0,001154 W hingga 0,030784 W, dengan kecepatan angin berkisar 4,7 m/s hingga 9,5 m/s. Dari data tersebut telah ditentukan hasil daya turbin berkisar 0,001154 W hingga 0,02882 W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan, dengan peningkatan kecepatan angin yang diikuti oleh peningkatan daya listrik. Penelitian ini menunjukkan bahwa turbin angin sumbu vertikal dapat menjadi pilihan yang baik untuk pembangkit listrik alternatif, terutama di daerah dengan kecepatan angin rendah.

Kata kunci : Kecepatan angin, Energi listrik, Turbin Angin



ABSTRACT

This research aims to determine the effect of wind speed on the electrical energy generated by a vertical axis wind turbine. The research method used was an experimental method by varying wind speed and measuring the generated electrical power. The results showed that wind speed had an effect on the generated electrical power, with an increase in wind speed followed by an increase in electrical power. This research showed that vertical axis wind turbines could be a good option for alternative power generation, especially in areas with low wind speeds.

Keywords: Wind speed; electrical energy; wind turbine



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Aek Nauli pada tanggal 06 Oktober 2000 dari ayah Gunawan dan ibu Susianti. Penulis merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Tahun 2019 penulis lulus dari SMKN 1 Pangkatan dan terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Selama mengikuti perkuliahan pada tahun ajaran 2019 sampai tahun ajaran 2023. Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PKS Pagar Merbau Lubuk Pakam.



KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayah Nya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Yang mana sudah menjadi kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Adapun judul tugas akhir ini ialah : “Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan oleh Prototipe Turbin Angin Sumbu Vertikal”.

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

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

1. Gunawan dan Susianti 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 Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M. Eng, M. Sc dan Jufrizal, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran kepada penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

3. Bapak Dr. Iswandi ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi.
4. Segenap Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Birokrasi Administrasi Fakultas Teknik.
5. Hifshal Gunawan dan Bunga Salsabila Gunawan selaku saudara kandung yang memberikan dorongan, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman terbaikku Ichsan Pramudyas Zain, Handy Zulfikri, Arga sidabutar dan Kawan-kawan seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2019 yang telah memberikan dorongan, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Terimah kasih kepada ikatan mahasiswa mesin Universitas Medan Area, pemeritahan Fakultas Teknik yang telah memberi dorongan, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir.
8. Penulis juga banyak mengucapkan terimakasih kepada CV. IRA Publishing yang telah berkenan menjadi tempat riset bagi penulis.

