



Pengaruh Jumlah Sudu Rotor *Blade* Terhadap Unjuk Kerja *Wind Turbin* Dengan Menggunakan *Blade NACA 0021*

The Effect of the Sudu *Blade* Rotor Blades on the Performance of *Wind Turbines* Using *NACA 0021*

Rohmad Arvento Yoga Prasetyo
NIM : 161020200054

Dosen Pembimbing

Dr.Eng Rahmad Firdaus, ST.,MT
NIDN : 0705126902

Dosen Penguji

Dr. A'rasy Fahrudin, ST.,MT
NIDN : 727018601

Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti,S.Si.,MT
NIK/NIP : 196812151994022001

**Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Juli 2023**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH JUMLAH SUDU ROTOR BLADE TERHADAP UNJUK KERJA *WIND TURBIN* DENGAN MENGGUNAKAN *BLADE NACA* 0021

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Mencapai Gelar Strata Satu
Jurusan Teknik Mesin

Oleh :

Rohmad Arvendo Yoga Prasetyo

161020200054

Disetujui :

Pada tanggal :

Dosen Pembimbing



Dr. Eng Rahmad Firdaus, ST., MT.

NIDN. 727018601

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Mulyadi, ST., MT.

NIDN. 710037802

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : PENGARUH JUMLAH SUDU ROTOR *BLADE* TERHADAP UNJUK
KERJA *WIND TURBIN* DENGAN MENGGUNAKAN *BLADE NACA*
0021

Nama Mahasiswa : Rohmad Arvendo Yoga Prasetyo

NIM : 161020200054

Disetujui oleh

Dosen Pembimbing

Dr.Eng Rahmad Firdaus, ST.,MT
NIDN : 0705126902



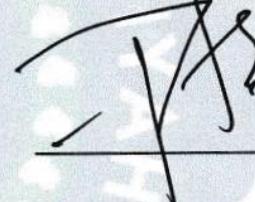
Dosen Penguji 1

Dr. A'rasy Fahrudin, ST.,MT
NIDN : 727018601



Dosen Penguji 2

Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti, S.Si.,MT
NIK/NIP : 196812151994022001



Diketahui oleh

Ketua Program Studi

Mulyadi, ST.,MT
NIDN : 710037802



Dekan

Iswanto, ST.,MT
NIK : 0710057702



Tanggal Ujian
(17 Juli 2023)

Tanggal Lulus
(17 Juli 2023)

SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya :

Nama Mahasiswa : Rohmad Arvendo Yoga Prasetyo
NIM : 161020200054
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Sains dan Teknologi

DAN

Dosen Pembimbing : Dr.Eng Rahmad Firdaus, ST.,MT
NIDN : 0705126902
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Sains dan Teknologi

MENYATAKAN bahwa, karya tulis ilmiah dengan rincian :

Judul : PENGARUH JUMLAH SUDU ROTOR *BLADE* TERHADAP
UNJUK KERJA *WIND TURBIN* DENGAN MENGGUNAKAN
BLADE NACA 0021
Kata Kunci : *Sudu Rotor Blade, Blade NACA 0021*

TELAH :

1. Disesuaikan dengan petunjuk di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Berdasarkan Surat Keputusan Rektor UMSIDA tentang Pedoman Karya Tulis Mahasiswa.
2. Lolos uji cek kesamaan sesuai ketentuan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

SERTA*:

- Bertanggung jawab untuk** melakukan publikasi karya tulis ilmiah tersebut ke jurnal ilmiah/prosiding sesuai ketentuan Surat Keputusan Rektor UMSIDA tentang Pedoman Karya Tulis Ilmiah Khususnya Lampiran Huruf B.
- Menyerahkan tanggung jawab untuk** melakukan publikasi karya tulis ilmiah tersebut ke jurnal/prosiding sesuai ketentuan Surat Keputusan Rektor UMSIDA tentang Pedoman Karya Tulis Ilmiah. Khususnya Lampiran Huruf B kepada Bidang Pengembangan Publikasi Ilmiah DRPM UMSIDA.

Demikian pernyataan dari saya, untuk dipergunakan sebagaimana mestinya. Terimakasih

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Dr.Eng Rahmad Firdaus, ST.,MT
NIDN : 0705126902

Sidoarjo, 23/07/2023
Mahasiswa



Rohmad Arvendo Yoga Prasetyo

**PERNYATAAN MENGENAI KARYA TULIS ILMIAH DAN SUMBER
INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ilmiah tugas akhir saya dengan judul **“Pengaruh Jumlah Sudu Rotor *Blade* Terhadap Unjuk Kerja *Wind Turbin* Dengan Menggunakan *Blade NACA 0021*”** adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir karya tulis ilmiah tugas akhir saya ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

Sidoarjo, 23 Juli 2023



Rohmad Arvento Yoga Prasetyo
NIM : 161020200054

PERSEMBAHAN

Puji syukur alhamdulillah

Dengan ini saya mempersembahkan karya ini untuk

**Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan serta
teman – teman yang selalu memberikan semangat**

**Kepada Bapak Dr. Eng rahmad firdaus, ST.,MT yang selalu
memberi motivasi dan bimbingan dalam penyelesaian
skripsi ini**

MOTTO :

**Jangan ubah dirimu hanya agar mereka menyukaimu.
Hebatkan dirimu agar mau tidak mau mereka harus
menerima**

Pengaruh Jumlah Sudu Rotor *Blade* Terhadap Unjuk Kerja *Wind Turbin* Dengan Menggunakan *Blade NACA 0021*

Nama mahasiswa : Rohmad Arvento Yoga Prasetyo
NIM : 161020200054
Pembimbing : Dr. Eng Rahmad Firdaus,ST.,MT.

ABSTRAK

Saat ini Indonesia sedang mengalami peningkatan permintaan energi, yang akan mengalami krisis energi dan ketergantungan bahan bakar fosil, yang akan menjadi ancaman serius di masa depan. Oleh karena itu, ketersediaan energi alternatif seperti energi angin. Indonesia dikenal dengan potensi sumber daya alam yang melimpah yang dapat dimanfaatkan untuk mengelola pembangkit listrik. Berdasarkan sumber daya alam yang dapat menjadi sumber utama pembangkit tenaga listrik, maka perlu dilakukan pemanfaatan sumber daya alam tersebut untuk mengatasi masalah ketersediaan tenaga listrik. Oleh karena itu, diperlukan suatu ide untuk menggunakan NACA 0021 untuk mempelajari dan menganalisis pengaruh jumlah bilah rotor terhadap kinerja turbin angin. Ini adalah langkah pertama dalam membuat pembangkit listrik tenaga air menggunakan lembar NACA0021. Tujuan penelitian ini agar dapat memanfaatkan energi angin untuk keperluan pembangkit listrik skala kecil dan diharapkan nantinya dapat memberikan efek bahwa penambahan wingtip dapat mengurangi *drag* sehingga tercipta performa atau tenaga yang tinggi dan membuat pesawat menjadi lebih efisien. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian instrumen serta analisis hasil pengujian pengaruh jumlah sudu rotor *blade* terhadap kinerja turbin angin menggunakan spesifikasi sudu NACA 0021. Termasuk pengumpulan data, kecepatan angin, putaran turbin angin tetapi juga arus yang dihasilkan oleh turbin angin. Pengambilan data dilakukan tanpa menggunakan beban untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin angin. maka diperoleh nilai rata-rata pengaruh baling-baling terhadap Arus (*Amps*), Tegangan (*Volt*), Daya Turbin (*Watt*) dan Efisiensi. Pengaruh jumlah sudu rotor pada kinerja turbin angin dengan sudu NACA 0021. Pengaruh jumlah sudu rotor *blade* terhadap kinerja turbin angin dengan jumlah 2,3, dan 4 dengan kecepatan angin yang sama maka, bahwa penambahan sudu rotor blade pada kinerja turbin angin menaikkan kuat arus (*ampere*) dan tegangan (*volt*). Dan Turbin angin menghasilkan daya turbin maksimum menggunakan pengaruh jumlah sudu rotor *blade*.

Kata Kunci : *Sudu Rotor Blade, Wind Turbin Blade NACA 0021.*

The Effect of the Sudu *Blade* Rotor Blades on the Performance of *Wind Turbines* Using *NACA 0021*

By : Rohmad Arvendo Yoga Prasetyo
Student Identity Number : 161020200054
Supervisor : Dr. Eng Rahmad Firdaus,ST.,MT.

ABSTRACT

Currently Indonesia is experiencing an increase in energy demand, which will experience an energy crisis and fossil fuel dependence, which will be a serious threat in the future. Therefore, the availability of alternative energy such as wind energy. Indonesia is known for its abundant natural resource potential that can be utilized to manage power plants. Based on natural resources that can be the main source of power generation, it is necessary to utilize these natural resources to overcome the problem of electricity availability. Therefore, an idea was needed to use NACA 0021 to study and analyze the effect of the number of rotor blades on wind turbine performance. This is the first step in creating a hydroelectric power plant using the NACA0021 sheet. The purpose of this research is to be able to utilize wind energy for small-scale power generation purposes and is expected to later have the effect that the addition of wingtips can reduce drag so as to create high performance or power and make the aircraft more efficient. In this study, instrument testing and analysis of the test results of the effect of the number of rotor blade blades on wind turbine performance will be carried out using NACA 0021 blade specifications. Including data collection. , wind speed, wind turbine rotation but also the current generated by the wind turbine. Data retrieval is done without using a load to find out the power generated by the wind turbine. then obtained the average value of the influence of the propeller on Current (*Amps*), Voltage (*Volts*), Turbine Power (*Watts*) and Efficiency. The effect of the number of rotor blades on wind turbine performance with NACA 0021 blades. The effect of the number of rotor blade blades on wind turbine performance with the same number of 2, 3, and 4 with the same wind speed then, that the addition of rotor blade blades on wind turbine performance increases the current strength (*Amps*) and voltage (*volts*). And Wind turbines produce maximum turbine power using the influence of the number of blades rotor blades.

Keywords : *Blade Rotor, Wind Turbine Blade NACA 0021.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, Maha Pengasih dan Lagi Maha Penyayang yang telah memberikan berkat, anugerah dan karunia yang melimpah. Serta tidak lupa kita haturkan sholawat serta salam ditujukan kepada Nabi Muhammad SAW, sebagai Nabi terakhir yang membawa petunjuk dan penyelamat seluruh umat manusia dengan agama Islam.

Proposal Skripsi merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi. Di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Dalam hal ini penulis mengangkat judul yaitu “ **PENGARUH JUMLAH SUDU ROTOR BLADE TERHADAP UNJUK KERJA WIND TURBIN DENGAN MENGGUNAKAN *BLADE NACA 0021***” diharapkan mampu menambah pengetahuan.

