



TUGAS AKHIR - VI190836

**DESAIN STRUKTUR BALING-BALING PADA SISTEM
TURBIN ANGIN SAVONIUS**

MASHITA TITAH MARYANTI

NRP. 10 51 16 000 00 024

DOSEN PEMBIMBING

Sefi Novendra Patrialova S,Si., M.T

NIP. 1991201712053

PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI INSTRUMENTASI

DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI

FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020



TUGAS AKHIR - VI190836

DESAIN STRUKTUR BALING-BALING PADA SISTEM TURBIN ANGIN SAVONIUS

MASHITA TITAH MARYANTI
NRP. 10511600000024

Dosen Pembimbing:
Sefi Novendra Patrialova, S.Si, M.T.
NIP 1991201712053

Program Studi D-III Teknologi Instrumentasi
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - VI190836

STRUCTURE BLADE DESIGN OF SAVONIUS WIND TURBINE SYSTEM

MASHITA TITAH MARYANTI
NRP. 10511600000024

Supervisors:
Sefi Novendra Patrialova
NIP. 1991201712053

D-III Instrumentation Technology Program Study
Department of Instrumentation Engineering
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Mashita Titah Maryanti
NRP : 10511600000024
Departemen / Prodi : Teknik Instrumentasi / S.Tr Teknik Instrumentasi
Fakultas : Fakultas Vokasi (FV)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “*Struktur Desain Baling – baling pada Sistem Turbin Angin Savonius*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 27 Juni 2020

Yang membuat pernyataan,



Mashita Titah Maryanti

NRP. 10511600000024

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

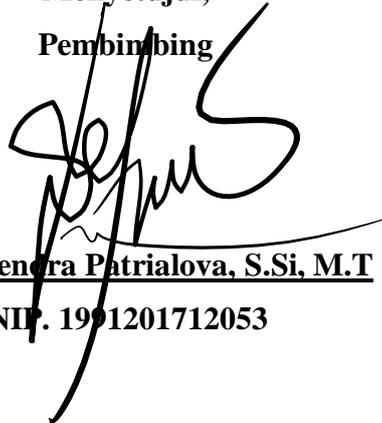
**DESAIN STRUKTUR BALING-BALING PADA SISTEM TURBIN
ANGIN**

Oleh:

Mashita Titah Maryanti
NRP. 1051160000024

Surabaya, 14 Agustus 2020

Menyetujui,
Pembimbing

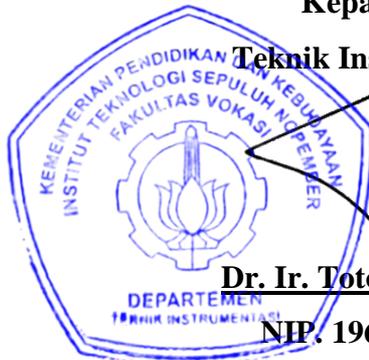


Sefi Novendra Patrialova, S.Si, M.T
NIP. 1991201712053

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Instrumentasi FV-ITS



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIP. 196503091990021001

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN STRUKTUR BALING-BALING PADA SISTEM TURBIN ANGIN SAVONIUS

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan
pada
Program Studi S.Tr Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi (FV)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

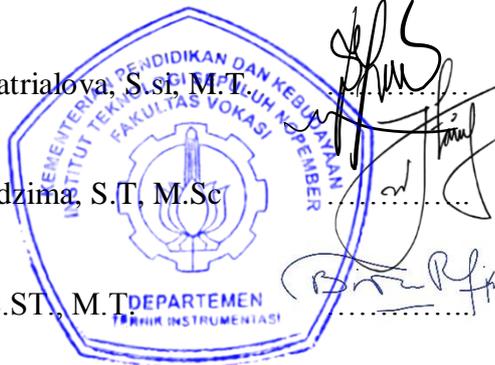
Oleh:

MASHITA TITAH MARYANTI

NRP. 1051160000024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sefi Novendra Patrialova, S.Si, M.T. (Pembimbing I)
2. Ahmad Fuzan Adzima, S.T, M.Sc (Penguji I)
3. Brian Raafi'u., S.ST., M.T. (Penguji II)



SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN STRUKTUR BALING-BALING PADA SISTEM TURBIN ANGIN SAVONIUS

Nama : Mashita Titah Maryanti
NRP : 1051160000024
Departemen : Teknik Instrumentasi FV - ITS
Dosen Pembimbing : Sefi Novendra Patrialova S,Si. M.T.

ABSTRAK

Terbatasnya sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui membuat manusia harus berpikir untuk mencari sumber energi lain yang dapat digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik. Salah satu dari sekian banyak energi yang dapat dimanfaatkan yaitu adalah angin. Pembangkit Listrik Tenaga Angin sendiri mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Tipe, ukuran, bentuk dan bahan yang digunakan pada baling-baling turbin angin akan sangat mempengaruhi putaran pada turbin angin. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan desain baling-baling yang paling ideal untuk menangkap angin berkecepatan rendah. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan angin dengan ukuran baling-baling turbin tipe savonius dengan keluaran daya turbin yang diharapkan sebesar 10 watt. Kecepatan angin yang divariasikan yaitu sebesar 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s dan 5m/s. didapatkan spesifikasi baling-baling turbin yang paling ideal untuk menangkap kecepatan angin yang rendah sebesar 3 m/s didapatkan luas sapuan turbin sebesar 3 m², diameter rotor 1,23 m, tinggi rotor 2,46 m dan diameter sudu 0,68 m.

Kata Kunci: Pembang Listrik Tenaga Angin, Desain Baling-baling, Turbin Angin Savonius

Halaman ini sengaja dikosongkan

STRUCTURE BLADE DESIGN OF SAVONIUS WIND TURBINE SYSTEM

Name : Mashita Titah Maryanti
NRP : 10511600000024
Department : Instrumentation Engineering FV - ITS
Supervisors : Sefi Novendra Patrialova S.Si, M.T.