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

Medan, 15 Mei 2025

Aditya Gunawan

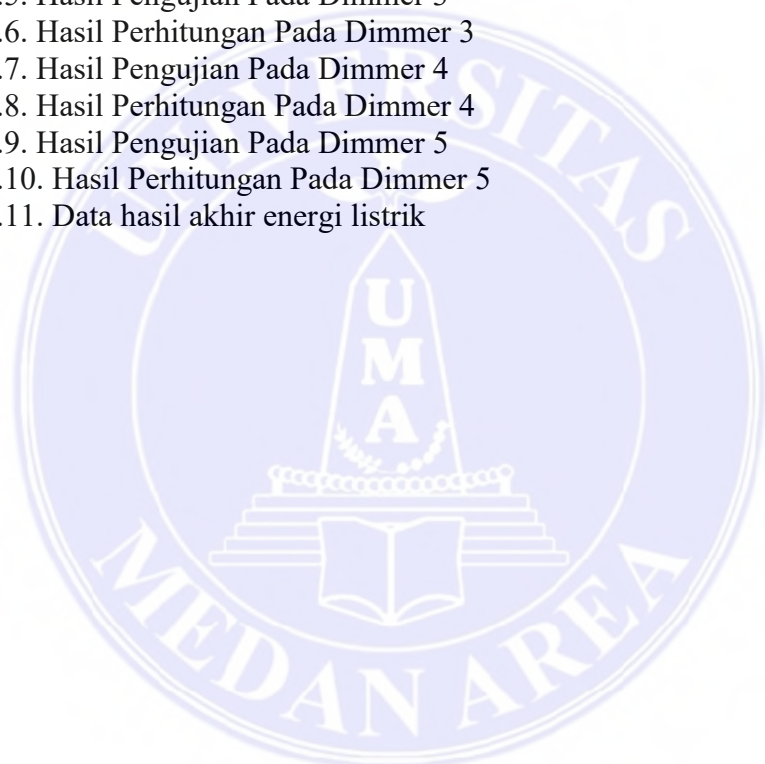
198130026

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Hipotesis Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Angin	5
2.2 Potensi Energi Angin	6
2.2.1 Potensi Energi Angin Indonesia.....	6
2.2.2 Potensi Energi Angin Dunia	7
2.3 Kecepatan Angin.....	7
2.3.1 Tingkatan Kecepatan Angin.....	7
2.4 Turbin Angin.....	9
2.4.1 Jenis Turbin Angin.....	9
2.4.2 Komponen Utama Turbin Angin	13
2.5 Turbin Angin Sumbu Vertikal	14
2.5.1 Komponen Utama Turbin Angin Sumbu Vertikal	15
2.6 <i>Airfoil NACA</i>	20
2.7 Teori Momentum <i>Elementer Betz</i>	21
2.8 Tip Speed Ratio (TSR).....	24
2.9 Efisiensi Sistem.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat dan Penelitian	27
3.2 Alat.....	27
3.3 Bahan	29
3.4 Metode Penelitian.....	30
3.5 Populasi dan Sampel	31
3.6 Prosedur Kerja.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pada Dimmer 1	33
4.2 Hasil Pada Dimmer 2	38
4.3 Hasil Pada dimmer 3	44
4.4 Hasil Pada Dimmer 4	49
4.5 Hasil Pada Dimmer 5	55
4.6 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Energi Listrik	60
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	62
LAMPIRAN.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tingkatan Kecepatan Angin 10 meter diatas Tanah	8
Tabel 2.2. Kelas Angin dan Kecepatan Angin	9
Tabel 2.3. Kelebihan dan Kekurangan TASV	11
Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir	28
Tabel 3.2. Spesifikasi Digital Multimeter CD800A	29
Tabel 3.3. Spesifikasi Blower YamamaxPRO	30
Tabel 3.4. Spesifikasi Digital Anemometer GM816	31
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Pada Dimmer 1	33
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Pada Dimmer 1	38
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Pada Dimmer 2	38
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Pada Dimmer 2	43
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Pada Dimmer 3	44
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Pada Dimmer 3	49
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Pada Dimmer 4	49
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Pada Dimmer 4	54
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Pada Dimmer 5	55
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Pada Dimmer 5	60
Tabel 4.11. Data hasil akhir energi listrik	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kecepatan Angin Indonesia	6
Gambar 2.2. Turbin Angin Savonius	10
Gambar 2.3. Turbin Angin Sumbu Horizontal	12
Gambar 2.4. Blade Turbin Angin Sumbu Vertikal	16
Gambar 2.5. Generator	18
Gambar 2.6. Prinsip Kerja Generator	19
Gambar 3.1. Digital Multimeter	28
Gambar 3.2. Digital Anemometer GM816	29
Gambar 3.3. Turbin Angin Vertikal	29
Gambar 3.4. Sketsa Turbin Angin	31
Gambar 4.1. Grafik Tegangan (Volt)	34
Gambar 4.2. Grafik Arus (Ampere)	34
Gambar 4.3. Grafik Daya (Watt)	35
Gambar 4.4. Grafik Kecepatan Angin (m/s)	35
Gambar 4.5. Grafik Tegangan (Volt)	39
Gambar 4.6. Grafik Arus (Ampere)	40
Gambar 4.7. Grafik Daya (Watt)	40
Gambar 4.8. Grafik Kecepatan Angin (m/s)	41
Gambar 4.9. Grafik Tegangan (Volt)	45
Gambar 4.10. Grafik Arus (Ampere)	45
Gambar 4.11. Grafik Daya (Watt)	46
Gambar 4.12. Grafik Kecepatan Angin (m/s)	46
Gambar 4.13. Grafik Tegangan (Volt)	50
Gambar 4.14. Grafik Arus (Ampere)	51
Gambar 4.15. Grafik Daya (Watt)	51
Gambar 4.16. Grafik Kecepatan Angin (m/s)	52
Gambar 4.17. Grafik Tegangan (Volt)	56
Gambar 4.18. Grafik Arus (Ampere)	56
Gambar 4.19. Grafik Daya (Watt)	57
Gambar 4.20. Grafik Kecepatan Angin (m/s)	57
Gambar 4.21. Grafik Pengaruh Kecepatan Angin	61
Gambar 4.22. Grafik Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Tegangan	61

DAFTAR NOTASI

P_t	= Daya turbin (W)
ρ	= Massa jenis penampang (kg/m^3)
V	= Kecepatan angin (m/s)
η_G	= Efisiensi Generator
λ	= Tip Speed Ratio(TSR)
n	= Kecepatan putar rotor (rpm)
P_G	= Daya Generator (W)
c	= konstanta
n	= kecepatan (rad/s)
$\emptyset$	= fluks (welber)
E	= ggl induksi (volt)
B	= induksi magnet (T)
l	= panjang kawat (m)
v	= kecepatan potong medan (rad/s)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

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)

Selain hal diatas isu pemanasan global juga menjadi perhatian negara-negara di dunia termasuk juga indonesia. Penggunaan bahan baku cadangan lain seperti batubara sudah jelas akan menghasilkan karbon dioksida (CO₂) lebih besar ketika pada proses pembakarannya sehingga membuat bumi semakin panas. Dengan meningkatnya penggunaan energi tersebut, terutama minyak bumi, maka di masa yang akan datang jumlahnya pun semakin terbatas, cadangan energi fosil akan berkurang dan tidak akan dapat diandalkan untuk mencukupi kebutuhan energi, karena sifatnya tidak terbarukan menuntut untuk segera mengeksplorasi sumber energi terbarukan. Selain itu, alasan lainnya adalah untuk mengurangi polusi yang ditimbulkan dari pemakaian bahan bakar minyak, karena sumber polusi terbesar didunia 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)

Kebutuhan akan minyak bumi dan gas yang tidak diimbangi oleh kapasitas produksi menyebabkan kelangkaan bahan bakar minyak dan gas, sehingga akan terjadi kenaikan harga. Pemerintah maupun swasta di hampir semua negara kemudian mulai beralih untuk membangkitkan energi dari sumber energi-energi baru dan terbarukan untuk menjaga ketahanan energi negara. Perubahan iklim yang mulai terlihat saat ini menuntut banyak pihak dalam menggunakan bahan bakar fosil, khususnya bahan bakar minyak dan gas yang sangat berperan sekali dalam pemanasan global.

Salah satu solusi energi terbarukan yang saat ini digunakan secara komersil di Indonesia diantaranya adalah energi air, panas bumi, bio energi, energi angin, sinar matahari dan masih banyak lagi energi terbarukan yang masih dalam pengembangan. Yang mana dalam pengembangan tentu terdapat beberapa kendala diantaranya dalam penggunaan tenaga air, ketersediaan lahan dan pasokan air, Sedangkan untuk penggunaan energi panas bumi kendalanya adalah teknologi dan biaya eksplorasi yang besar serta harus pada daerah tertentu seperti daerah pegunungan berapi. Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa digunakan dalam skala kecil adalah energi angin. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang kita kenal adalah dua turbin angin pada umumnya yaitu turbin angin poros horizontal dan turbin angin poros vertikal merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai energi pembangkitnya. Karena angin terdapat dimana-mana sehingga mudah untuk didapatkan serta tidak membutuhkan biaya yang banyak. Karena listrik tidak dihasilkan langsung oleh

alam maka untuk memanfaatkan energi angin ini diperlukan sebuah alat yang bekerja dan menghasilkan listrik. Diantaranya alat yang digunakan adalah kincir angin. Kincir angin akan menangkap angin dan akan menggerakkan generator yang nantinya menghasilkan energi listrik.