Semoga Proposal skripsi ini bisa bermanfaat baik bagi Pembaca, dan Universitas Muhammadiyah sebagai tambahan literatur penelitian mahasiswa.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI ILMIAH	iv
PERNYATAAN KARYA TULIS ILMIAH DAN SUMBER INFORMASI	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Study Literatur	4
2.2 Konsep Dasar Angin	5
2.3 Jenis-Jenis Angin	6
2.4 <i>Airfoil</i>	9
2.4.1 Prinsip Kerja Turbin Angin	11
2.4.2 Turbin Angin	12
2.4.3 Pemilihan Jenis Turbin	13
2.4.4 Jenis-Jenis Kincir Angin.....	15
2.5 Rumus Perhitungan Unjuk Kerja Wind Turbin	18

BAB III DASAR TEORI

3.1 Diagram Alir Penelitian	22
3.2 Tahapan Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	24
3.4 Alat dan Bahan Pengujian.....	24
3.5 Instalasi Pengujian	28
3.6 Desain Alat	28
3.7 Parameter Tanpa Wing Tip.....	29
3.8 Rencana Pengambilan Data	29
3.9 Prosedur Pengambilan Data.....	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan.....	32
4.2 Hasil Penelitian.....	36

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



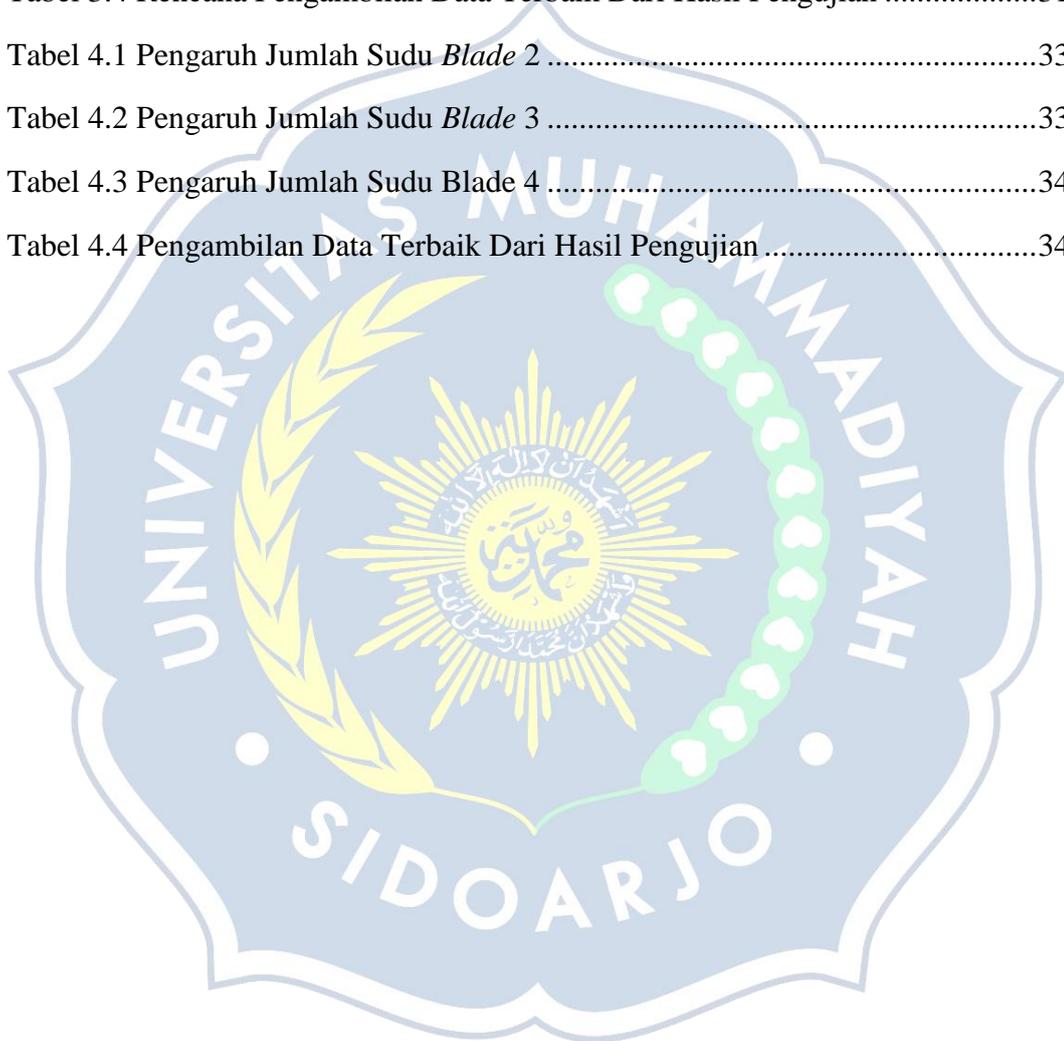
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Terjadinya Angin Pusat	6
Gambar 2.2	Skema Angin Laut.....	6
Gambar 2.3	Skema Gambar Angin Darat	7
Gambar 2.4	Skema Angin Lembah dan Angin Gunung	8
Gambar 2.5	Skema Angin Fohn.....	8
Gambar 2.6	Skema Angin Muson Barat dan Angin Muson Timur	9
Gambar 2.7	Bagian-Bagian Terdapat Pada Sudu <i>Airfoil</i>	10
Gambar 2.8	Struktur Internal Turbin	11
Gambar 2.9	Turbin Angin Horizontal dan Vertical	13
Gambar 2.10	Grafik Hubungan Antara Tinggi Jatuh Net dan Debit Aliran	14
Gambar 2.11	Diagram Pemilihan Turbin.....	14
Gambar 2.12	Turbin Angin Sumbu Horizontal	15
Gambar 2.13	Turbin Angin Sumbu Vertikal	17
Gambar 2.15	Grafik Hubungan C_p dengan TSR dari jenis-jenis Turbin	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2	<i>Airfoil</i>	24
Gambar 3.3	<i>Aluminium Plate</i>	25
Gambar 3.4	Pipa Aluminium	25
Gambar 3.5	Generator	26
Gambar 3.6	Pully	26
Gambar 3.7	Fanbelt.....	27
Gambar 3.8	Inverter	27
Gambar 3.9	Instalasi Pengujian	28
Gambar 3.10	Desain Alat.....	28
Gambar 3.11	Parameter <i>Airfoil</i>	29
Gambar 4.1	Alat Wind Turbin Menggunakan <i>Naca Blade</i> 0021	37
Gambar 4.2	Grafik Rata-rata Jumlah Sudu Blade Dengan Kuat Arus	34
Gambar 4.3	Grafik Rata-rata jumlah Sudu dengan Tegangan (<i>Volt</i>).....	35
Gambar 4.4	Grafik Rata-rata jumlah Sudu <i>Blade</i> dengan Daya Turbin (<i>Watt</i>).....	35



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Turbin Dengan Variasi <i>Head</i> (<i>m</i>)	19
Tabel 3.1 Rencana Pengambilan Data Dengan Jumlah 2 Blade	29
Tabel 3.2 Rencana Pengambilan Data Dengan Jumlah 3 Blade	30
Tabel 3.3 Rencana Pengambilan Data Dengan Jumlah 4 Blade	30
Tabel 3.4 Rencana Pengambilan Data Terbaik Dari Hasil Pengujian	31
Tabel 4.1 Pengaruh Jumlah Sudu <i>Blade</i> 2	33
Tabel 4.2 Pengaruh Jumlah Sudu <i>Blade</i> 3	33
Tabel 4.3 Pengaruh Jumlah Sudu <i>Blade</i> 4	34
Tabel 4.4 Pengambilan Data Terbaik Dari Hasil Pengujian	34



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia saat ini sedang mengalami peningkatan permintaan energi, yang akan mengalami krisis energi dan ketergantungan bahan bakar fosil, yang akan menjadi ancaman serius di masa depan. Oleh karena itu, ketersediaan energi alternatif seperti energi angin, tenaga air, dan energi matahari dapat dijadikan sebagai alternatif dan cadangan. Pentingnya kebutuhan energi dalam kehidupan manusia, seperti halnya energi listrik, tidak dapat dipisahkan dalam aktivitas sehari-hari. Ketergantungan manusia terhadap energi listrik tidak dapat dipisahkan. Pertumbuhan penduduk yang masih pesat meningkatkan permintaan energi listrik, dan perkiraan populasi akan meningkat dari 7 miliar menjadi 9 miliar tahun depan, pada tahun 2050 di awal abad ke-21.

Anda dapat melihat dengan jelas peningkatan kebutuhan listrik dalam kehidupan sehari-hari. Pertama dari rumah warga, kedua dari warga yang memenuhi kebutuhannya melalui UKM dan kegiatan usaha (perdagangan perumahan), dan ketiga digunakan untuk mengoperasikan beberapa jasa industri seperti jaringan mesin produksi. energi listrik untuk melakukannya. Diketahui kebutuhan listrik Jawa sejak tahun lalu pada tahun 2013 sekitar 69,96 TWh, dan sekarang diketahui bahwa Jawa akan menjadi kawasan industri terbesar di Indonesia pada tahun 2020, dan kebutuhan energi sebesar 203,19 TWh. Oleh karena itu, Indonesia harus memiliki sumber energi terbarukan agar nantinya dapat berkontribusi dalam pengurangan sumber energi listrik.

Di sisi lain, meningkatnya permintaan energi listrik berarti pasokan energi listrik Indonesia semakin berkurang. Akibat berkurangnya pasokan listrik, masalah serius krisis listrik di Indonesia akhir-akhir ini muncul. Belum lagi distribusi listrik yang tidak merata di pelosok Indonesia. Indonesia dikenal dengan potensi sumber daya alam yang melimpah yang dapat dimanfaatkan untuk mengelola pembangkit listrik seperti sungai, waduk, batu bara dan udara. Berdasarkan sumber daya alam yang dapat menjadi sumber utama pembangkit tenaga listrik, maka perlu dilakukan pemanfaatan sumber daya alam tersebut untuk mengatasi masalah ketersediaan

tenaga listrik. Oleh karena itu, diperlukan suatu ide untuk menggunakan NACA 0021 untuk mempelajari dan menganalisis pengaruh jumlah bilah rotor terhadap kinerja turbin angin. Ini adalah langkah pertama dalam membuat pembangkit listrik tenaga air menggunakan lembar NACA0021.

Berdasarkan dengan hasil pengujian yang telah dilakukan beberapa pengujian dari sudut 10° , 15° , 20° , kemudian mengeluarkan hasil yang maksimum diantara pengujian tersebut yaitu pada sudut 15° . Kemudian dilakukan pengujian lagi dengan menambahkan wing tip dengan dua versi pada awalnya menggunakan lapisan pertama selanjutnya menggunakan lapisan kedua.

Dari hasil percobaan dapat di simpulkan bahwa sudut 15° mengeluarkan hasil yang maksimum dengan nilai rata-rata 1.3 (Ampere), 10.3(Volt), daya angin 30 daya turbin 15.11 watt, efisiensi 0.503 %. Wing tip 1 menghasilkan nilai rata-rata sebesar 1.4 (Ampere), 11.6 (Volt), daya angin 30, daya turbin 17.01 watt, efisiensi sebesar 0.580 %. Wing tip 2 menghasilkan nilai rata-rata sebesar 2 (Ampere), 12.5 (Volt), daya angin 30, daya turbin 25.35 watt, efisiensi sebesar 0.844 %

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam hal penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jumlah sudu rotor blade terhadap unjuk kerja wind turbin dengan menggunakan blade NACA 0021?
2. Bagaimana pengaruh performa besarnya daya yang dihasilkan oleh blade NACA 0021?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ini adalah :

1. Material Turbin memakai Aluminium Plate 0.6 mm. lapisan aluminium 0.3 mm, pipa aluminium
2. Airfoil yang di pakai adalah jenis NACA 0021
3. Generator 24 Volt

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai pokok permasalahan yang disebutkan penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu rotor blade terhadap unjuk kerja wind turbin dengan menggunakan *blade naca 0021*.
2. Untuk mengetahui pengaruh performa besarnya daya yg di hasilkan oleh *blade naca 0021*.
3. Membuat alat yang dapat memanfaatkan energi angin untuk keperluan pembangkit listrik skala kecil.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat memenuhi kebutuhan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik menggunakan *blade naca 0021*.
2. Memberikan manfaat ekonomis dalam penyediaan energi listrik.
3. Sebagai pedoman untuk mengembangkan energi listrik tenaga angin (kincir angin)
4. Sebagai hasil pembandingan bagi penelitian selanjutnya.
5. Memberikan pengalaman kepada mahasiswa dalam membuat dan terlibat dalam proyek ilmiah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Study Literatur

Studi kasus turbin angin dengan sudu dari Naca 0021 telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya yang melakukan penelitian dengan berbagai cara. Berikut penelitian yang ditemukan oleh penulis. Bang Bang Setiaco (2007). Dengan kenaikan harga BBM masyarakat terdorong untuk mencari alternatif baru yang lebih mudah didapat dan lebih murah untuk memperoleh energi mekanik yang nantinya akan diubah menjadi energi listrik.