ABSTRACT

Limited natural resources that can't be renewed makes us have to think to look for other energy sources that can be used to accommodate electricity needs. One of the many energies we can use is wind. Wind Power Plant itself converts wind energy into electrical energy using wind turbines. The type, size, shape and material used in wind turbine blades will greatly affect the rotation of the wind turbine. This study aims to determine the most ideal blade design for catching low speed winds. This research was conducted by varying the wind speed with the size of a savonius wind turbine with an expected turbine power output of 10 watts. The varied wind speeds are 3 m / s, 3.5 m / s, 4 m / s, 4.5 m / s and 5m / s. obtained the most ideal turbine propeller specifications to capture low wind speeds of 3 m / s obtained turbine sweep area of 3 m², rotor diameter 1.23 m, rotor height 2.46 m and blade diameter 0.68 m.

Keywords: Wind Power Plant, Blade Design, Savonius Wind Turbine

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan baik. Dalam penyusunan skripsi ini banyak hambatan serta rintangan yang penulis hadapi sehingga penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moral maupun material dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain :

1. Kedua orang tua yang telah membesarkan, menasehati dan selalu mendoakan penulis demi kelancaran kuliah, tugas akhir dan selalu menemani disetiap perjalanan penulis.
2. Ibu Sefi Novendra Patrialova, S.Si, M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan saran dan motivasi kepada penulis Terimakasih atas bimbingan beliau yang selalu sabar membimbing penulis
3. Bapak Fauzan Adzimaa, S.T, M.Sc. dan Bapak Brian Raafi'u, S.ST, M.T selaku dosen penguji Tugas Akhir Penulis, terimakasih atas kritik dan saran membangun yang diberikan.
4. Sahabat dan teman-teman penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi tiada henti kepada penulis.

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dari semua pihak sangat penulis harapkan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 27 Juni 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Energi Angin	5
2.2 Turbin Angin	7
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Studi literatur.....	28
3.2 Parameter Perancangan.....	31
3.3 Parameter yang Ditentukan	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Analisa Data dan Hasil Perhitungan	35
4.2 Spesifikasi Turbin Hasil Rancangan.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	41
BIODATA PENULIS	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen Turbin Angin	6
Gambar 2.2	Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	7
Gambar 2.3	Variasi Jumlah Blade pada HAWT	8
Gambar 2.4	Variasi Turbin Angin Sumbu Vertikal	10
Gambar 2.5	Tipe Rotor Savonius	12
Gambar 2.6	(a) Rotor Svonius U, (b) Rotor Savonius L.....	12
Gambar 2.7	Turbin Angin Darieus VAWT tipe Eggbatter.....	13
Gambar 2.8	Turbin Angin Darrieus VAWT tipe Straight-Bladed	13
Gambar 2.9	Turbin Angin Darrieus VAWT Tipe H-Rotor.....	13
Gambar 2.10	Profil Kecepatan Untuk Rotor Tipe Drag.....	14
Gambar 2.11	Aliran Fluida (a) Aliran Laminer, (b) Aliran Turbulen	15
Gambar 2.12	Bagian Penampang Airfoil	15
Gambar 2.13	Kondisi Aliran Angin Akibat Ekstraksi Energi Mekanik Aliran Bebas.....	16
Gambar 2.14	Grafik Koefisien Daya Terhadap Rasio Kecepatan Aliran Angin...20	
Gambar 2.15	Grafik Koefisien Daya Terhadap Tip Speed Ratio.....	24
Gambar 3.1	Desain Turbin	26
Gambar 3.2	Konsep Rancangan VAWT	26
Gambar 3.3	Desain Turbin Kombinasi Tipe Giromill dan Tipe Savonius.....	27
Gambar 3.4	Model Turbin Angin Tingkat 1.....	28
Gambar 3.5	Model Turbin Angin Tingkat 2	28
Gambar 3.6	Model Turbin Angin Tingkat 3.....	29
Gambar 3.7	Rotor Tipe Savonius (a) Pandangan Atas, (b) Pandangan Bawah....	30
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Lengkungan Diameter Sudu	33
Gambar 4.2	Hasil Desain Turbin Angin Savonius Tampak Atas	34
Gambar 4.3	Hasil Desain Turbin Angin Savonius Tampak Depan.....	35
Gambar 4.4	Hasil Desain Turbin Angin Savonius Tampak Depan.....	35

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Tabel Perhitungan	33
Tabel 4.2 Hasil Spesifikasi Rancangan Turbin	34

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan energi listrik dan tingginya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil membuat pemerintah harus tanggap untuk mencari solusi dari permasalahan tersebut dengan mencari sumber daya lain. Indonesia merupakan negara yang kaya akan potensi sumber daya alam yang melimpah, baik matahari, air dan angin merupakan alternatif peluang energi yang dapat dimanfaatkan sebaik mungkin oleh pemerintah. (Antonov Bachtiar dan Wahyudi Hayattul, 2018). Potensi energi angin yang dimiliki Indonesia diidentifikasi sekitar 978 MW. Pada beberapa lokasi di wilayah Indonesia telah dilakukan beberapa kali penelitian dan pengukuran potensi energi angin baik oleh lembaga pemerintahan seperti LAPAN dan BMKG. Potensi tenaga angin di darat kekuatannya terbatas, dengan kecepatan angin rata – rata antara 3 m/s dan 7 m/s. (Adhi Prasetyo, dkk 2017). Dengan karakteristik kecepatan seperti itu, maka pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik. Salah satu keuntungan menggunakan tenaga angin adalah sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan ketersediaannya melimpah. Pembangkit listrik tenaga angin mengkonversi energi angin menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. (Hilmansyah, dkk 2017). Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Prinsip dasar kerja secara umum dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik (Musfirotul Ula, dkk, 2013). Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal (VAWT) yang dapat digunakan pada angin dengan kecepatan rendah adalah turbin angin Savonius (Favian Elfreda, 2019).