Dalam pengembangan turbin angin poros vertikal (Vertikal Axis Wind Turbin) telah dilakukan banyak penelitian untuk menghasilkan sistem yang mampu bekerja secara optimal. Dimana kincir ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mendapat koefisiensi daya yang maksimal. Salah satunya penggunaan sudu berjumlah banyak dalam pengoptimalan kecepatan angin yang berhembus. Koefisiensi daya yang maksimal ini akan meningkatkan jumlah watt (daya) yang dihasilkan sehingga untuk mendapatkan jumlah watt tertentu cukup dengan menggunakan jumlah kincir angin yang lebih sedikit. Dari hasil penelitian yang dilakukan diharapkan mampu dijadikan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya selain itu juga diharapkan mampu menghasilkan sistem yang ramah lingkungan dan dapat diaplikasikan di daerah yang berpotensi kecepatan angin berskala besar.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap Daya listrik yang dihasilkan oleh turbin?
- b. Bagaimana pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap Arus listrik yang dihasilkan oleh turbin?

- c. Bagaimana pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap Tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah ;

- a. Untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap Daya yang dihasilkan oleh turbin.
- b. Untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap Arus yang dihasilkan oleh turbin.
- c. Untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap Tegangan yang dihasilkan oleh turbin.

1.4 Hipotesis Penelitian

- a. Tidak adanya pengaruh kecepatan angin terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu vertikal.
- b. Terdapat pengaruh kecepatan angin terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu vertikal

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat dijadikan solusi dalam memanfaatkan energi terbarukan seperti angin.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi pada peneliti selanjutnya pada bidang yang sama.
3. Hasil dari penelitian diharapkan mampu memberikan informasi tentang pengaruh kecepatan angin terhadap turbin angin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin ialah udara yang bergerak, dikarenakan beberapa adanya perbedaan tekanan pada atmosfer bumi. Perbedaan tekanan ini dikarenakan sinar matahari, hal ini disebabkan pada daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki suhu yang lebih tinggi dari pada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin di rumuskan sebagai berikut:

Udara yang memiliki massa (m) dan kecepatan (v) akan menghasilkan energi kinetik sebesar

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

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan (v) dan melewati daerah seluas (A) adalah

$$V = vA \dots\dots\dots(2.2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kecepatan ρ yaitu

$$m = \rho V = \rho vA \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga energi kinetik yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah

$$Po = \frac{1}{2} (\rho Av)(v^2) = \frac{1}{2} \rho Av^3 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

P_o = daya angin (watt)

ρ = densitas udara (kg/m^3)

A = luas penampang turbin (m^2)

v = kecepatan udara (m/s)

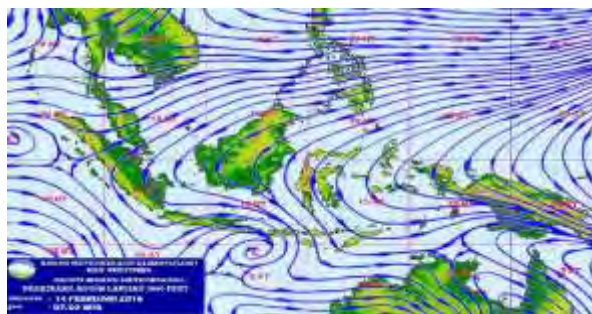
Besarnya daya diatas adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum dikonversi atau sebelum melewati turbin angin. Dari daya tersebut tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin (Ajao dan Adenivi),2009.

2.2 Potensi Energi Angin

Daya potensi energi angin yang baik adalah salah satu faktor yang menentukan keberhasilan suatu kemajuan pengembangan energi angin. Pada suatu daerah yang ingin dikembangkan, kecepatan angin dan arahnya diperlukan pengukuran selama setahun untuk memperoleh nilai kecepatan rata-rata tahunan.

2.2.1 Potensi Energi Angin Indonesia

Berdasarkan pengukuran langsung di beberapa daerah di indonesia memiliki rata-rata kecepatan angin pada ketinggian 10 meter berkisar 2 m/s sampai dengan 7 m/s. Beberapa lokasi di indonesia berpotensi sebagai tempat pengembangan turbin angin dengan diperolehnya kecepatan angin 5-7 m/s. Berikut potensi energi angin di indonesia pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1. Kecepatan Angin Indonesia

Sumber : (Azizi, Naufal. 2018)

2.2.2 Potensi Energi Angin Dunia

Pada beberapa tahun ini, di berbagai daerah di dunia berdasarkan data WWEA (World Wind Energy Association) ditemukan potensi angin dengan kecepatan tinggi, yakni 10-13 m/detik. Banyaknya daerah yang berpotensi besar tersebut berada di Eropa (sepanjang laut utara), Amerika selatan dan juga Australia bagian Tasmania. Inggris Belanda.

2.3 Kecepatan angin

Kecepatan angin dapat diukur dengan alat yang disebut Anemometer. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang berhembus pada lokasi turbin angin diaplikasikan. Karena data kecepatan angin sangat diperlukan, maka dibutuhkan data rata-rata kecepatan angin daerah tersebut agar dapat disesuaikan dengan desain rotor blade turbin. Biasanya BMKG menggunakan satuan knot untuk pengukuran kecepatan angin. Tapi, dalam beberapa alat ukur, seperti anemometer, satuan yang dipakai adalah m/s.

2.3.1 Tingkatan Kecepatan Angin

Ada beberapa ketentuan dalam menentukan kecepatan dan kondisi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat dilihat pada tabel 2.1 Tabel tersebut menjelaskan bahwa kecepatan angin kelas 3 adalah batas minimum dan kelas 8 adalah batas maksimum yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Tingkatan kecepatan angin diberikan pada 10 meter dari permukaan tanah.

Tabel 2.1. Tingkatan kecepatan angin 10 meter diatas permukaan tanah dalam satuan knots (Ilmi, Jufrizal, & Hasanuddin, 2016)

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	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 arah angin
10	20.8 – 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 – 28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 – 36.9	Tornado

Skala di atas digunakan untuk mengetahui tingkat kecepatan angin dilihat dari fenomena yang terjadi pada benda-benda sekitar.