Karena angin merupakan energi kinetik yang murah dan mudah didapat, angin digunakan untuk tujuan penelitian dan digunakan oleh berbagai pihak untuk menghasilkan listrik sebagai penggerak generator. Teknik pengolahan dan analisis data dalam pembuatan kincir angin dilakukan dengan memperoleh data jumlah kipas angin, ukuran sudut, kecepatan angin, dan kecepatan putaran.

Analisis regresi digunakan sebagai cara untuk membangun hubungan fungsional. Antara dua variabel, variabel bebas dan variabel terikat. Dimensi kipas adalah struktur tiang 9 meter yang terdiri dari empat bilah yang terbuat dari lembaran aluminium dengan diameter 3 m, lebar 1,30 m dan tinggi 2,50 m.

Karena putaran kipas bisa dipercepat 20 kali (1:20) untuk memutar arus dinamo dan mengisi lonjakan aki, aki bisa memutar dinamo DC, dan dinamo AC juga berputar untuk menghasilkan listrik. Besarnya daya yang dihasilkan kurang lebih ± 1500 watt dalam waktu ± 30 menit. Sulistyoadmadi (2008), Perwakilan dari National Aerospace Laboratory of Japan Studi Nasional (LAPAN) untuk mengembangkan metode parameter rotor turbin Angin sumbu vertikal tipe Savonius.

Pelajaran ini Menentukan parameter awal rotor turbin angin sumbu vertikal Savonius. Kapan Angin dan kecepatan spesifik, lalu luas, diameter, tinggi, kecepatan Anda dapat menentukan putaran rotor. Area rotor sangat dipengaruhi oleh faktor keluaran. Kecepatan rotor desain dapat dihitung sesuai dengan diameter rotor Ini dihitung dan rasio kecepatan ujung ditentukan. Penelitian ini menggunakan rasio diameter Hingga ketinggian 0,1. 0,8; 0,8 Hasil adalah tabel

kinerja dan kecepatan B. Angin, area rotor, diameter, tinggi, kecepatan dapat digunakan Turbin angin ini bisa, jadi desain asli turbin angin Savonius untuk pemula Lebih mudah (Adityo Putranto, 2011).

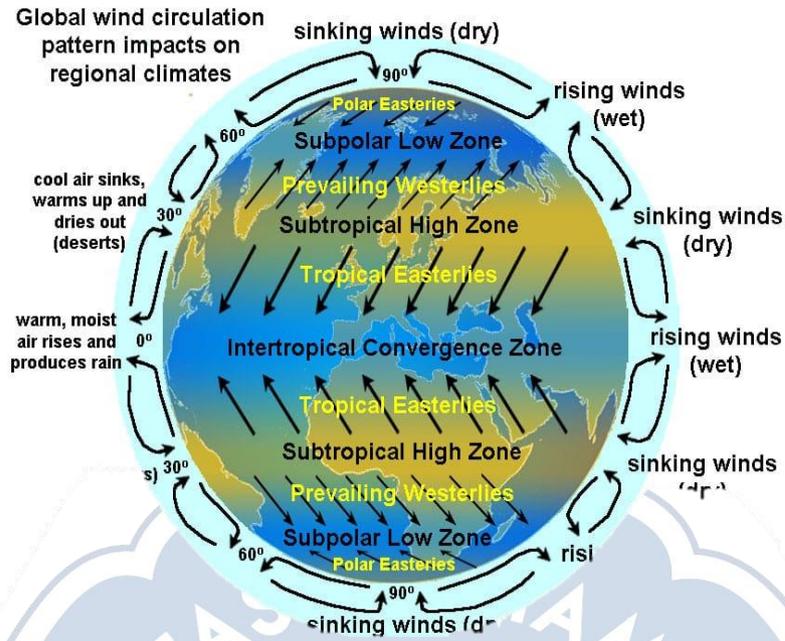
2.2 Konsep Dasar Angin

Angin adalah sumber daya yang melimpah. Angin sangat berguna dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu pemanfaatan angin adalah sebagai sumber energi.

Angin menggerakkan udara yang disebabkan oleh rotasi bumi dan perbedaan tekanan atmosfer di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat dengan tekanan udara rendah. Definisi lain dari angin adalah udara yang bergerak di sekitar angin karena perbedaan rotasi dan tekanan bumi. Angin bergerak dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat dengan tekanan udara rendah. (Kartasapoetra, Ance Gunarsih, Ir., 1993. "klimatologi pengaruh iklim terhadap tanah dan tanaman. Jakarta: Bumi Aksara.

Angin adalah sumber energi yang sangat produktif dan tidak ada habisnya. Angin menggerakkan udara karena perbedaan tekanan atmosfer di sekitarnya. Angin bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah saat memanaskan. Udara yang diperluas menjadi lebih ringan dan naik. Ketika ini terjadi, udara habis dan tekanan udara turun. Udara menyusut, lebih berat, dan tenggelam ke tanah. Di tanah, udara menghangat lagi dan naik lagi. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi.

Pada suatu wilayah, daerah yang menerima energi panas matahari lebih besar akan mempunyai suhu udara yang lebih panas dan tekanan udara yang cenderung lebih rendah. Sehingga akan terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit menerima energi panas, akibatnya akan terjadi aliran udara pada wilayah tersebut. (Eldo Elmer Kharisma Widodo, 2019).

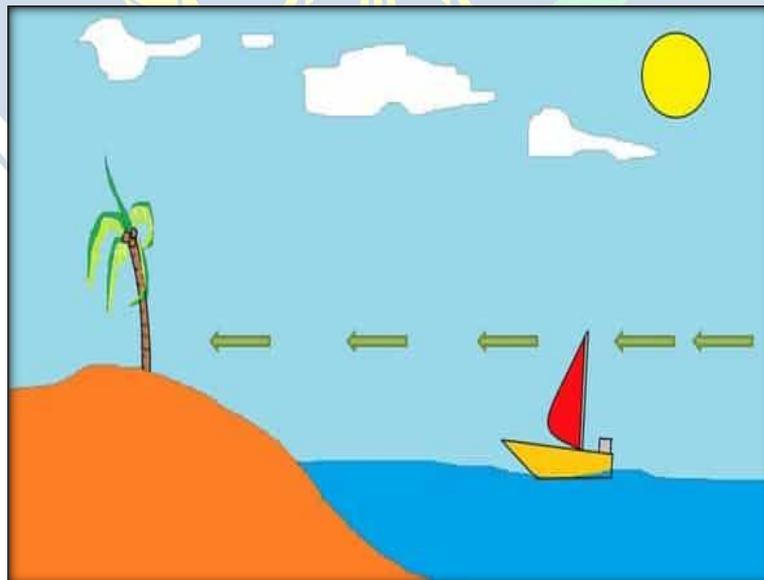


Gambar 2.1 Proses Terjadinya Angin Pusat

2.3 Jenis – jenis Angin

1. Angin Laut

Angin laut bertiup dari pagi hingga siang hari. Angin laut bertiup dari laut ke darat. Angin laut dimanfaatkan oleh para nelayan yang kembali ke daratan setelah perjalanan malam.



Gambar 2.2 Skema Angin Laut

2. Angin Darat

Angin darat adalah angin lepas pantai. Angin darat yang bertiup pada malam hari. Angin darat bertiup dari darat ke laut. Angin darat adalah angin kering. Angin darat digunakan oleh nelayan untuk melaut. Inilah perbedaan antara angin laut dan angin darat.



Gambar 2.3 Skema Gambar Angin Darat

3. Angin Lembah

Pada siang hari, lereng gunung lebih panas oleh matahari daripada lembah. Ini menciptakan perbedaan tekanan antara lereng gunung dan lembah. Lereng gunung memiliki tekanan udara yang lebih rendah daripada lembah, sehingga angin bergerak dari lembah ke lereng pegunungan. Angin ini dikenal sebagai angin lembah.

4. Angin Gunung

Pada malam hari, suhu lereng gunung lebih rendah dari suhu lembah. Akibatnya, tekanan udara di lereng gunung lebih tinggi daripada di lembah, menciptakan angin gunung yang ditarik dari lereng gunung ke lembah.

ANGIN LEMBAH DAN ANGIN GUNUNG



Gambar 2.4 Skema Angin Lembah dan Angin Gunung.

5. Angin Fohn

Angin fohn adalah angin yang terjadi ketika massa udara mengalir ke atas pegunungan dengan ketinggian lebih dari 200 meter. Massa udara yang mencapai puncak gunung mengembun dan akhirnya hujan di satu sisi lereng. Lereng lainnya terhalang oleh pegunungan tinggi, sehingga tidak akan turun hujan. Daerah yang tidak terkena hujan disebut daerah bayangan hujan. Di daerah bayangan hujan, angin dari puncak gunung turun dengan kecepatan tinggi di lereng gunung. Ini menaikkan suhu sebesar $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk setiap penurunan suhu 100 meter. Oleh karena itu, angin ke bawah panas dan kering. Angin ini disebut angin fohn.



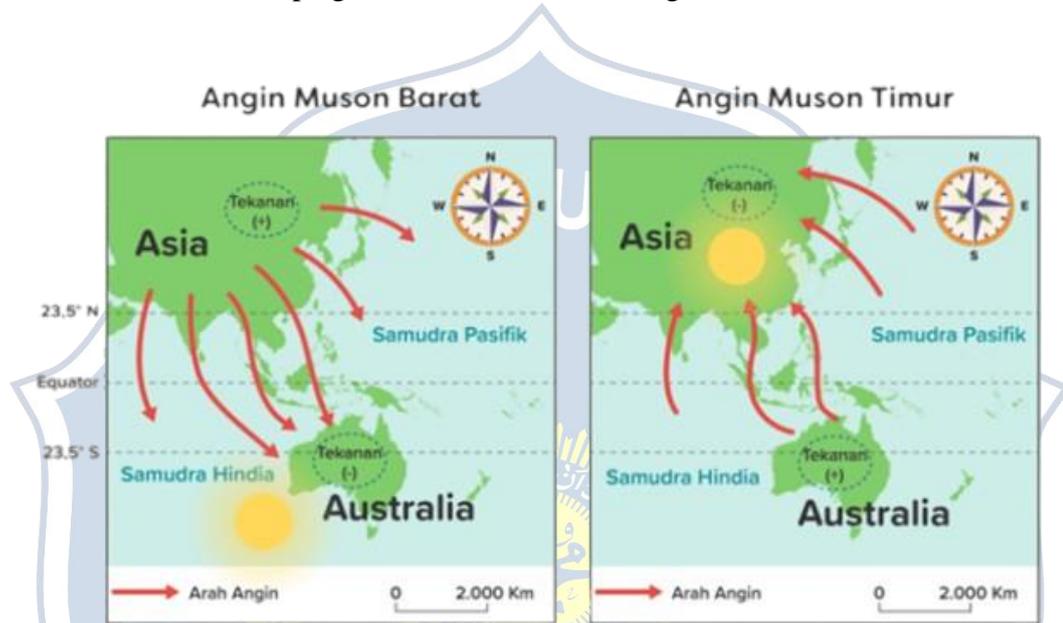
Gambar 2.5 Skema Angin Fohn.

6. Angin Muson Barat

Angin dari benua Asia ke benua Australia ini membawa sejumlah besar uap air saat melewati air dan lautan. Saya sedang mengalami musim hujan seperti halnya Indonesia.

7. Angin Muson Timur

Dari benua Australia ke benua Asia ini adalah musim kemarau karena melintasi beberapa gurun, dan Indonesia mengalami musim kemarau.