Berbagai penelitian telah dilakukan sebelumnya, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Untung Surya Dharma dan Masherni pada tahun 2016 adalah untuk mengetahui pengaruh desain sudu terhadap unjuk kerja prototype turbin angin *vertical axis savonius* yang menghasilkan desain sudu 7/16 dengan kecepatan angin yang paling tinggi 6,1 m/s menghasilkan daya turbinnya sebesar 6,125 Watt dan daya generatornya menghasilkan daya 4,391 Watt. Penelitian lain yang dilakukan oleh Favian Elfreda pada tahun 2019 untuk mengetahui pengaruh lengkungan sudu model turbin angin savonius terhadap unjuk kerja model turbin angin kombinasi giromill dan savonius pada kecepatan angin rata-rata 7,5 m/s menghasilkan kecepatan putaran maksimal sebesar 228 rpm pada kondisi tanpa pembebanan dan unjuk kerja terbaik dengan koefisien daya maksimal sebesar 0,044 dengan nilai tip speed ratio optimal sebesar 0,698. Sedangkan pada penelitian yang

dilakukan oleh Krisna Slamet Rosyid, Sudarno, Wawan Trisnadi Putra di tahun 2018 yang bertujuan untuk mendapatkan unjuk kerja model turbin angin Savonius tipe L dengan 3 variasi menunjukkan bahwa model turbin Savonius dengan jumlah 2 stage memberikan koefisien daya (C_p) maksimal (21,86 % pada kecepatan angin 8,57 m/s).

Seperti yang terlihat pada penelitian-penelitian tersebut, rata-rata menunjukkan kecepatan angin diatas 5 m/s, maka dari itu penulis hendak melakukan penelitian dimana rancangan baling-baling turbin angin savonius ini akan dapat berputar dengan kecepatan angin dibawah 5 m/s dan dapat menghasilkan daya yang diinginkan yaitu sebesar 10 watt.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a. Bagaimana merancang struktur bilah turbin angin yang sensitif terhadap kecepatan angin yang rendah kurang dari 5m/s
- b. Bagaimana analisis pengaruh bentuk baling-baling turbin angin pada kecepatan perputaran turbin angin

1.3 Tujuan

Adapun tujuan utama dari rancang bangun alat ini adalah untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir sebagai syarat kelulusan dari program studi diploma 3 Teknik instrumentasi, serta untuk memberikan solusi pada rumusan masalah yaitu:

- a. Menghasilkan rancangan struktur bilah turbin angin yang sensitif terhadap kecepatan angin yang rendah kurang dari 5m/s
- b. Menganalisa pengaruh bentuk baling-baling turbin angin pada kecepatan perputaran turbin angin

1.4 Batasan Masalah

Adapun batas ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

- a. Studi numerik dilakukan hanya pada penampang 2D
- b. Aliran Angin dianggap steady dan tidak dimampatkan
- c. Arah angin dianggap hanya searah dari inlet menuju outlet.
- d. Aspek meteorologi dan kondisi lingkungan lainnya diabaikan
- e. Desain ini hanya untuk menghasilkan daya 10 watt

1.5 Sistematika Laporan

Pada Bab I dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan skripsi. Bab II tentang dasar teori. Bab ini berisi teori dasar dari penelitian yang dilakukan. Bab III berisi metode penelitian yang meliputi waktu, tempat dan pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang diperlukan, serta langkahlangkah dalam penelitian. Bab IV berisi tentang hasil penelitian dan analisa/pembahasan yang dibahas dengan acuan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian. Bab V berisi simpulan dari pembahasan di bab sebelumnya dan saransaran untuk pengembangan dan penyempurnaan lebih lanjut mengenai desain turbin Savonius.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Energi Angin

2.1.1. Definisi Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan udara antara tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah dengan suhu atau temperatur rendah ke wilayah bersuhu tinggi. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Angin memiliki energi kinetik karena udara memiliki massa (m) dan bergerak dengan kecepatan (v) (Rosidin, 2007). Energi angin merupakan kekuatan yang timbul akibat aliran udara yang bergerak dalam jumlah besar. Timbulnya energi angin dikarenakan rotasi bumi dan perbedaan tekanan udara pada lingkungan sekitar. Perbedaan tekanan udara yang menimbulkan energi angin terjadi akibat udara yang memuai dikarenakan oleh panas matahari yang membuat massa jenis udara menjadi ringan, sehingga udara akan naik dan menyebabkan tekanan udara menurun. Menyebabkan udara disekitarnya yang bertekanan lebih tinggi akan menuju ke udara yang bertekanan rendah. (Rosidin, 2007).

Daya yang dihasilkan pada poros suatu turbin merupakan transformasi energi kinetik yang terdapat pada aliran angin. Aliran angin yang bergerak dengan kecepatan tertentu diserap oleh susunan sudu dari turbin angin. Secara matematis, udara dengan massa m dan bergerak dengan kecepatan v , memiliki energi kinetik sebesar:

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

Dimana, Ek = Energi Kinetik (joule)

m = Massa (kg)

v = Kecepatan udara (m/s)

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ , yaitu :

$$m = \rho V = \rho vA \quad (2.2)$$

2.1.2. Keuntungan dan Kerugian Energi Angin

Energi angin sebagai sesuatu sumber energi yang dapat diperbarui. Sudah untuk di manfaatkan sebaik – baiknya. Sistem konversi energi angin dapat dikatakan lebih sederhana di bandingkan dengan sistem-sistem konversi energy lainnya. Berbagai rancangan pembuatan sudu atau fin sebagai penangkap angin terus dalam penelitian dan pengembangan. Demikian juga dengan sistem transmisi dan penyimpanan energi. Tujuan utama untuk dapat meningkatkan efisiensi baik secara teknis maupun ekonomis kiranya dapat terpenuhi apabila di tunjang dalam suatu program terpadu seperti mengadakan survey dan pengumpulan data di lokasi potensial untuk pembuatan kincir angin. Apabila diingat adanya beberapa faktor lain yang mendorong pengembangan pemanfaatan energi angin seperti :