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

2.4 Turbin Angin

2.4.1 Jenis Turbin Angin

Diketahui pada dasarnya energi yang dihasilkan angin tidak dapat langsung dipergunakan, oleh sebab itu diperlukan mesin yang dapat mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga dapat diteruskan menjadi energi listrik. Alat inilah yang disebut dengan turbin angin atau juga dengan kincir angin. Awal digunakannya turbin angin sebagai pembangkit energi listrik pada akhir tahun 1890-an. Turbin angin ini khusus dirancang untuk pembangkit energi listrik yang dibangun di denmark. Pada saat itu turbin angin menghasilkan energi listrik untuk daerah pedesaan. Sekitar tahun 1900 telah dibangun turbin angin di

Cleveland, Ohio untuk pertama kalinya menggunakan gear box yang dapat digunakan untuk menaikkan putaran. Ada jenis turbin angin yang dapat di bedakan berdasarkan rotasi rotor yaitu :

1. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)
2. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

A. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Keunggulan turbin ini yaitu mampu mengekstrak angin dengan kecepatan angin yang kecil (min 2 m/s). Meskipun turbin angin sumbu horizontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal. Berikut contoh turbin angin savonius pada gambar di bawah.



Gambar 2.2. Turbin angin Savonius

Sumber : : Technologygreenenergi-e-online.blogspot.com (diakses pada tanggal 30 Juli 2017)

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:

$$A = \frac{2}{3}(\text{maximum rotor width at center})(\text{height of the rotor})$$

Kelebihan dan kekurangan TASV seperti pada Tabel 3. (Apit, 2015) dan (Get STT-PLN, 2013).

Tabel 2.3. Kelebihan dan kekurangan TASV

Kelebihan	Kekurangan
Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.	Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi KASH.
Pemeliharaannya lebih mudah.	TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
Memiliki keaerodinamisan yang tinggi.	Kebanyakan TASV memiliki torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
Wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu.	Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan.
TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada KASH.	-----
TASV biasanya memiliki tip speed ratio yang lebih rendah sehingga lebih kecil.	-----

TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi
dimana struktur yang lebih tinggi
dilarang dibangun.

TASV tidak harus diubah posisinya jika
arah angin berubah.

Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda.
Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan
tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga pengalaman.

B. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal adalah turbin angin yang sumbu rotasi
rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal
mempunyai poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan
diarahkan menuju arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin.
Berikut bentuk fisik turbin angin sumbu horizontal pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3. Turbin angin sumbu horizontal

Sumber : Freepik

2.4.2 Komponen utama turbin angin

Komponen utama dari turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) terdiri dari poros, sudu, lengan sudu, bantalan (*bearing*), dan roda gigi (*gear*).

1. Poros, berfungsi sebagai alat penghubung terjadinya perubahan energi.
2. Sudu, berfungsi sebagai komponen penerima gaya yang akan dikonversi menjadi daya turbin.
3. Lengan sudu, berfungsi sebagai penghubung sudu dengan poros.
4. Bantalan (*bearing*), berfungsi sebagai penahan poros turbin angin.
5. Roda gigi (*gear*), berfungsi untuk mentransmisikan daya dari putaran rotor ke generator.

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

1. Gearbox, alat ini berfungsi untuk mengubah kecepatan putaran yang rendah menjadi tinggi. Rasio kecepatan biasanya digunakan sekitar 1:60.
2. Generator, generator merupakan komponen paling penting pada turbin angin, karena berperan dalam mengubah energi listrik.
3. Rotor Blade, rotor blade atau sudu merupakan penerima energi kinetik dari angin yang akan diubah ke energi gerak putar.
4. Tower, tower atau tiang penyangga berfungsi sebagai penopang utama dari struktur komponen terangkai, yaitu sudu, poros dan generator.

2.5 Turbin Angin Sumbu Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine)

Pada kincir angin sumbu vertikal atau tegak, sumbu atau poros rotor utama diletakkan tegak lurus. Keuntungan utama pengaturan ini adalah kincir tidak perlu diarahkan ke angin agar efektif. Keunggulan ini sangat berguna di daerah yang arah anginnya sangat bervariasi. Turbin angin ini dapat memanfaatkan angin dari berbagai arah.

Gearbox dapat ditempatkan dengan tanah, sehingga tidak perlu ditopang oleh menara dan lebih mudah diakses untuk pemeliharaan. Namun, hal ini menyebabkan torsi berdenyut pada beberapa model. Drag (gaya yang melawan pergerakan benda padat melalui fluida (cair atau gas) dapat terjadi saat kincir berputar.

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

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

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

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

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

1. *Blade* (Baling-baling)

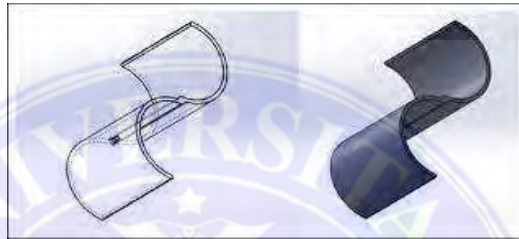
Blade (Baling-baling) turbin angin sumbu vertikal adalah jenis struktur turbin angin yang digunakan untuk mengubah energi angin menjadi energi mekanik atau listrik. Keunikan turbin angin sumbu vertikal terletak pada posisi sumbunya yang tegak lurus dengan arah aliran angin. Hal ini berbeda dengan kincir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

Beberapa karakteristik penting dari sudu turbin angin sumbu vertikal adalah:

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

kecepatan. Ini membuatnya lebih cocok untuk daerah dengan angin tidak rata atau kencang.

- d. Pengoperasian yang senyap: Turbin sumbu vertikal menghasilkan lebih sedikit kebisingan dan getaran daripada turbin sumbu horizontal karena posisi vertikalnya memungkinkan bagian yang bergerak lebih dekat ke tanah.



Gambar 2.4. Blade turbin angin sumbu vertikal

Sumber : (Arga Sidabutar, 2024)

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

- a. Desain *blade* yang efisien , desain bilah turbin angin vertikal sangat penting untuk efisiensi dan efektivitas turbin. Bentuk, Panjang, dan sudut sudu harus diatur dengan hati-hati untuk mendapatkan hasil pemulihan energi angin yang optimal.
- b. Bahan dan kekuatan, bahan yang digunakan untuk membuat bilah harus kuat dan tahan terhadap angin, getaran, dan perubahan cuaca.. Memilih bahan yang tepat dapat memastikan masa pakai yang lama dan pengoperasian turbin yang lancar.