Gambar 2.6 Skema Angin Muson Barat dan Angin Muson Timur.

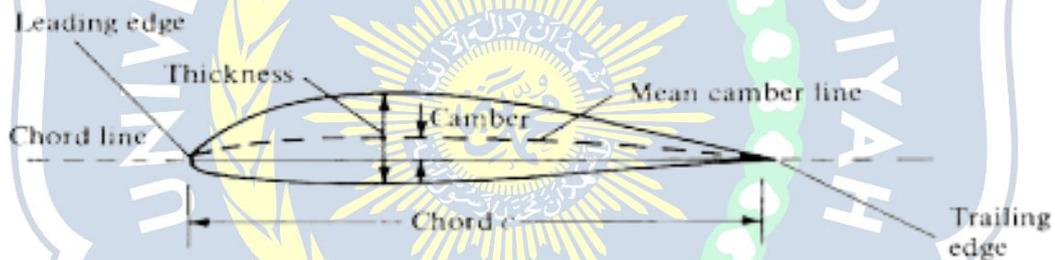
2.4 Airfoil

Airfoil NACA adalah salah satu bentuk airfoil paling sederhana yang dapat digunakan untuk memberikan gaya angkat tertentu ke objek lain, dan solusi matematis digunakan untuk menghasilkan airfoil. Anda dapat memprediksi gaya angkat. NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) adalah standar untuk desain airfoil. NACA menggunakan airfoil dengan sistem key number seperti NACA 4-digit series, NACA 5-digit series, NACA-1 series (16 series), NACA-6 series, NACA-7 series, NACA-series 8. meningkat.

Untuk airfoil NACA Series 4, digit pertama mewakili persentase camber dan string maksimum. Digit kedua mewakili camber maksimum dari tepi depan dan posisi kesepuluh dari akord. Digit terakhir mewakili persentase ketebalan sayap ke akord. .. Untuk airfoil NACA seri 5 digit, kalikan digit pertama dengan 3/2 lalu bagi

dengan 10 untuk mendapatkan nilai koefisien lift desain. Dua digit berikutnya adalah persentase defleksi maksimum untuk senar. Dua digit terakhir adalah persentase ketebalan string. Profil NACA Seri 1, dikembangkan sekitar tahun 1939, merupakan seri pertama yang dikembangkan berdasarkan perhitungan teoritis. Airfoil seri 1 yang paling umum digunakan memiliki tekanan minimum pada string 0,6 dan dikenal sebagai airfoil seri 16.

Salah satu bentuk fungsi airfoil adalah mengambil bentuk gaya angkat berdasarkan bentuk badan dengan perhitungan yang sangat matematis. Kedua, terdapat drag/drag yang besar, dan lift dilepaskan ke rotor turbin melalui airfoil. Airfoil adalah bentuk tubuh yang aerodinamis. Lift dan drag yang dihasilkan oleh airfoil dihasilkan oleh perubahan bentuk dan memiliki dampak besar pada properti. Bagian-bagian profil yang mempengaruhi bentuk dan sifat profil adalah: leading edge, camber, thickness, average camber line, chord dan chord lines (Noebertus Adi Saputra Malau, 2019).



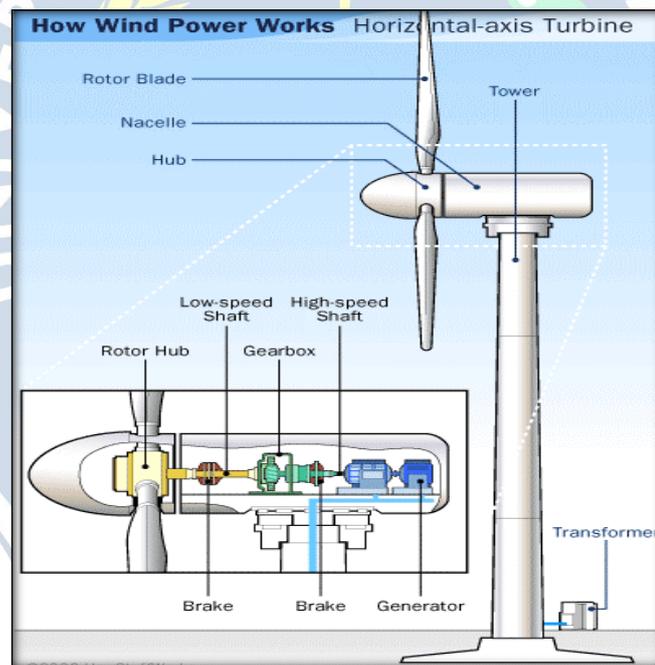
Gambar 2.7 Bagian-Bagian Terdapat Pada Sudu Airfoil.

- Camber* adalah besarnya jarak antara garis rata-rata airfoil atas dan bawah terhadap garis tengah (Chord line).
- Thickness* adalah ketebalan maksimum dari bentuk airfoil dan menunjukkan presentasi dari chord.
- Mean camber line* adalah garis yang berada di tengah tengah dengan membagi antara permukaan atas dan bawah pada *airfoil*.
- Chord* adalah perpanjangan dari *chord line* mulai dari *leading edge* hingga *trailing edge*. Dengan kata lain, *chord* adalah karakteristik *dimensi longitudinal* dari suatu *airfoil*.

- e. *Chord line* adalah garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*.
- f. *Trailing edge* adalah bentuk dari bagian paling ujung *airfoil* atau sayap secara umum berbentuk runcing.

2.4.1 Prinsip Kerja Turbin Angin

Prinsip operasi dasar turbin angin adalah mengubah energi mekanik. Kincir angin diubah dari angin menjadi energi dan kemudian diputar menggunakan kincir angin. Ini menggerakkan generator, yang menghasilkan listrik. Energi Listrik ini biasanya disimpan dalam baterai sebelum digunakan. Turbin angin sederhana terdiri dari sebuah roda atau rotor dengan baling-baling atau sudu-sudu yang terpasang. Turbin angin bekerja dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh kecepatan angin untuk memutar baling-baling. Rotasi diubah menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik diubah menjadi energi listrik oleh generator.



Gambar 2.8 Struktur Internal Turbin.

Dalam satu turbin terdapat beberapa komponen di antaranya :

- a. Blade.
- b. Hub.
- c. Rotor.
- d. Tower.
- e. Turbin.
- d. Generator

Pada umumnya turbin angin saat ini menggunakan sumbu horizontal dengan baling-baling berbilah. Rotor adalah bagian dari turbin yang menyediakan energi angin sebagai sumber untuk menggerakkan turbin dan terdiri dari hub dan beberapa sudu yang terpasang pada hub. (Warda.kaddihani 7 November 2017.)

2.4.2 Turbin Angin

Kincir angin merupakan alat konveksi dari energi kinetik (energi kinetik) menjadi energi listrik. Rotasi di sekitar sumbu ini dapat digunakan untuk kebutuhan masyarakat yang berbeda. Awalnya, kincir angin dibangun untuk kebutuhan petani yang menggiling padi dan gandum, dan untuk irigasi dan keperluan lainnya. Kincir angin sebelumnya ditemukan di Denmark, Belanda & tidak hanya di Amerika Serikat, yang dikenal sebagai kincir angin, tetapi juga di negara-negara Eropa.

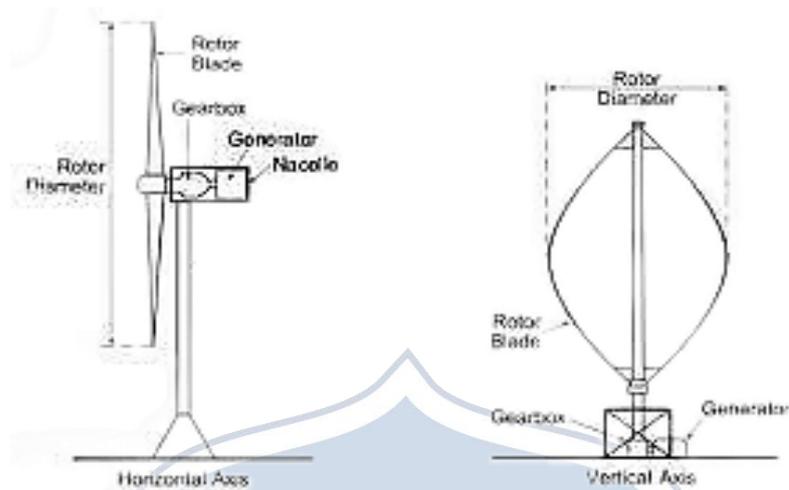
Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, tenaga angin menjadi energi terbarukan, dan menggunakan prinsip transformasi energi menggunakan sumber daya alam terbarukan, tenaga angin lebih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Dan banyak negara, termasuk Indonesia sendiri, sedang mengembangkan teknologi angin. Hingga saat ini pembangunan kincir angin belum mampu bersaing dengan pembangkit listrik tradisional seperti PLTD, PLTU dan PLTN.

Perhitungan yang mampu dihasilkan untuk sebuah turbin angin diameter sudu adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3$$

Dimana ρ adalah kerapatan angin pada waktu tertentu dan adalah kecepatan angin pada waktu tertentu. Umumnya daya aktif yang diperoleh dari turbin angin adalah 20% sampai 30%.

Prinsip dasar kerja turbin adalah memutar motor/generator dan mengubah energi mekanik dari penggerak rotor yang pada akhirnya menghasilkan listrik. Namun, ada berbagai subsistem yang dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi turbin angin.



Gambar 2.9 Turbin Angin Horizontal dan Vertical.

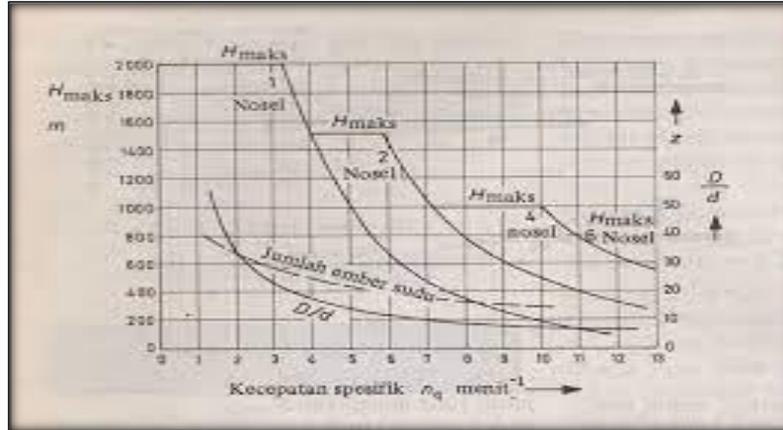
Desain turbin angin saat ini dibagi menjadi dua jenis berdasarkan posisi sumbu: turbin angin sumbu horizontal (TSAH) dan turbin angin sumbu vertikal (TASVI). (Yosef Cafasso Amara Sekar Prabhadhanu, 2016).

2.4.3 Pemilihan Jenis Turbin

Saat memilih jenis turbin, setidaknya seseorang sudah mengetahui kecepatan alirannya. Ini karena jika anda mengetahui laju aliran, Anda akan mengetahuinya nanti ketika anda memilih jenis turbin saat memilih jenis tabung.