- a. Energi angin merupakan energi lokal yang tidak memerlukan berbagai bentuk pengadaan dan transportasi, sehingga sangat bermanfaat untuk daerah perkotaan.
- b. Pengaruh teknologi pemanfaatan energi angin pada lingkungan. Sejauh yang yang di ketahui selama ini tidak mengganggu kelestarian lingkungan. Angin selain dapat di manfaatkan oleh manusia sebagai sumber energi yang berguna, tetapi dapat juga menimbulkan kerugian-kerugian. Demikian halnya dalam pemanfaatan kincir angin sebagai pembangkit energi listrik ini, maka hal-hal yang berkaitan dengan kerugian-kerugian yang di timbulkan oleh angin yang dapat mempengaruhi kontruksi dari kincir angin. Kerugian-kerugian yang dapat di timbulkan oleh angin yaitu :
 - a. Tiupan debu kotoran
Angin yang membawa debu dan kotoran akan sngat besar berpengaruh terhadap komponenkomponen yang mendukung kincir angin. Karena dapat menyebabkan korosi pada bagian-bagian tertentu dari peralatan kincir angin.
 - b. Gesekan angin
Adalah kerugian yang disebabkan karena adanya pembalikan arah udara melalui celah sempit. Hal ini akan menyebabkan kerusakan pada sudu kincir angin sebagai akibat perubahan gaya pada sudu.
 - c. Turbulensi angin
Adalah kerugian yang disebabkan oleh perubahan arah maupun besaran kecepatan angin secara tiba-tiba. Perubahan kecepatan angin ini di pengaruhi oleh permukaan bumi yang tidak rata. Sehingga kerugian yang di

akibatkan terhadap konstruksi dari kincir angin ini adalah akan menimbulkan getaran yang dapat menurunkan daya yang di hasilkan.

2.1.3. Jenis – jenis Aliran Udara

Pada aliran dalam atau aliran yang dibatasi oleh permukaan-permukaan dinding. Kecepatan angin seragam pada sisi masuk sebelum melewati permukaan dinding. Pada saat melewati dinding terjadi perbedaan kecepatan aliran angin, karena adanya gesekan dengan permukaan dinding, sehingga kecepatan angin yang mendekati permukaan dinding semakin menurun. Setiap aliran udara yang mengenai suatu benda pasti mengalami gesekan dengan permukaan benda tersebut, karena setiap fluida mempunyai viskositas tertentu. Gesekan ini akan mengakibatkan suatu hambatan yang besarnya juga dipengaruhi faktor lain yaitu kekasaran permukaan benda dan densitas dari udara tersebut. Fenomena ini dipelajari secara khusus dalam ilmu aerodinamika. Jenis aliran udara dibedakan menjadi dua yaitu :

a. Aliran Laminer

Bila aliran angin mengalir melalui benda lain, kemudian terjadi lapisan lapisan yang rata serta sejajar dengan permukaan benda tadi

b. Aliran Turbulen

Struktur dari aliran turbulen terdiri dari gerakan partikel-partikel tiga dimensi dan partikel yang bergerak saling mengisi pada bagian aliran. Jika suatu aerofil dengan kedudukansedikit mendarat atau dengan sudut serang yang kecil berikan angin dengan kecepatan yang konstan, maka akan kita

2.2 Turbin Angin

2.2.1. Sejarah Turbin Angin

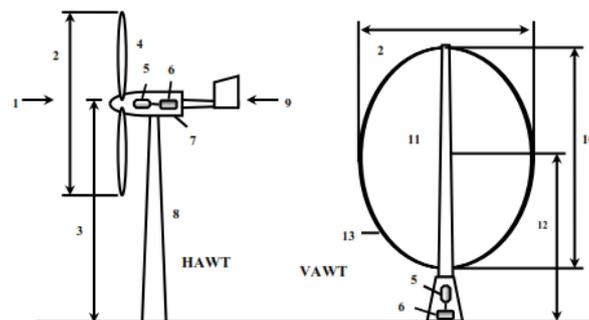
Turbin angin (Wind Turbine) pertama kali digunakan oleh bangsa persia dalam bentuk kincir angin pada abad ke 5. Kemudian penggunaan kincir angin menyebar ke seluruh eropa. Bangsa Belanda mulai menggunakan kincir angin sebagai salah satu cara untuk memperluas wilayah daerahnya. Pada abad ke 17 bangsa Belanda mulai memanfaatkan kincir angin dalam bidang industry dan membantu petani dalam kegiatan pertanian, kemudian pada akhir abad ke 19. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi P. La Cour dari Denmark mulai memanfaatkan kincir angin sebagai alat pembangkit energi listrik yang disebut turbin angin (wind turbine). Pada periode yang sama, Charles Brush membangun turbin angin dengan menambahkan gearbox untuk menaikkan putaran.

Pada tahun 1920 seorang insinyur asal Perancis, Darrieus GJM menciptakan turbin angin sumbu vertical pertama dan mematenkannya sebagai Turbin Angin Darrieus pada tahun 1931. Pada tahun 1922 S.J Savonius turut serta dalam perkembangan turbin angin dengan menciptakan Turbin Angin Savonius di Finlandia. Pada tahun 1931 sebuah turbin angin berdaya output 100 kw dengan menerapkan utility-scale system pertama didirikan di Rusia dan diaplikasikan disekitar pantai laus Caspia, dan pada tahun 1941, Palmer C. Putmann membangun turbin angin berdaya output 1250 kw dengan rotor yang dapat berputar secara konstan.

Prinsip dasar dari turbin angin adalah mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi energy putar pada kincir , selanjutnya putaran kincir digunakan untuk memutar generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Putaran kincir angin tersebut dikarenakan adanya kombinasi dari gaya lift dan gaya drag yang dihasilkan akibat bentuk aerodinamis dari penampang sudu atau bilah turbin (Farid Ridha Muttaqin, dkk 2015). Perubahan sudut pitch dari sudu atau bilah turbin akan mempengaruhi kecepatan sudut dari rotor karena adanya perubahan jumlah daya angin yang diterima sudu atau bilah turbin yang dikonversi menjadi kecepatan putar rotor (Harika (2008) dalam Farid Ridha Muttaqin, dkk 2015).

2.2.2. Jenis Turbin Angin

Desain Turbin Angin saat ini secara umum terbagi menjadi dua, yaitu Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) atau Turbin Angin Sumbu Horizontal dan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) atau Turbin Angin Sumbu Vertikal.