- c. Keseimbangan dan getaran, keseimbangan bilah sangat penting untuk menghindari getaran berlebihan yang dapat merusak turbin atau mengurangi efisiensi. Keseimbangan bilah harus diperiksa dan disetel secara teratur.
- d. Penyesuaian sudut *blade*, beberapa desain turbin angin vertikal memungkinkan penyesuaian sudut blade untuk mengoptimalkan tangkapan angin pada berbagai kecepatan angin. Sistem control yang tepat dapat membantu meningkatkan efisiensi turbin.
- e. Ketahanan terhadap angin kencang dan kondisi cuaca ekstrem, bilah turbin harus dirancang untuk tahan terhadap angin kencang dan kondisi cuaca ekstrem. Struktur yang dapat menahan beban angin ekstrim dapat mencegah kerusakan serius pada turbin.

2. Sumbu (*Axis*)

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

3. Generator atau Mekanisme Penggerak

Setelah energi angin diubah menjadi gerakan berputar oleh baling-baling, energi tersebut harus diubah kembali menjadi energi listrik atau mekanik yang berguna. Mekanisme generator atau penggerak adalah komponen yang melakukan

konversi ini. Dalam turbin angin untuk produksi listrik, generator mengubah gerakan rotasi menjadi energi listrik.

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



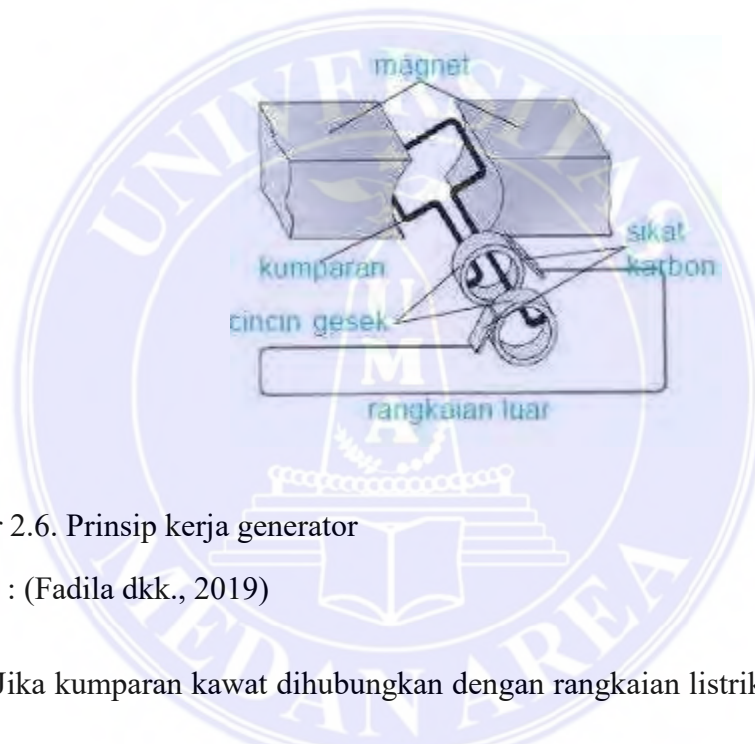
Gambar 2.5. Generator

Sumber : (Arga Sidabutar, 2024)

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. Banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (ϕ).



Gambar 2.6. Prinsip kerja generator

Sumber : (Fadila dkk., 2019)

Jika kumparan kawat dihubungkan dengan rangkaian listrik tertutup, maka akan timbul pula arus listrik yang mengalir pada rangkaian.

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 kecepataan rotasi. Tujuannya adalah untuk menjaga kinerja optimal turbin angin dan melindunginya dari kerusakan akibat kondisi cuaca ekstrem atau gangguan lainnya. Biasanya sistem kontrol terdiri dari berbagai sensor yaitu sensor arah angin, sensor kecepatan angin, sistem brake, sistem pitch control.

2.6 Airfoil NACA

Airfoil NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) adalah serangkaian desain airfoil yang dikembangkan oleh NACA, American Aeronautical Research Agency, pada abad ke-20. Profil sayap ini dikenal dalam bahasa Inggris sebagai “NACA airfoil”. Airfoil NACA digunakan untuk menggambarkan bentuk sayap pesawat terbang dan karakteristik aerodinamis yang terkait dengan bentuk tersebut. Setiap airfoil NACA diberi kode numerik empat digit, seperti “NACA 2412”. Setiap angka dalam kode memiliki arti khusus. Digit pertama 2, menunjukkan kamber maksimum sebesar 2% dari panjang korda sayap, digit kedua 4, menunjukkan bahwa kamber maksimum terletak 40% dari panjang korda dari tepi depan dan sayap,, dua digit terakhir 12, menunjukkan rasio ketebalan terhadap panjang korda sebesar 12%. Makna dan penjelasan dalam kode adalah sebagai berikut :

- a. Digit pertama mewakili kamber maksimum profil sebagai persentase dari panjang korda sayap.
- b. Digit kedua menunjukkan lokasi kamber maksimum sebagai persentase dari panjang korda (biasanya dinyatakan dalam angka kesepuluh).

- c. Digit ketiga dan keempat, menunjukkan rasio ketebalan terhadap panjang korda sebagai persentase.

2.7 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. Namun, tidak mungkin mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi mekanis, karena itu akan menghasilkan kevakuman di belakang turbin. Oleh karena itu, Sebagian energi kinetik harus tetap ada dalam bentuk energi kinetik setelah melewati turbin. (Fadila et al., 2019).