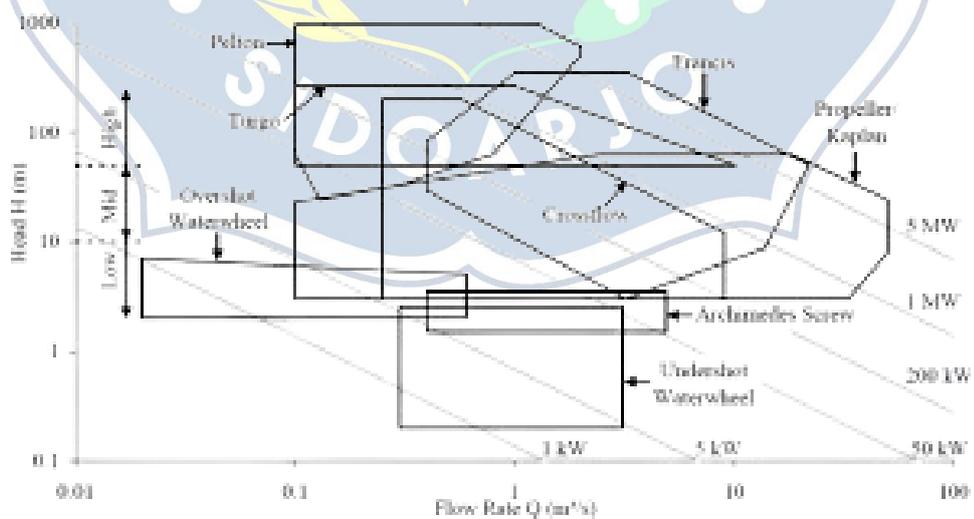
Anda dapat mengurutkannya sesuai dengan pengetahuan yang sudah Anda ketahui di atas. Anda juga dapat memperhitungkan semua elemen sistem turbin. Sebagai contoh:

1. Dampak dari lokasi material yang dipilih dan digunakan kemudian meliputi aliran dan drainase.
2. Dampak kinerja sesuai dengan media yang akan anda gunakan nanti drainase.
3. Pengaruh terhadap kecepatan turbin apakah pori-pori diubah menjadi generator. Dari pengaruh ini, penentuan kecepatan turbin sangat cocok untuk menentukan karakteristik hubungan head dan laju aliran, dan dapat ditentukan pilihan jenis turbin, sehingga jenis turbin meningkat. Turbin sesuai dengan kondisi operasi.



Gambar 2.10 Grafik Hubungan Antara Tinggi Jatuh Net dan Debit Aliran.

Dalam pemilihan tipe turbin berdasarkan tabel referensi head, variasi head yang tersedia dapat digunakan untuk menentukan tipe turbin seperti dijelaskan di atas. Jenis turbin dipilih berdasarkan penggunaan head maksimum dan debit menggunakan rentang kecepatan tertentu untuk setiap jenis turbin. Gambar 2.11 menunjukkan bagan untuk memilih kapasitas tipe turbin yang menyediakan beban tinggi. Bagan ini memungkinkan Anda untuk memilih beberapa fungsi turbin dengan beban dan ketinggian yang sama. Turbin optimal dipilih berdasarkan kondisi lapangan, dengan mempertimbangkan ukuran dan efisiensi, serta karakteristik komparatif. Mas`ud Ibnu.2020).



Gambar 2.11 Diagram Pemilihan Turbin

2.4.4 Jenis-jenis Kincir Angin

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator di bagian atas menara. Turbin kecil digerakkan oleh alat pengukur cuaca sederhana, sedangkan turbin besar biasanya menggunakan sensor arah dan kecepatan angin yang digabungkan ke servomotor. Dalam kebanyakan kasus, ada gearbox yang mengubah roda yang berputar dengan kecepatan rendah menjadi roda dengan kecepatan tinggi. Menara di belakangnya, sehingga turbin biasanya diarahkan ke arah angin dari menara. Bilah turbin diperkuat untuk mencegahnya didorong ke arah menara oleh angin berkecepatan tinggi. Juga, bilah ditempatkan di kejauhan dan sedikit dimiringkan di depan menara. Kebanyakan TASH adalah mesin updraft karena turbulensi merusak struktur menara dan keandalan sangat penting. Terlepas dari masalah pusaran angin, mesin bawah angin tidak memerlukan mekanisme tambahan untuk beradaptasi dengan angin, bilah dapat menekuk dalam angin yang sangat kencang, area tiupan berkurang dan hambatan angin pada bilah rotor berkurang.



Gambar 2.12 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH):

- a. Sebuah dasar menara yang tinggi menyediakan akses ke angin yang lebih kuat di mana ada geseran angin (perbedaan antara kecepatan dan arah angin) antara dua titik yang relatif dekat di atmosfer bumi. Pada beberapa titik geser angin, kecepatan angin meningkat sebesar 20% untuk setiap 10 meter atau lebih.

Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH):

- a. Sebuah dasar menara yang tinggi menyediakan akses ke angin yang lebih kuat di mana ada geseran angin (perbedaan antara kecepatan dan arah angin) antara dua titik yang relatif dekat di atmosfer bumi. Pada beberapa titik geser angin, kecepatan angin meningkat sebesar 20% untuk setiap 10 meter atau lebih.
- b. TASH yang tinggi sulit untuk dipasang dan membutuhkan crane yang sangat besar dan mahal serta operator yang kuat.
- c. TASH tinggi dapat mempengaruhi radar bandara. Dengan kata lain,
- d. Ukurannya yang tinggi mengaburkan dan mengalihkan pandangan. Penampilan yang indah.

Berbagai varian downwind angin mengalami kerusakan struktural melalui pusaran turbulensi.

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal.

Untuk turbin angin sumbu vertikal (atau TASV), poros/sumbu rotor utama ditempatkan secara vertikal. Keuntungan utama dari pengaturan ini adalah turbin tidak harus menghadap angin agar efektif. Ini sangat berguna di tempat-tempat di mana arah angin berubah secara signifikan. VAWT dapat menggunakan angin dari arah yang berbeda. Sumbu vertikal memungkinkan generator dan gearbox ditempatkan lebih dekat ke tanah sehingga menara tidak perlu menopangnya dan lebih mudah diakses untuk perawatan. Namun, ini menghasilkan banyak desain yang menghasilkan torsi yang

berdenyut. Gaya yang menahan pergerakan benda padat melalui fluida (cair atau gas) dapat terjadi saat kincir berputar.



Gambar 2.13 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal(TASV):

- a) Tidak diperlukan struktur menara besar
- b) TASV dapat dibawa lebih dekat ke tanah, yang memfasilitasi pemeliharaan bagian yang bergerak.
- c) TASV memiliki sudut sayap yang lebih tinggi (bentuk bilah baling-baling terlihat di mistar gawang), memberikan aerodinamika tinggi sekaligus mengurangi hambatan pada tekanan rendah dan tinggi.
- d) Desain penampang pisau lurus, persegi atau persegi panjang TASV memiliki area ekspansi yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada area ekspansi melingkar TASH.
- e) Kecepatan angin awal TASV lebih rendah dari TASH. Biasanya, TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km / jam (6 mph).

- f) TASV biasanya memiliki rasio kecepatan maksimum (rasio antar kecepatan). Rotasi ujung sayap pada kecepatan angin sebenarnya rendah, dan sulit dipatahkan ketika angin bertiup sangat kencang.
- g) TASV dapat dibangun di tempat-tempat di mana struktur yang lebih tinggi dilarang.
- h) Terletak di dekat tanah, TASV tersedia di berbagai lokasi untuk mengirimkan angin dan meningkatkan kecepatan angin (seperti gunung, bukit rendah, dan puncak bukit).
- i) Jika arah angin berubah, posisi TASV tidak perlu diubah.
- j) Turbin angin TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) :

- a. Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- b. TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- c. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- d. Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberitikan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup. (Adityo Putranto, 2011).

2.5 Rumus Perhitungan Unjuk Kerja Wind Turbin

1. Daya angin

Rumus yang menghitung besarnya daya yang dimiliki oleh angin merupakan besarnya energy kinetik angin persatuan waktu. Sehingga dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

Dengan E_k adalah Energi Kinetik(J), v adalah kecepatan angin (m/s), dan m adalah masa angin (kg).

Maka dari rumus energy kinetic dapat diperoleh besarnya daya angin.

Berikut rumusnya :

$$P_{angin} = \frac{1}{2} m v^2$$

Dengan m adalah laju aliran massa angin (kg/s), P_{wind} adalah besarnya daya yang di hasilkan oleh angin (W), dan v adalah kecepatan angin.

Kemudian besarnya m dapat di cari dengan rumus :

$$m = \rho A v$$

Dengan ρ adalah massa jenis udara (kg/m^3). A adalah luas penampang yang akan digunakan (m^2) dan v adalah kecepatan angin (m/s).

Dengan persamaan yang ada kita dapat menghitung besarnya daya yang dimiliki oleh angin dengan menggunakan rumus berikut:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Dengan ρ adalah massa jenis udara (kg/m^3), A adalah luas penampang yang akan digunakan (m^2), v adalah kecepatan angin (m/s), dan P_{angin} adalah besarnya daya yang dihasilkan oleh angin (W).

2. Torsi

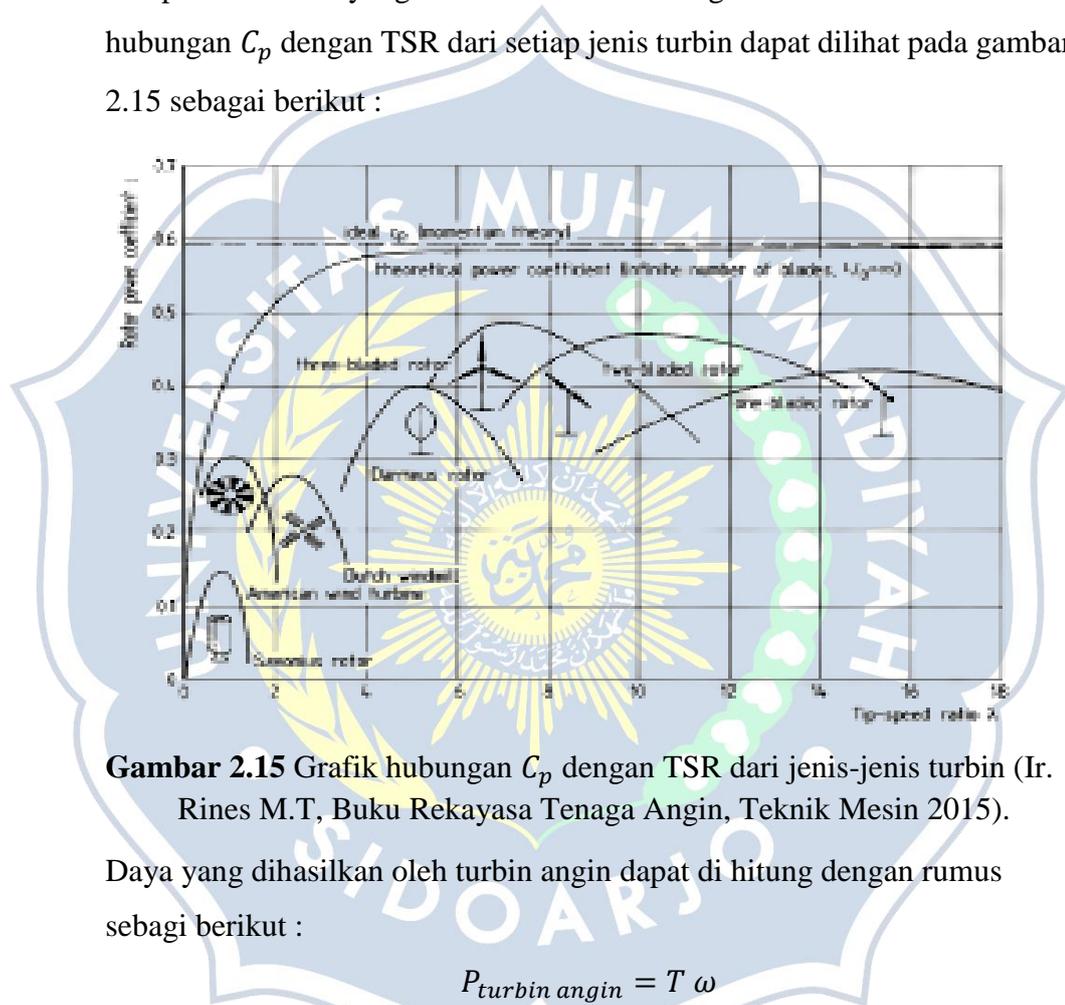
Torsi merupakan besarnya *moment* gaya putar poros pada turbin yang besarnya dipengaruhi oleh panjang antara titik pusat poros sampai jari-jari atau jarak tertentu. Berikut rumus untuk mencari torsi :

$$T = F L$$

Dengan T adalah torsi yang dihasilkan oleh perputaran poros turbin yang berputar (N.m), F adalah gaya pembebanan yang di berikan (N), dan L adalah jari-jari atau jarak lengan torsi (m).