Gambar 2.1 Komponen turbin angin (Mittal, 2001)

Keterangan gambar:

1. Arah angin pada HAWT tipe *upwind*
2. Diameter rotor
3. *Hub height*
4. Rotor *blade*
5. Gear box
6. Generator
7. *Nacelle*

8. Tower pada HAWT
9. Arah angin pada HAWT tipe *downwind*
10. Tinggi rotor
11. Tower pada VAWT
12. *Equator height*
13. *Fixed-pitch rotor blade*

Salah satu komponen utama dari turbin angin adalah rotor. Rotor ini berfungsi mengkonversi gerak linier angin menjadi gerak putar sudu turbin. Rotor dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsi gaya aerodinamisnya dan berdasarkan bentuk atau konstruksi rancangan rotor. Untuk pengklasifikasian berdasarkan fungsi gaya aerodinamisnya, merujuk pada gaya utama yang menyebabkan rotor berputar.

Berdasarkan fungsi gaya aerodinamis, rotor terbagi menjadi dua, yaitu rotor tipe *drag* dan rotor tipe *lift*.

1. Rotor tipe *drag*, memanfaatkan efek gaya hambat atau *drag* sebagai gaya penggerak rotor.
2. Rotor tipe *lift*, memanfaatkan efek gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

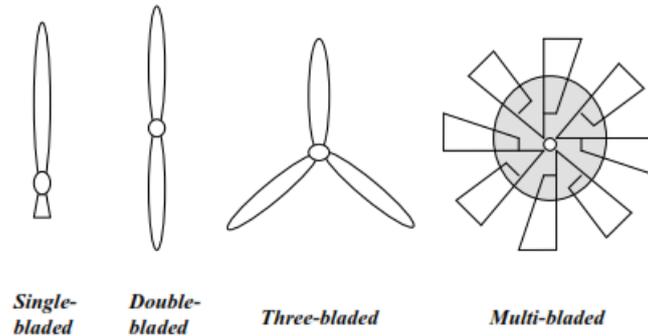
2.2.3. Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin jenis ini memiliki *blade* berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya *lift* (gaya angkat) pada *blade* yang ditimbulkan oleh aliran angin. Turbin ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi, dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar



Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal (Olson dan Visser, 2008)

Jumlah blade pada HAWT bervariasi, mulai dari satu *blade*, dua *blade*, tiga *blade*, dan banyak *blade* (*multi blade*) yang penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi angin. Secara umum semakin banyak jumlah *blade*, semakin tinggi putaran turbin.



Gambar 2.3 Variasi Jumlah Blade pada HAWT (Daryanto, 2007)

Setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin jenis ini, yaitu memiliki efisiensi yang tinggi, dan *cut-in wind speed* rendah. Kekurangannya, yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin selain itu penempatan dynamo atau generator berada di atas tower sehingga menambah beban tower. Komponen-komponen pada HAWT adalah sebagai berikut :

1. Rotor

Rotor pada turbin angin berfungsi untuk menerima energi kinetik dari angin dan mengubahnya ke dalam bentuk energi putar (Puji S, dkk 2012). Pada rotor terdapat blade atau sudu atau baling-baling. Semakin panjang blade atau sudu atau baling-baling, maka semakin luas area yang dapat menerima hembusan angin.

2. Gearbox

Gearbox berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir putaran tinggi (Pusi S, dkk 2015)

3. Generator

Generator merupakan komponen terpenting dalam pembuatan turbin angin. Generator berfungsi untuk mengubah energi gerak dari rotor menjadi energy listrik. Prinsip kerja generator merupakan teori medan elektromagnetik. Poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetic permanen dan disekeliling poros terdapat stator yang terbentuk dari kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros tersebut berputar, maka akan terjadi perubahan fluks pada statis. Perubahan fluks tersebut akan menghasilkan tegangan dan arus listrik AC memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal (Puji S, dkk 2013)

4. Brake Sistem

Brake Sistem diperlukan saat terjadi hembusan angin yang terlalu kencang dan menimbulkan putaran berlebih pada generator. Brake Sistem digunakan untuk menjaga putaran poros setelah gearbox agar generator tetap bekerja pada titi aman. Dampak dan terjadinya putaran berlebih diantaranya : kerusakan pada generator, kerusakan pada rotor dan overheat pada turbin angin

5. Penyimpanan Energi

Alat penyimpanan energy digunakan untuk menyimpan energy listrik yang dihasilkan oleh generator sebagai cadangan energy listrik. Alat penyimpanan energi memerlukan arus DC untuk mengisi energi. Salah satu alat penyimpanan energi yang dapat digunakan dalam turbin angin adalah aki mobil

6. Rectifier dan Inverter

Rectifier merupakan penyearah. Rectifier berfungsi untuk menyearahkan arus AC yang dihasilkan dalam proses penyimpanan energy pada turbin angin.

Inverter merupakan pembalik arah. Inverter berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Sehingga energi listrik dapat disalurkan untuk kebutuhan energi rumah tangga.

7. Tower

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dan turbin angin sumbu horizontal. Tower atau tiang penyangga berfungsi sebagai penopang dan komponen-komponen turbin, seperti rotor , generator, gearbox dan poros.

Adapun beberapa keuntungan menggunakan Horizontal Axis Wind Turbine adalah sebagai berikut :

1. Pengaplikasian pada menara yang tinggi memberikan akses terhadap angin yang kuat.
2. Turbin angin sumbu horizontal memiliki efisiensi yang tinggi karena blade atau sudu atau baling-baling selalu bergerak tegak lurus
3. Desain permukaan blasé atau sudu atau balin g-baling yang terkena angin pada sudut yang konsisten dapat mengurangi getaran dan noise pada menara.