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

$$V = v \cdot A \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

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

v = kecepatan angin (m/detik)

A = luas area sapuan rotor (m^2)

Dengan demikian, laju aliran massa dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

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

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot A \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

P = daya kinetik (watt)

Energi kinetik dapat diambil pada angin dengan mengurangi kecepatannya. Ini berarti kecepatan udara di belakang rotor lebih pelan dari kecepatan udara di

depan rotor. Energi mekanik yang berasal dari angin setiap satuan waktu, berdasarkan perubahan tersebut. Kecepatan dapat diperoleh menggunakan persamaan :

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

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^3 \cdot A_1 - v_2^3 \cdot A_2) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

P = daya yang di ekstraksi (wat)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

A1 = luas penampang aliran udara sebelum melalui rotor (m^2)

A2 = luas penampang aliran udara sesudah melalui rotor (m^2)

v1 = kecepatan aliran udara sebelum melewati rotor (m/detik)

v2 = kecepatan aliran udara sesudah melewati rotor (m/detik)

2.8 TSR (*Tip Speed Ratio*)

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

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

$$TSR = \frac{V_{ujung}}{V_{angin}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

V_{ujung} = kecepatan ujung baling-baling turbin angin

V_{angin} = kecepatan angin yang masuk ke turbin angin

2.9 Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem mengacu pada sejauh mana suatu sistem dapat mengubah input menjadi output yang diinginkan sambil meminimalkan pemborosan energi atau sumber daya. Efisiensi dapat dihitung dengan cara yang berbeda dalam konteks yang berbeda, tetapi pada dasarnya melibatkan perbandingan output yang dihasilkan dengan input yang dibutuhkan (Fadila et al.,2019).

Perbandingan antara daya keluaran rotor terhadap daya input yang melalui penampang rotor disebut efisiensi sistem (η sistem). Dirumuskan dengan :

$$\eta_{(sistem)} = P_{output} / P_{input} = P_{generator} / P_{angin}$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilaksanakan di bengkel bubut sudarman medan Jl. Margaan 8 Mabar Hilir, Sumatera Utara, dengan lama waktu penelitian 4 bulan dihitung dari seminar proposal seperti tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1. Jadwal Rencana Penelitian

Aktifitas	2024															
	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■														
Penulisan Proposal			■	■												
Seminar Proposal					■											
Proses Penelitian						■	■	■	■							
Pengolahan Data										■	■	■	■			
Penyelesaian Laporan											■	■	■	■		
Seminar Hasil														■		
Evaluasi dan persiapan Sidang															■	■
Sidang Sarjana																■

3.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Digital Multimeter CD800A

Multimeter digital adalah alat ukur yang dapat mengukur besaran seperti tegangan, arus, dan hambatan. Nilai terukur ditampilkan pada tampilan digital,

sehingga dapat dibaca dengan mudah dan langsung, bahkan oleh pengguna pertama kali. Beberapa multimeter digital memilih rentang pengukuran secara otomatis, menghilangkan kebutuhan untuk memilihnya secara manual. Akibatnya, instrumen ini relatif mudah digunakan, bahkan untuk pemula. Dapat dilihat dibawah ini spesifikasi dan gambar digital multimeter sebagai berikut.

Tabel 3.2. Spesifikasi pada digital multimeter CD800A

Spesifikasi				
CD800A	Pengukuran Rentang	Akurasi	Resolusi	Input Impedance
DCV	400m/4/40/400/600V	$\pm (0.7\%+3)$	0.1mV	DCV: 10M~100M Ω
ACV	4/40/400/600V	$\pm (1.6\%+9)$	0.001mV	
DCA	40m/400mA	$\pm (2.2\%+5)$	0.01mA	ACV: 10M~11M Ω
ACA	40m/400mA	$\pm (2.8\%+5)$	0.01mA	
Resistensi	400/4k/40k/400k/4M/40M Ω	$\pm (1.5\%+5)$	0.1 Ω	
Kapasitansi	50n/500n/5 μ /50 μ /100 μ F	$\pm (5\%+10)$	0.01nF	
Frekuensi	5Hz~100kHz	$\pm (0.5\%+3)$		
Skala	20%~80%	$\pm (0.5\%+5)$		
Kontinuitas	Suara bel dan dibawah 10 Ω dan 120 Ω . Tegangan Terbuka: approx 0.4V			
Uji diode	Tegangan Terbuka: approx. 1.5V			
Bandwidth	40~400Hz			
Sekering	0.5A/250V 1.5kA 5.2X20mm keramik			
Baterai	R6PX2			
Ukuran (H x W x D)	176mm x 104mm x 46mm			
Berat	340 g			
Aksesori	Hand strap			
	Panduan penggunaan manual			



Gambar 3.1. Digital Multimeter

2. Digital Anemometer

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

Tabel 3.3. Spesifikasi Digital Anemometer GM816

Digital Anemometer GM 816	
Range	Between -10°C and 45°C (between 14°F and 113°F)
Resolution	0.2°C, 0.36°F.
Accuracy	±2°C, ±3.6°F.



Gambar 3.2. Digital Anemometer GM816

3.3 Bahan

3. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik). Kemudian angin akan memutar sudu turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin.



Gambar 3.3. Turbin Angin Sumbu Vertikal

3.4 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 kuantitatif , metode penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Metode Observasi (Pengamatan)

Melakukan pengamatan secara langsung proses terjadinya perubahan energi mekanik menjadi energi listrik dari input ke output

2. Metode Pengambilan Data

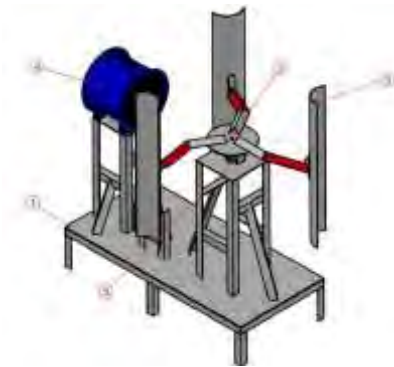
Pengujian Eksperimen turbin angin ini dilakukan dengan menggunakan sumber angin dari alat bernama blower, kemudian kecepatan angin tersebut akan diukur menggunakan *anemometer*.

3. Metode Analisis Data

Pada penelitian Analisis turbin angin tipe savonius dilakukan dengan pengolahan hasil data yang diambil, kemudian dilakukan perhitungan yang memperoleh nilai berupa efisiensi turbin, daya turbin, daya listrik generator keluaran, Arus, dan Tegangan yang dihasilkan oleh turbin.