3. Daya Turbin Angin

Daya pada turbin angin di hasilkan dikarenakan adanya angin yang melewati sudu-sudu turbin angin sehingga turbin angin berputar. Daya pada turbin angin dapat kita hitung melalui perputaran porosnya. Berdasarkan penelitian dari fisikawan asal Deutschland, Albert Betz, efisiensi maksimum yang dapat dimiliki suatu turbin angin hanyalah sebesar 59,3% dan penemuan ini yang kemudian dikenal dengan nama *Betz limit*. Grafik hubungan C_p dengan TSR dari setiap jenis turbin dapat dilihat pada gambar 2.15 sebagai berikut :



Gambar 2.15 Grafik hubungan C_p dengan TSR dari jenis-jenis turbin (Ir. Rines M.T, Buku Rekayasa Tenaga Angin, Teknik Mesin 2015).

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{turbin\ angin} = T \omega$$

Dengan $P_{turbin\ angin}$ adalah daya pada turbin (W), T adalah besarnya torsi dinamis turbin angin (N.m), dan ω adalah kecepatan sudut kincir angin (rad/s).

Kecepatan sudut putar yang di miliki oleh sebuah turbin dapat di hitung dengan rumus berikut :

$$\omega = (2 \pi n)/60$$

Dengan n adalah putaran poros (rpm).

Maka besarnya daya yang dihasilkan oleh suatu turbin angin dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$P_{turbin\ angin} = (2 \pi n T)/60$$

4. *Tip speed ration*

Tip speed ration atau TSR merupakan perbandingan antara kecepatan ujung sudu turbin angin dengan kecepatan angin. TSR dapat di hitung dengan rumus berikut :

$$\lambda = (2 \pi n r)/(60v)$$

Dengan λ adalah *tip speed ration*, r adalah jari-jari turbin angin (m), n adalah kecepatan putar poros (rpm), dan v adalah kecepatan angin (m/s).

5. *Power coefficient*

Power coefficient merupakan hasil perbandingan antara daya yang di hasilkan oleh suatu turbin angin dengan daya yang dihasilkan oleh angin. Berikut cara untuk menghitung *Power coefficient*.

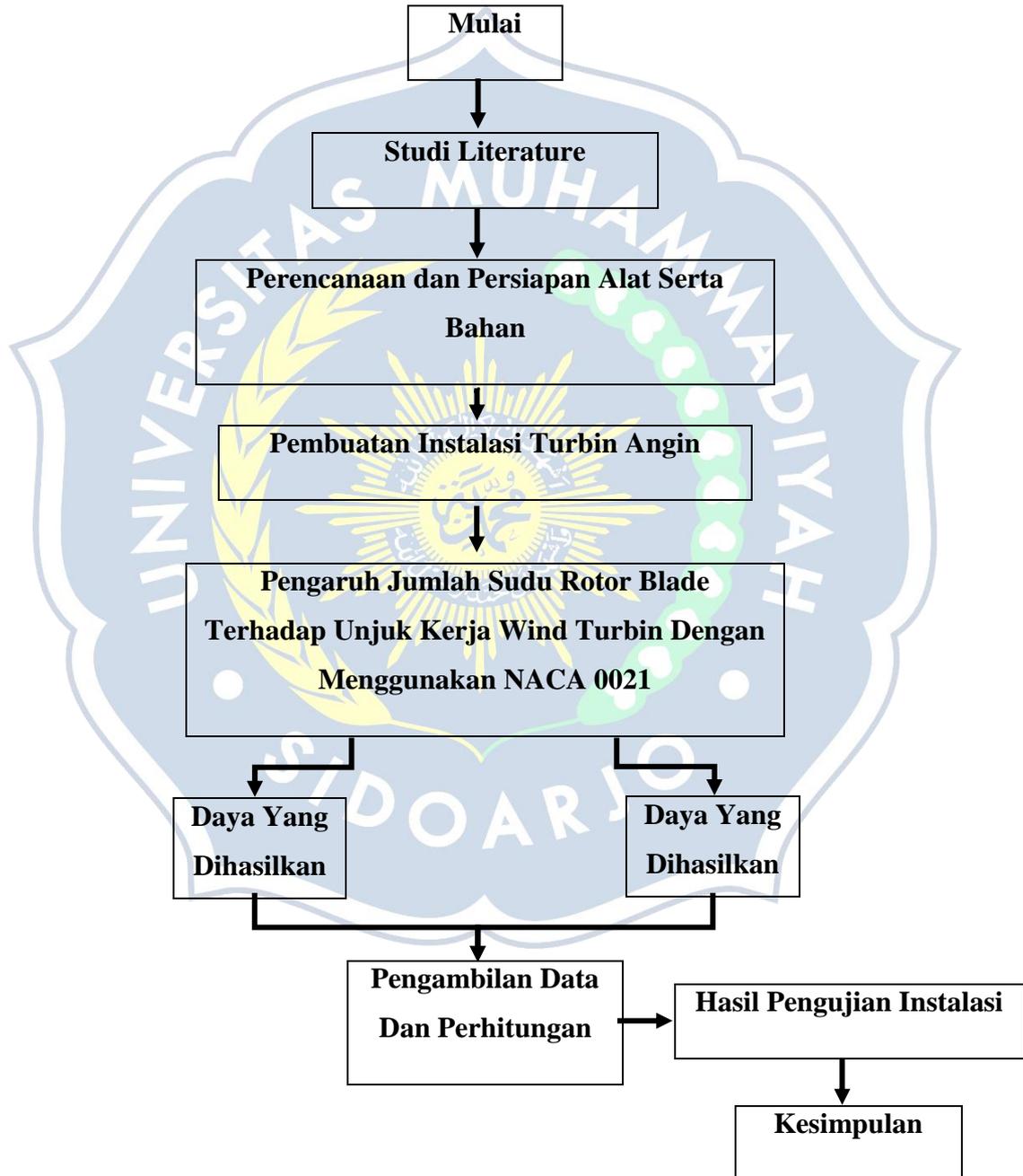
$$C_p = (P_{turbin\ angin}/P_{angin}) \times 100\%$$

(Edo Elmer, 2019)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Aliran Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam menyusun disertasi dapat digambarkan dalam diagram alir (*Flow Chart*) sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini berisikan perencanaan dan pembuatan alat yang akan di ujikan dan meliputi tahapan sebagai berikut :

a. Persiapan pengambilan data

Ada beberapa tahan pada tahapan ini, sebagai berikut :

1. Survei di tempat adalah pengumpulan data di tempat dengan cara mencatat data objek yang disurvei sesuai kebutuhan dan turun langsung ke lokasi untuk mengumpulkan data.
2. Studi Sastra terdiri dari teori-teori yang ada, yang dikumpulkan dan kemudian dibaca, mengutip studi sastra yang berkaitan dengan rumusan masalah pokok dari sudut pandang teoritis dari segi perhitungan formal. Penulis dapat membuat solusi.
3. Penelitian Studi Sastra adalah teori yang mendasari soal-soal ujian dan penjelasan mata kuliah yang diberikan oleh instruktur dan pembimbing.

b. Tahapan Perencanaan dan Pembuatan Alat.

Pada tahapan ini ada beberapa tahap, sebagai berikut :

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan dan pengujian turbin angin.
2. Menentukan ukuran parameter alat uji ketebalan yang digunakan dengan NACA 0021 dan pelat tipis yang digunakan untuk lapisan airfoil.
3. Tentukan ukuran alat pemeriksa panjang gelombang turbin angin 1,2 meter, panjang lengan dari poros ke sudu rotor 40 cm, dan diameter puli yang akan digunakan.
4. Kami menyediakan alat seperti genset yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik.
5. Konversi arus searah menjadi arus bolak-balik yang dihasilkan oleh generator dan inverter.
6. Pasang fasilitas pengujian di lokasi komponen yang direncanakan.
7. Menganalisis dan merekam data perangkat uji.

3.3 Variabel Penelitian

Dari variabel penelitian ini ada dua variabel yang digunakan, sebagai berikut :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat berubah sewaktu-waktu dalam situasi dimana penelitian tidak memungkinkan. Dalam studi pengaruh ujung sudu terhadap kinerja turbin angin menggunakan NACA 0021, dalam studi variabel bebas, penulis melakukan penelitian sebagai berikut.

1. Variasi efek ujung sudu pada kinerja turbin angin.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang tidak dapat diubah sewaktu-waktu dan ditentukan oleh peneliti. Studi pengaruh ujung sudu terhadap kinerja turbin angin menggunakan NACA 0021. Dalam penelitian variabel terikat, penulis melakukan penelitian sebagai berikut:

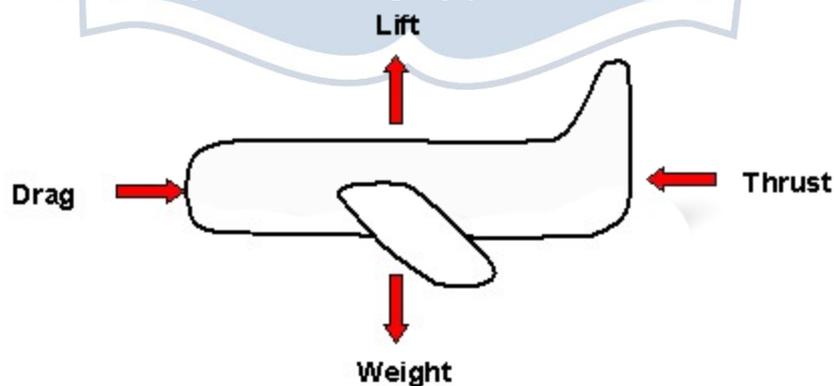
1. Perhitungan energi yang dihasilkan pada setiap percobaan turbin angin.
2. Perhitungan kecepatan yang diperoleh pada setiap percobaan turbin angina.
3. Perhitungan efisiensi setiap percobaan.

3.4 Alat dan Bahan Pengujian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Airfoil*

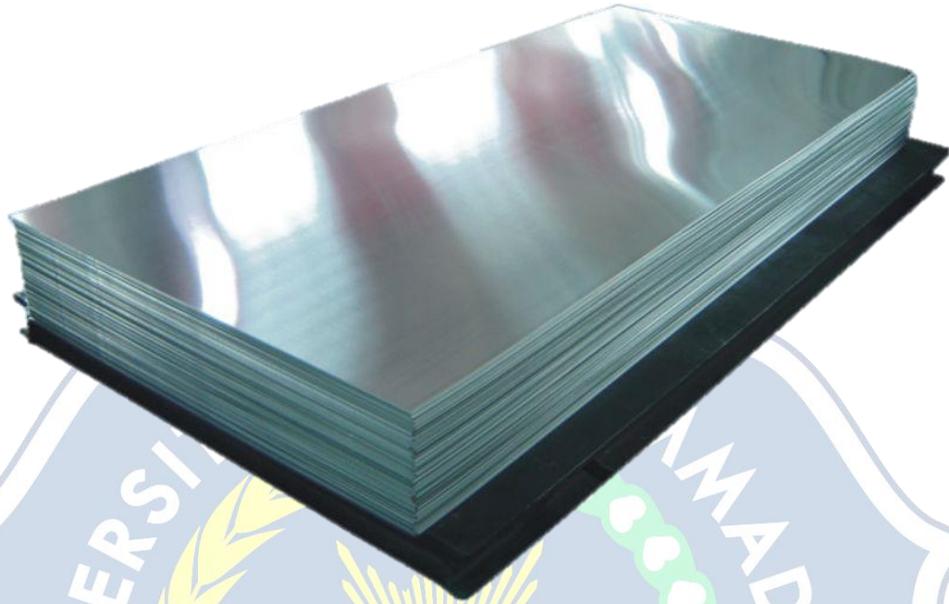
Bentuk sayap atau bilah baling-baling atau rotor. Airfoil yang digunakan adalah jenis NACA 0021 yang merupakan alat yang sangat sentral karena nantinya akan digunakan dalam pengujian kincir angin.