Adapun beberapa kelemahan menggunakan Horizontal Axis Wind Turbine adalah sebagai berikut :

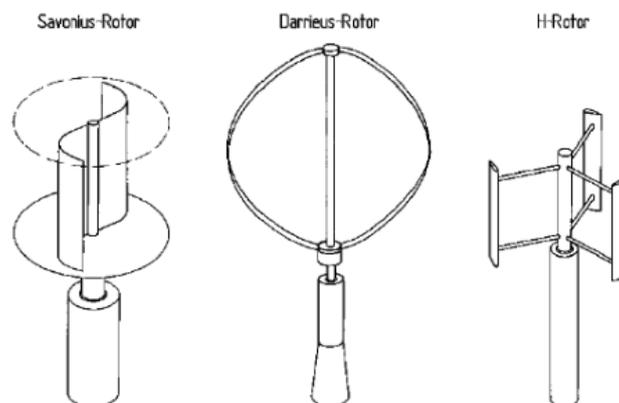
1. Pemasangan yang sulit, karena perlu pengangkutan rotor dan generator ke atas menara.
2. Membutuhkan konstruksi menara yang kuat dan besar untuk menyangga komponen-komponen turbin angin.
3. Mmbutuhkan perangkat tambahan untuk mengatur pergerakan turbin sesuai dengan arah angina

4. Turbin angin dengan penerapan mesin downwind lebih sering mengalami kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi
5. Desain turbin angin yang tinggi dapat mempengaruhi radar pesawat.

2.2.4. Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

Turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine / VAWT*) adalah jenis turbin angin yang pertama kali dibuat oleh manusia. Pada awalnya putaran rotornya hanya memanfaatkan efek Magnus yaitu efek yang terjadi karena adanya selisih gaya *drag* pada kedua sisi rotor sehingga menghasilkan momen gaya terhadap sumbu putar rotor. Satu di antara contoh turbin angin sumbu vertikal jenis *drag* adalah turbin angin Savonius, terdiri dari dua atau tiga lembar pelat yang dilengkungkan pada arah tangensial yang sama terhadap sumbu putar. Jenis turbin angin VAWT mempunyai poros yang tegak lurus dengan tanah Merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. Ada tiga tipe rotor pada turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, dan H rotor. Turbin Savonius memanfaatkan gaya *drag* sedangkan Darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya *lift*. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Turbin angin sumbu vertikal modern menerapkan bentuk yang aerodinamis pada rotornya untuk menghasilkan momen gaya. Contohnya adalah turbin angin Darrieus. Pada turbin angin Darrieus, sudu dibentuk melengkung dan berputar menyapu ruangan seperti tali yang berputar pada sumbu vertikal. Hal ini menyebabkan bentuk geometri sudunya rumit dan sulit untuk dibuat. Rotor turbin angin Darrieus pada umumnya terdiri atas dua atau tiga sudu. Variasi dari turbin angin Darrieus adalah yang disebut dengan Turbin angin H-rotor. Tersusun dari dua atau tiga sudu lurus yang dihubungkan dengan struktur rangka ke poros. Berbagai macam jenis turbin angin sumbu vertikal dapat dilihat pada gambar (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)



Gambar 2.4 Varian Turbin Angin Sumbu Vertical (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Keuntungan menggunakan turbin angin jenis VAWT antara lain :

1. Dapat mengkonversi energi angin dari segala arah
2. Dapat mengkonversi energi angin yang tidak stabil kecepatannya
3. Saat beroperasi tidak bising
4. Desainnya sederhana dan ringan.

Sedangkan kelemahan menggunakan turbin angin jenis VAWT yaitu :

1. Kecepatan angin sangat rendah ketika di dekat permukaan tanah, sehingga kecepatan angin akan sangat rendah pada bagian bawah rotor.
2. Mesin turbin tidak dapat melakukan *self-starting*, misalnya mesin Darrieus membutuhkan *push* sebelum dimulai.
3. Mesin turbin mungkin perlu kabel penahan untuk menahan sistem, tapi kabel penahan tidak praktis di daerah pertanian. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Namun demikian, untuk mengatasi kelemahan diatas, sampai sekarang ini masih banyak dilakukan penelitian-penelitian yang menghasilkan penemuan baru. Sebab bagaimanapun juga khususnya turbin angin kecil masih banyak berfungsi atau digunakan, diantaranya untuk :

1. Pengisian baterai untuk perangkat energi yang rendah seperti pencahayaan, radio, wifi, televisi, dan lain-lain.
2. Memasok daya ke lokasi terpencil seperti perahu, kapal pesiar, sekedar keluar rumah, dan lokakarya.
3. Mempertahankan listrik untuk pagar hewan, budidaya ikan, irigasi, stasiun meteorologi, unit *repeater* radio, dan lain-lain. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

2.2.5. Turbin Angin Savonius

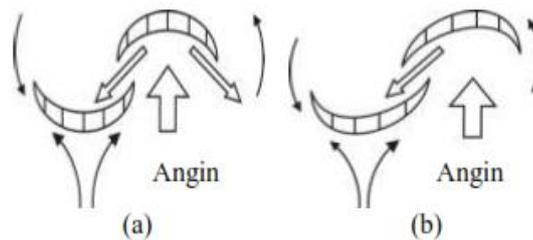
Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal (VAWT) yang dapat digunakan pada angin dengan kecepatan rendah adalah turbin angin Savonius. Turbin ini ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Konstruksi turbin sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah silinder. Pada perkembangannya turbin Savonius ini banyak mengalami perubahan bentuk rotor, seperti desain rotor yang berbentuk huruf L



Gambar 2.5 Tipe Rotor Savonius (Soelaiman, 2006)

Pada rotor Savonius, angin yang berhembus salah satu bilah rotor diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah di sekitar poros sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah rotor ini, akibatnya rotor dapat berputar lebih cepat.

Dari paten pengembangan rotor Savonius L seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.7 terlihat bahwa pada bentuk rotor Savonius setengah lingkaran (Savonius U), aliran udara di kedua sisi bilah sama besar, sementara pada rancangan kedua (Savonius L) aliran udara pada sisi bilah yang lurus lebih besar dibandingkan pada sisi bilah lengkung seperempat lingkaran (Soelaiman, 2006).