Pembuatan rancangan menggunakan proyeksi amerika standart oprasional prosedur. Dalam perancangan turbin angin digunakan AutoCAD. Berikut gambar

3.4 Gambar Sketsa Turbin Angin.



Gambar 3.4 Sketsa Turbin Angin

Komponen yang digunakan :

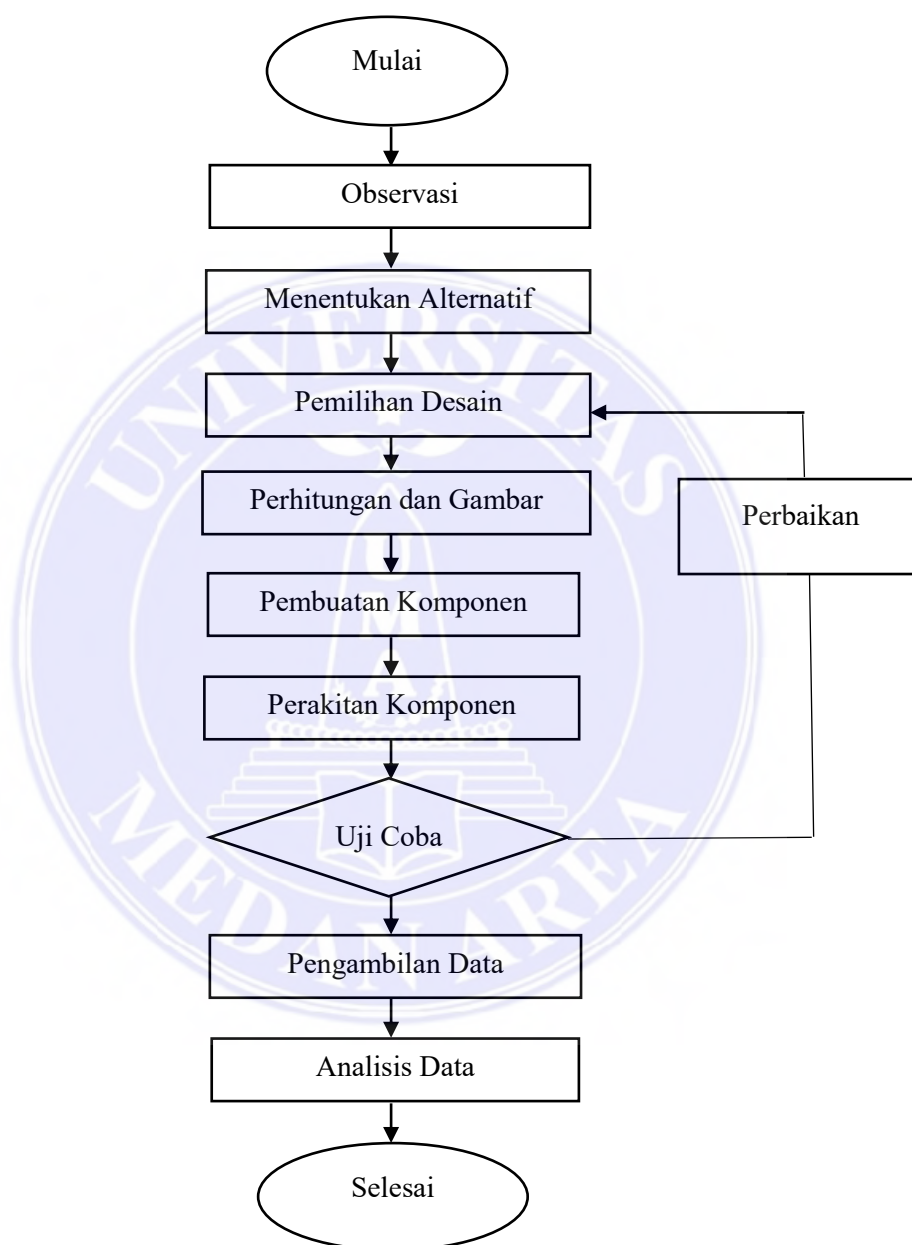
1. Rangka turbin angin, bahan yang digunakan besi siku 35mm x 35mm dan besi plat 3mm.
2. Piringan lengan blade turbin, bahan yang digunakan besi siku 35mm x 35mm dan besi plat 5mm.
3. Blade, bahan yang digunakan pipa PVC
4. Blower
5. Generator

3.5 Populasi dan Sampel

Penelitian dilaksanakan di CV. IRA Publishing, desa sigara-gara, kecamatan patumbak, kabupaten deli serdang, sumatera utara. Angin yang berhembus memiliki karakteristik tersendiri seperti, angin memiliki kecepatan angin yang sangat beragam dari suatu tempat ke tempat lain serta dari waktu ke waktu, angin memiliki sifat yang dapat menyebabkan tekanan terhadap suatu permukaan yang melawan arah angin tersebut, angin juga memiliki sifat mempercepat pendinginan dari suatu benda yang panas. Selain itu kondisi ini sangat baik untuk

pengembangan dan pengujian turbin angin. Sampel yang diteliti adalah turbin angin sumbu vertikal (VAWT).

3.6 Prosedur Kerja



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Tinggi rendahnya kecepatan angin mempengaruhi hasil dari bersaran arus, tegangan, dan daya keluaran turbin angin.
2. Semakin tinggi kecepatan angin semakin besar arus, tegangan, daya keluaran yang dihasilkan turbin angin.
3. Turbin angin dapat menghasilkan daya keluaran yang maksimal jika pada kecepatan angin yang tinggi.