Gambar 3.2 Airfoil

2. Aluminium plate

Bahan ini dipilih karena ringan dan tahan lama, serta karena panel aluminium ini tahan cuaca dan tidak mudah terbakar.



Gambar 3.3 Aluminium Plate

3. Pipa aluminium

Pipa yang dipakai pada pengujian ini merupakan pipa aluminium menggunakan berukuran diameter yg telah disesuaikan menggunakan berukuran pembuatan kincir angin. Pipa ini dipilih lantaran bahannya yg ringan & juga kuat.



Gambar 3.4 Pipa aluminium

4. Generator

Generator merupakan komponen yang harus ada pada turbin angin. Generator sederhana memiliki komponen yang menghasilkan listrik, dan fungsi dari generator itu sendiri adalah mengubah energi potensial menjadi energi listrik, dimulai dari apa yang dihasilkan oleh putaran angin yang disebabkan oleh sebuah sudu rotor, dan sebuah poros dihubungkan ke generator oleh sebuah generator, pully, dan fanbelt.



Gambar 3.5 Generator DC 12 V

5. Pully

Alat penyangga berbentuk plat melingkar yang mengarahkan putaran ke pully kemudian menggunakan untuk menyambung ke generator.



Gambar 3.6 Pully

6. *Fanbelt*

Fanbelt adalah alat yang menghubungkan pully dengan alat karet seperti karet gelang.



Gambar 3.7 *Fanbelt*

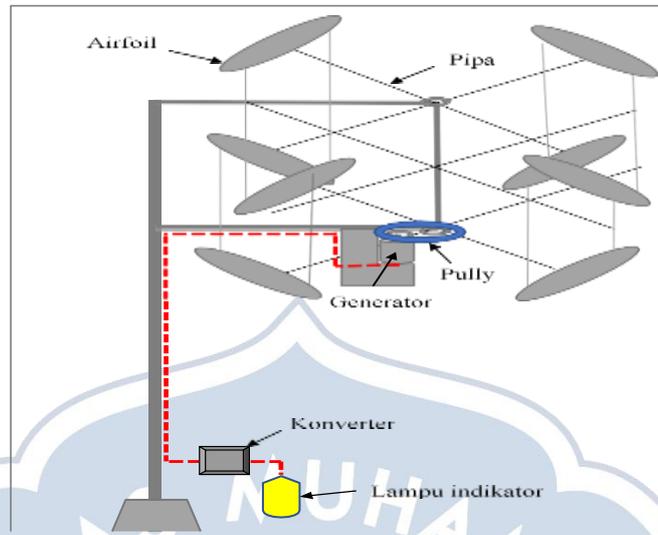
7. *Inverter*

Alat ini merupakan alat dengan tampilan yang dapat digunakan untuk menentukan volt dan ampere keluaran. Fungsi dari inverter ini adalah mengubah daya DC menjadi daya AC dengan cara menghubungkan kabel positif dan negatif ke generator.



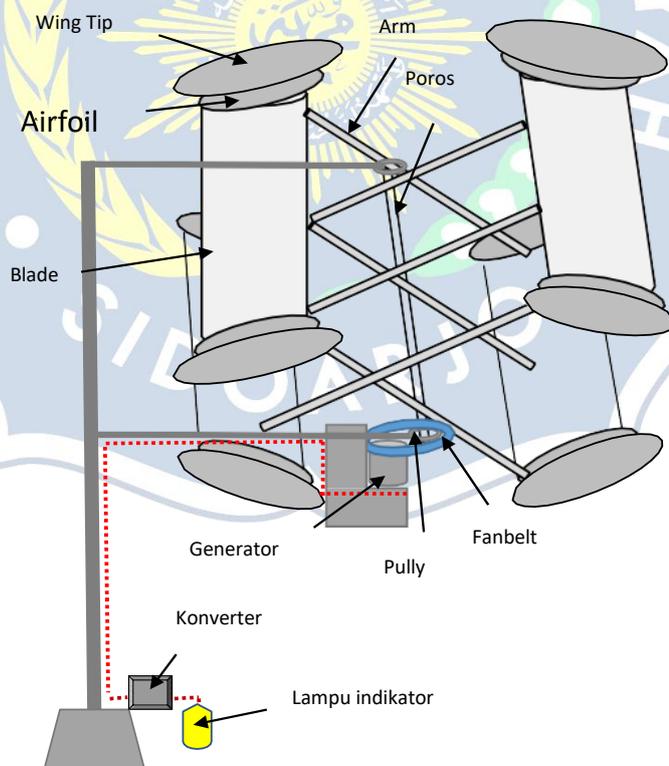
Gambar 3.8 Inverter

3.5 Instalasi Pengujian



Gambar 3.9 Instalasi Pengujian

3.6 Desain Alat



Gambar 3.10 Desain Alat

3.7 Parameter Tanpa Wing Tip

Alat adalah komponen yang ditempatkan pada turbin angin, yang merupakan alat yang paling penting. Alat ini terletak di dalam bilah rotor dan terletak di bagian atas, tengah dan bawah. Variasi tumpukan tambahan adalah tebal 0,6 mm, panjang bilah 24,3 cm, lebar 10,5 cm, dan menggunakan aluminium. Di bawah ini adalah parameter tanpa wing tip.



Gambar 3.11 Parameter Airfoil

3.8 Rencana Pengambilan Data

Tabel 3.1 Tabel Rencana Pengambilan Data Dengan Jumlah 2 Blade.

No	Sudu	Kecepatan angin (m/s)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya Angin	Daya Turbin	Efisiensi
1	2	6			30		
2	2	6			30		
3	2	6			30		
Nilai Rata-rata					30		

Tabel 3.2 Tabel Rencana Pengambilan Data Dengan Jumlah 3 Blade.

No	Sudu	Kecepatan angin (m/s)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya Angin	Daya Turbin	Efisiensi
1	3	6			30		
2	3	6			30		
3	3	6			30		
Nilai Rata-rata					30		

Tabel 3.3 Tabel Rencana Pengambilan Data Dengan Jumlah 4 Blade.

No	Sudu	Kecepatan angin (m/s)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya Angin	Daya Turbin	Efisiensi
1	4	6			30		
2	4	6			30		
3	4	6			30		
Nilai Rata-rata					30		

Langkah pertama adalah menguji wind turbin dengan pengujian awal hingga akhir pada blade 2, 3 dan 4, bertujuan untuk mengetahui performa alat terbaik untuk mengetahui kinerja operasi dari hasil jumlah blade tertentu.

Tabel 3.4 Rencana Pengambilan Data Terbaik Dari Hasil Pengujian

No	Sudu	Kecepatan angin (m/s)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya Angin	Daya Turbin	Efisiensi
1	2	6			30		
2	3	6			30		
3	4	6			30		

3.9 Prosedur Pengambilan Data

Adapun dalam tahap penelitian penulis melakukan rangkaian mengumpulkan data sebagai berikut:

1. Pemasangan rangkaian alat uji seperti kincir angin dengan 4 *Blade*, *pully*, *fan belt*, *generator*, *converter*, dan menyiapkan aplikasi *magnetic counter*.
2. NACA Sheet 0021 *bladeless tip wind turbine tests* pada *Blade 2*, 3 dan 4 ditujukan untuk menentukan performa operasi terbaik alat tersebut.
3. Amati dan catat hasil yang ditampilkan pada tampilan inverter.
4. Selesai

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan

Bab ini membahas pengujian instrumen serta analisis hasil pengujian pengaruh jumlah sudu rotor *blade* terhadap kinerja turbin angin menggunakan spesifikasi sudu NACA 0021. Termasuk pengumpulan data, kecepatan angin, putaran turbin angin tetapi juga arus yang dihasilkan oleh turbin angin. Pengambilan data dilakukan tanpa menggunakan beban untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin angin.



Gambar 4.1 Alat *wind Turbin* Menggunakan Naca *Blade* 0021

Komponen ini akan digunakan dalam perancangan peralatan angin. Karena wingtip sendiri berfungsi sebagai penghemat bahan bakar, maka jarak tempuh pesawat menjadi lebih panjang dan hal ini mengurangi nilai *induced drag* sehingga dapat meningkatkan performa. sayap, yang meningkatkan kinerja pesawat bahkan tanpa melebarkan sayap. lebar sayap pesawat. Ujung sayap juga merupakan bagian *aerodinamis* yang digunakan untuk mengurangi hambatan

akibat *vortisitas* (Sormin dan Permatasari, 2020). Penggunaan wing tip dapat meningkatkan *lift* atau daya angkat terhadap *drag* atau *drag* hingga 7% (Masud, et al. 2007). Diharapkan dengan adanya penelitian ini nantinya dapat memberikan efek bahwa penambahan wingtip dapat mengurangi drag sehingga tercipta performa atau tenaga yang tinggi dan membuat pesawat menjadi lebih efisien.

Selain itu, desain mesin turbin angin menggunakan baling-baling NACA 0021 akan diuji dengan jumlah sudu yang berbeda.

Table 4.1 Pengaruh jumlah Sudu *Blade 2*

No	Sudu	Kecepatan angin (m/s)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya Angin	Daya Turbin	Efisiensi
1	2	6	0,3	9,2	30	1,84	0,061
2	2	6	0,2	9,1	30	1,82	0,060
3	2	6	0,2	9,1	30	1,82	0,060
Nilai Rata-rata			0,2	9,1	30	2,13	0,240

Table 4.2 Pengaruh jumlah Sudu *Blade 3*

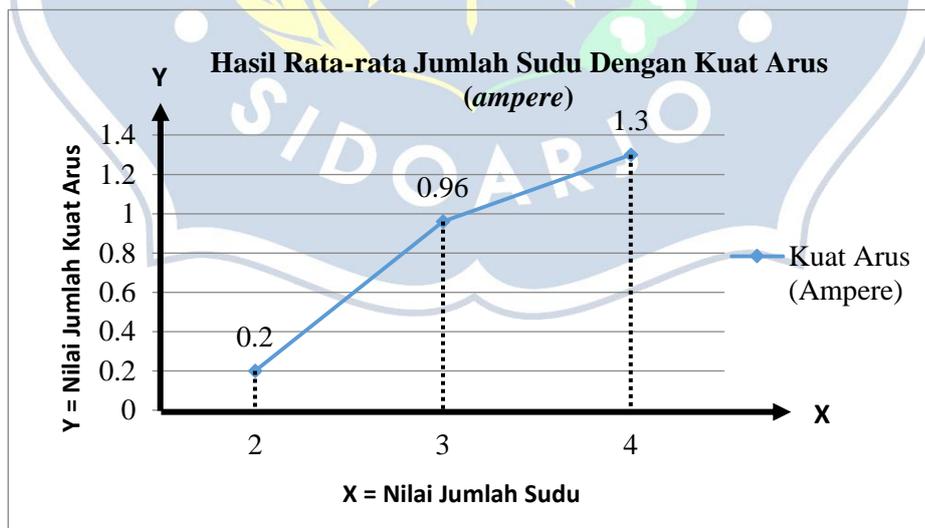
No	Sudu	Kecepatan angin (m/s)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya Angin	Daya Turbin	Efisiensi
1	3	6	0.9	10	30	9	0.3
2	3	6	1	10.3	30	10.3	0.34
3	3	6	1	10.1	30	10.1	0.33
Nilai Rata-rata			0.96	10.1	30	9.8	0.32