Gambar 2.6 (a) Rotor Savonius U, dan (b) Rotor Savonius L (Soelaiman, 2006)

2.2.6. Turbin Angin Darrieus

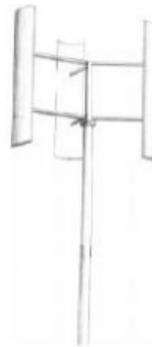
Turbin angin ini merupakan jenis VAWT dengan efisiensi tinggi dan mampu menghasilkan torsi cukup besar pada putaran dan kecepatan angin yang tinggi. Turbin angin Darrieus mengaplikasikan sudu dengan bentuk dasar airfoil simetris (seperti NACA seri 4-digit 0012, 0015, 0018, dll). Mengacu pada bentuk sudu, prinsip kerja turbin angin Darrieus memanfaatkan gaya *lift* yang terjadi ketika permukaan airfoil dikenai aliran angin. Kelemahan utama dari turbin angin Darrieus yakni mempunyai torsi awal berputar yang kecil sehingga tidak bisa melakukan *self starting*. Pada aplikasinya, turbin angin Darrieus selalu membutuhkan perangkat bantuan untuk melakukan putaran awal. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Perangkat bantuan yang digunakan berupa motor listrik atau umumnya lebih sering menggunakan gabungan turbin angin Savonius pada poros utama. Turbin angin Darrieus umumnya menggunakan tiga sudu untuk menghindari fluktuasi torsi yang besar. Turbin angin modern yang banyak dipakai saat ini ditemukan oleh *engineer* Prancis, George Jean Marie Darrieus, yang dipatenkannya pada tahun 1931 di Amerika Serikat. Desain yang dibuatnya adalah tipe *Eggbeater* (atau *Curved Bladed*) dan *Straight-bladed* (atau *giromill* atau *cyclo-turbine*) VAWTs. Skets kedua jenis variasi konsep Darrieus masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2. dan 2. Turbin angin tipe *Eggbeater*, yang meminimalkan tegangan lentur pada sudu nya, di masa lalu banyak digunakan di California secara komersil. H-rotor adalah pengembangan dari turbin angin. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Darrieus tipe *Straight-bladed* dengan menggunakan dua *blade* saja. Tipe ini dikembangkan di Inggris melalui penelitian pada tahun 1970-1980 dengan tujuan untuk menyederhanakan bentuk turbin angin Darrieus tipe *Straight-blade*. Sketsa turbin angin jenis H-rotor ini ditunjukkan pada gambar. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)



Gambar 2.7 Turbin Angin Darrieus VAWT Tipe *Eggbeater* (atau *Curved Bladed*) (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)



Gambar 2.8 Turbin Angin Darrieus VAWT Tipe *Straight-bladed* (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)



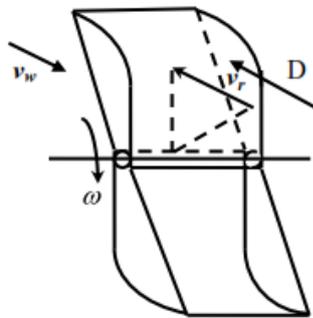
Gambar 2.16 Turbin Angin Darrieus VAWT Tipe H-Rotor (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

2.2.7. Aerodinamika Sumbu Tegak

Untuk sistem konversi energi angin, daya yang dihasilkan dapat berasal dari gaya *drag* atau gaya *lift*. Pada turbin yang memanfaatkan gaya *drag* (lihat Gambar 2.11), udara dengan kecepatan v akan menerpa permukaan rotor dengan luas A . Daya P yang diperoleh dari gaya *drag* dengan kecepatan v adalah $P = Dv_r$ dengan $v_r = v_w - v$ yang menunjukkan kecepatan efektif pada area *drag*. Gaya *drag* (D) dapat dirumuskan dengan :

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D (v_w - v_r)^2 A \quad (2.3)$$

Dengan C merupakan koefisien hambat (tanpa dimensi). Gaya ini bekerja pada permukaan rotor. Komponen gaya aerodinamiknya sejajar dan searah dengan arah angin (Rosidin, 2007).



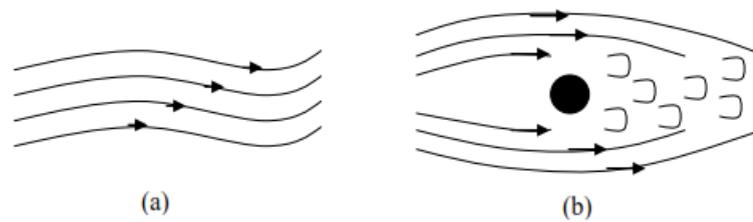
Gambar 2.10 Profil kecepatan untuk rotor tipe *drag* (Rosidin, 2007)

2.3 Mekanika Fluida

Mekanika fluida merupakan cabang dari mekanika terapan yang berkenaan dengan tingkah laku fluida dalam keadaan diam dan bergerak. Fluida merupakan zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk wadahnya. Fluida dapat digolongkan ke dalam cairan dan gas. Perbedaan-perbedaan utama diantara keduanya, yaitu: (1) cairan bersifat inkompresibel, dan gas bersifat kompresibel, (2) cairan mengisi volume tertentu, sedangkan gas dengan massa tertentu mengembang sampai mengisi seluruh bagian wadahnya.

Secara umum fluida dibedakan menjadi dua bagian, yaitu fluida statik dan fluida dinamik. Fluida statik menyelidiki fluida dalam keadaan diam dimana berat fluida merupakan satu-satunya sifat yang penting. Sedangkan fluida dinamik menyelidiki fluida dalam keadaan bergerak (aliran fluida). Terdapat tiga konsep penting dalam fluida dinamik, yaitu: (1) prinsip kekentalan massa, menghasilkan persamaan kontinuitas, (2) prinsip energi kinetik, dan (3) prinsip momentum. Ada dua jenis aliran fluida yaitu aliran laminar dan aliran turbulen.

Dalam aliran laminar partikel-partikel fluidanya bergerak di sepanjang lintasan-lintasan lurus dan tidak saling bersilangan. Sedangkan pada aliran turbulen partikel-partikel bergerak secara serampangan kesemua arah (Giles, 1990).