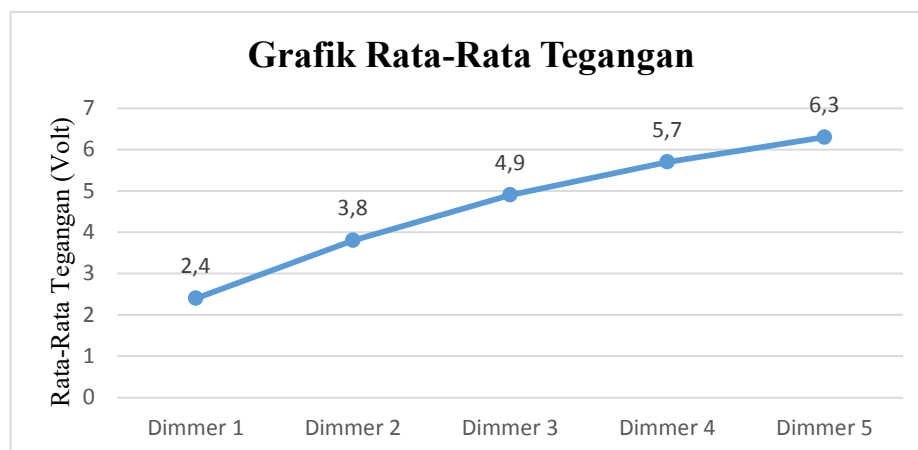
5.2 Saran

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya turbin yang dihasilkan belum cukup untuk di aplikasikan. Daya yang dihasilkan berkisar antara 0,02882 W hingga 0,030784 W, yang masih jauh dari kebutuhan minimum perangkat listrik seperti lampu LED (9-12 W), sehingga disarankan dilakukan pemeriksaan pada desain turbin angin, seperti mencoba desain blade yang berbeda seperti menambahkan jumlah blade atau memvariasikan jarak antar blade untuk meningkatkan efisiensi turbin dalam memanfaatkan energi angin dengan maksimal.

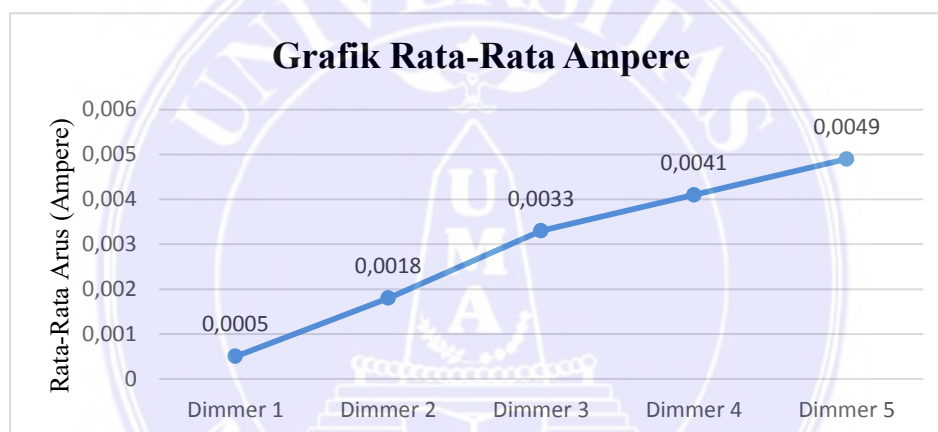
LAMPIRAN



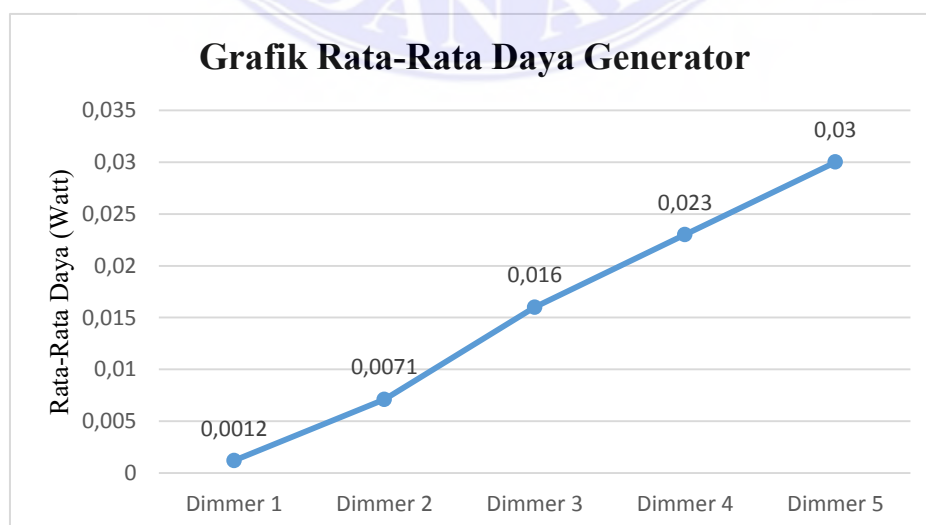
Grafik rata-rata Tegangan (Volt)



Grafik rata-rata Arus (Ampere)



Grafik rata-rata Daya (Watt)



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>.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). *Wind energy handbook*. Jhon Wiley.
- Farel.H.Napitupulu, & Fritz Mauritz. (2013, Januari). Jurnal Dinamis Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara. *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, II*, 49-59. [https://garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1438403&val=4148&title=uji%20eksperimental%20dan%20analisis%20pengaruh%20variasi%20kecepatan%20dan%20jumlah%20sudu%20terhadap%20daya%20dan%20putaran%20turbin%20angin%20vertikal%20axis%20savonius%](https://garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1438403&val=4148&title=uji%20eksperimental%20dan%20analisis%20pengaruh%20variasi%20kecepatan%20dan%20jumlah%20sudu%20terhadap%20daya%20dan%20putaran%20turbin%20angin%20vertikal%20axis%20savonius%20).
- Idris, M., Zulfikar, A. J., Dariantio, Iswandi, Jufrizal, Hermanto, T., & 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>.
- 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>.
- Sami, J., Desmukh, & Sagar, M. Chartal. (2017). *Design And Development of Vertical Axis Wind Turbine. IRA International Journal of Technology & Engineering*, 286-294.
- Sidabutar, A. A. V. M. (2024). *Analisis Potensi Energi Angin di Desa Sigara-Gara Sebagai Penggerak Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/26354>.

Sitinjak, K. A. G. T. (2024). *Pengembangan Model Matematis Untuk Memprediksi Potensi Energi Angin dan Efisiensi Turbin Angin Sumbu Vertikal* [Universitas Medan Area]. <https://repository.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/26347>.

Trevor, M. L. (2016). *Wind Energy Engineering*. Chennai, Joe Hayton.