Table 4.3 Pengaruh jumlah Sudu *Blade* 4

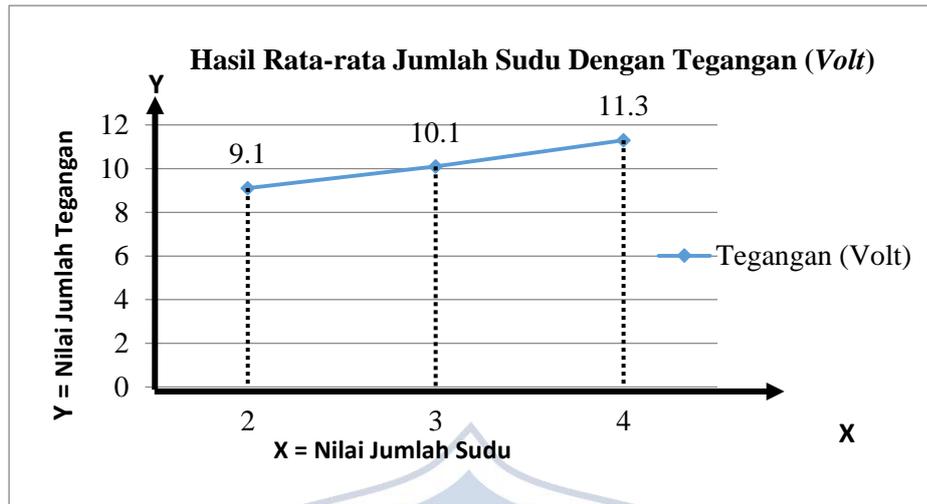
No	Sudu	Kecepatan angin (m/s)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya Angin	Daya Turbin	Efisiensi
1	4	6	1.3	11.2	30	14,56	0,485
2	4	6	1.3	11.3	30	14,69	0,489
3	4	6	1.4	11.5	30	16,10	0,536
Nilai Rata-rata			1.3	11.3	30	15,11	0,503

Tabel 4.4 Pengambilan Data Terbaik Dari Hasil Pengujian

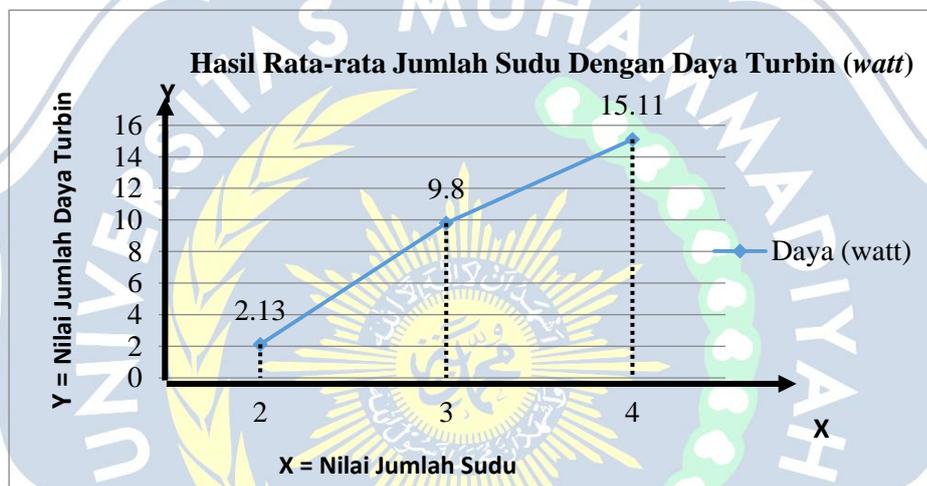
No	Sudu	Kecepatan angin (m/s)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya Angin	Daya Turbin	Efisiensi
1	2	6	0,3	9,2	30	1,84	0,061
2	3	6	1	10.3	30	10,3	0,34
3	4	6	1,4	11,5	30	15,11	0,536



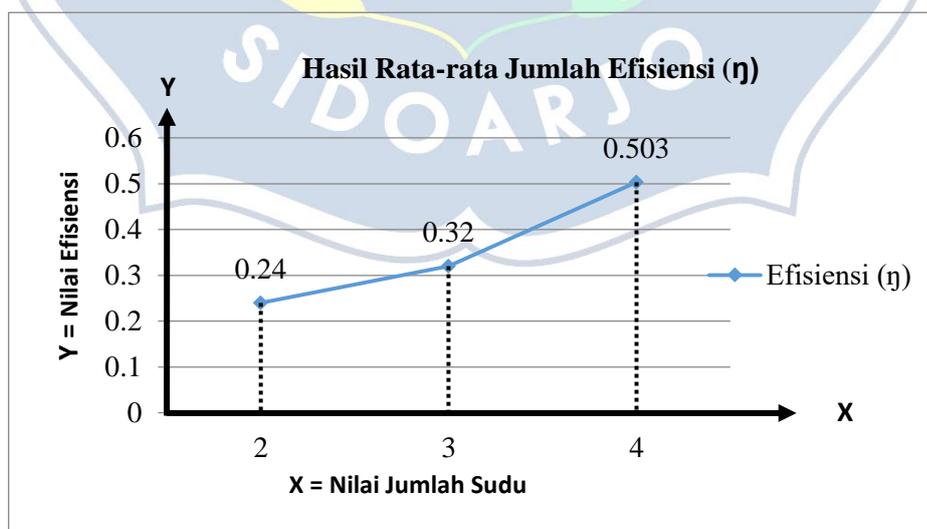
Gambar 4.2 Grafik Rata-rata jumlah Sudu *Blade* Dengan Arus (Ampere)



Gambar 4.3 Grafik Rata-rata jumlah Sudu dengan Tegangan (Volt)



Gambar 4.4 Grafik Rata-rata jumlah Sudu Blade dengan Daya Turbin (Watt)



Gambar 4.5 Grafik Rata-rata jumlah Sudu Dengan Efisiensi

4.2 Hasil Penelitian

Berdasarkan data di atas, maka diperoleh nilai rata-rata pengaruh baling-baling (4) terhadap Arus (*Amps*), Tegangan (*Volt*), Daya Turbin (*Watt*) dan Efisiensi seperti terlihat pada Tabel 4.1 dan Nilai Rata-rata Rata-ratanya jumlah sudu adalah 3 ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan nilai rata-rata jumlah sudu adalah 2 ditunjukkan pada Tabel 4.3. Ada juga grafik yang menunjukkan nilai arus rata-rata (*Amps*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Grafik 4.3 menunjukkan rata-rata tegangan (*Volt*), Grafik 4.4 menunjukkan rata-rata daya turbin (*Watt*) dan terakhir Grafik 4.5 menunjukkan rata-rata nilai efisiensi.

diberi peringkat 1,4 (*Amps*) dan diberi peringkat 11,5 (*Volt*), hitungan 4 bilah menjadi bilah paling berharga. Hal ini dimungkinkan karena sudu 4 memiliki kecepatan tangensial yang lebih besar dibandingkan sudu lain mengenai bilah dengan jumlah bilah lebih dan kurang dari 4 tidak dapat bekerja dengan baik karena sebagian besar angin yang mengenai bilah terbuang sia-sia di kedua sisi sayap. Pada sudut 4, lebih banyak angin yang mengenai bilah dari satu sisi bilah daripada dari kedua sisi bilah. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian sebelumnya oleh Erwin Pratama (2010) yang menyatakan bahwa turbin angin dengan jumlah sudu 3 lebih baik dibandingkan dengan turbin angin dengan jumlah sudu kurang dari 3. untuk mengubah jumlah sudu untuk energi angin sesuai dengan hasil p ANOVA $< 0,05$, hasil pengujian menunjukkan jumlah sudu 4 menghasilkan daya pembangkit rata-rata tertinggi sebesar 0,503 *watt* per sudu dibandingkan dengan jumlah sudu yang lebih rendah (3(0,32 *watt*) dan 2 (0,070 *watt*)

Hal ini juga mempengaruhi nilai daya turbin atau kemampuan turbin untuk menghasilkan listrik jumlah sudu turbin angin adalah jumlah sudu 4 In Juga, pada sudu 4 (sudu terbaik) pengujian lebih lanjut akan dilanjutkan ke mengetahui pengaruh kinerja turbin angin menggunakan NACA 0021 untuk mengumpulkan data kinerja turbin angin pada beberapa sudu 4.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.

Setelah menyelidiki pengaruh jumlah sudu rotor pada kinerja turbin angin dengan sudu NACA 0021. Pengaruh jumlah sudu rotor *blade* terhadap kinerja turbin angin dengan jumlah 2,3, dan 4 dengan kecepatan angin yang sama maka berikut ini dapat disimpulkan dari penelitian ini:

1. Bahwa penambahan sudu rotor blade pada kinerja turbin angin menaikkan kuat arus (*ampere*) dan tegangan (*volt*).
2. Turbin angin menghasilkan daya turbin maksimum menggunakan pengaruh jumlah sudu rotor *blade*.

5.2 Saran

Setelah penelitian ini, ada beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya:

1. Persiapkan terlebih dahulu struktur sudu turbin dan jenis plat bantalan yang akan digunakan dengan benar dan teliti.
2. Pemilihan bahan agar body dan lapisan luar mata pisau kuat dan ringan.
3. Pengukuran dan pembuatan sudu turbin harus akurat sesuai *aerodinamis wing size design naca 0021*.
4. Mengurangi beban pembuatan bahan airfoil.
5. Lapisan pada permukaan luar badan pisau harus presisi dan bersih agar tidak mengubah struktur badan pisau.
6. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut, misalnya dengan menganalisis kembali jumlah sudu variable untuk mengetahui pengaruh tegangan (V), Arus (A), Energi angina dan Daya Turbin yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cafasso Yosef. 2016. *Unjuk Kerja Kincir Angin Poros Vertikal Model WePOWER*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Dietzel, P. D. (1980). *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Wurzburg: Erlangga.
- Elmer Edo. 2019. *Unjuk Kerja Turbin Angin Darrieus Tipe H Berpenampang Sudu Naca 2415 dengan Tiga Variasi Diameter*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- E. Achdi, "Uji Prestasi Mesin," in Modul Praktikum, Bandung, Teknik Mesin UNPAS, 2015, pp. 23-36.
- Mas'ud Ibnu. 2020. *Pengaruh Wing Tip Sudut Blade Rotor Terhadap Unjuk Kerja Wind Turbin dengan Menggunakan Blade Naca 0018*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah. Sidoarjo.
- Nechleba, M. (1957). *Hydraulic turbines: Their design and equipment*. London: ARTIA-PRAGUE.
- Putranto Adityo. 2011. *Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Saputra Adi R. 2019. *Unjuk Kerja Kincir Angin Model Propeler Tiga Sudu Berpenampang Lintang Airfoil Naca 0021 dengan Tiga Variasi Kemiringan Sudut 10°, 15°, 20°*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Sunyoto. (2013). *KLASIFIKASI TURBIN AIR*. Retrieved February 30, 2013,
- Warda Kaddihani. 2017. Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Desain. Tangerang.

W. Arismunandar, *Penggerak Mula TURBIN*, Bandung: ITB, 1997.

Wibowo Paryatmo, *TURBIN WIND*, Graha Ilmu, Jakarta. 2007

Y. Sumargi, "*Modifikasi Dinamometer Daya Uji Prestasi Turbin Aksial Laboratorium UPM Teknik Mesin Universitas Pasundan,*" Universitas Pasundan, Bandung, 2016.



LAMPIRAN