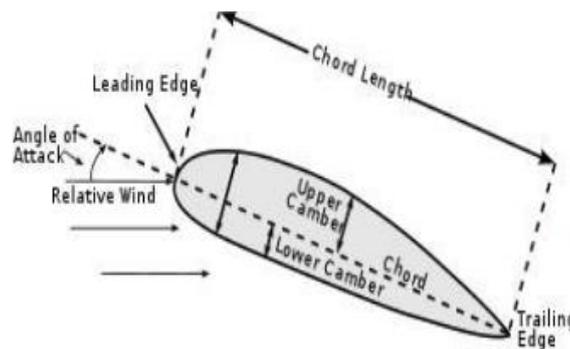


Gambar 2.11 Aliran fluida: (a) Aliran laminar, (b) Aliran Turbulen (Tipler, 1998)

2.4 Sudu/Baling-Baling/Blade

Sudu merupakan suatu penampang yang menampung bentuk aliran udara yang dibuat untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong pada saat tertentu yang dimanfaatkan oleh turbin angin. Gaya dorong yang dihasilkan oleh sudu inilah yang kemudian dimanfaatkan menghasilkan torsi. Besar kecilnya gaya angkat yang terjadi akan berubah-ubah tergantung desain sudu dan kondisinya. Pada pesawat terbang, gaya angkat pada sayap utama digunakan sebagai gaya pelawan, gaya berat pesawat yang memungkinkan pesawat terbang dapat lepas landas dan tetap melayang di angkasa, selain itu gaya angkat pada sayap-sayap pembeloknya digunakan untuk manuver pesawat ketika berada di udara dengan cara mengubah ubah sudut serangnya sehingga gaya angkat yang dihasilkan dapat diatur sedemikian rupa untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan; vertikal, horisontal, ataupun memutar terhadap sumbu aksial. Gaya dorong yang dihasilkan pada sudu-sudu turbin angin dimanfaatkan untuk memutar generator listrik yang terhubung dengan poros turbin angin. Agar generator listrik dapat bekerja dengan baik dan aman maka putaran harus selalu dijaga pada kisaran tertentu. Sudu dapat menghasilkan gaya dorong yang dibutuhkan untuk mempertahankan turbin angin supaya tetap berputar. Untuk menghasilkan gaya dorong ini maka *sudu* tersebut perlu terus berputar. Bentuk dari suatu sayap atau sudu – sudu yang dapat menghasilkan gaya dorong ketika ditumbuk oleh suatu bentuk aliran udara (*Airfoil*). Rotor kincir angin terdiri dari satu atau lebih sudu – sudu yang melekat pada poros turbin (pusat dari sudu). (Untung Surya Dharma, Masherni, 2016)

Gaya dorong yaitu gaya yang dialami oleh objek didalam aliran udara yang searah dengan aliran udara, sedangkan gaya angkat merupakan gaya yang dialami objek dalam aliran udara yang tegak lurus arah aliran udara tersebut. Sudut yang dibentuk oleh objek terdapat arah aliran yang diukur terhadap suatu garis referensi pada objek disebut *angle of attack* (α), garis referensi pada penampang *airfoil* biasa disebut *chord line*. *Airfoil* merupakan penampang objek yang dirancang untuk meminimalisasi gaya dorong. Bentuknya bulat pada bagian hidung (*leading edge*) dan lancip pada bagian ekornya (*trailing edge*). (Untung Surya Dharma, Masherni, 2016)



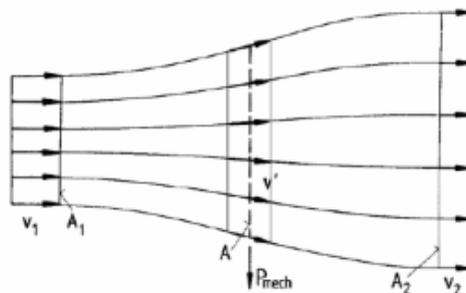
Gambar 2.11 Bagian penampang *airfoil* (Untung Surya Dharma dan Masherni, 2016)

Setiap permukaan *airfoil* yang mengalir udara terdapat dua gaya yang bekerja yaitu gaya hambat dan gaya angkat. Gaya hambat adalah gaya yang diukur sejajar dengan aliran udara yang menabrak kincir, gaya ini umumnya diperkecil dalam perancangan kincir. Gaya angkat merupakan gaya yang diukur tegak lurus dari aliran udara yang menabrak kincir. (Untung Surya Dharma, Masherni, 2016)

Besarnya gaya dorong dan gaya angkat tergantung oleh sudut serang (α). Dalam perancangan *airfoil* yang terpenting adalah rasio koefisien gaya dorong dan koefisien gaya angkat harus diminimalisasikan agar didapat efek aerodinamika yang seefisien mungkin. (Untung Surya Dharma, Masherni, 2016)

2.5 Teori Betz

Teori Betz berdasarkan pada pemodelan aliran angin dua dimensi yang mengenai rotor yang menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran angin berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor yang dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran angin disebabkan oleh sebagian energi kinetik angin yang diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin. Walaupun teori Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversi menjadi bentuk energi lainnya. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)



Gambar 2.13 Kondisi aliran angin akibat ekstraksi energi mekanik aliran bebas (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Pertama dengan menganggap bahwa kecepatan angin yang melalui penampang A adalah sebesar v , maka aliran volume angin yang melalui penampang rotor pada setiap satuan waktu adalah,

$$V = vA \quad (2.4)$$

Dimana : V = Laju Volume Angin (m^3/s)

v = Kecepatan Angin (m/s)

A = Luas Sapuan Rotor (m^2)

dengan demikian, laju aliran massa dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$m = \rho vA = \text{constant} \quad (2.5)$$

Dimana : ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

Hal ini menyatakan bahwa laju aliran massa selalu konstan sepanjang aliran. Lalu dilanjutkan dengan persamaan gaya pada rotor yang dikenai angin.

$$F = m \cdot a = m \frac{dv}{dt} = \rho A v (v_1 - v_2) \quad (2.6)$$

Dimana : v_1 = kecepatan angin di daerah upstream

v_2 = kecepatan angin di daerah downstream

Energi atau kerja yang disebabkan oleh angin dapat dituliskan,

$$dE = F dx \quad (2.7)$$

Kemudian didapatkan persamaan daya akibat aliran angin yang terjadi,

$$P = \frac{dE}{dt} = F \frac{dx}{dt} = Fv \quad (2.8)$$

Lalu substitusi gaya (F) dengan persamaan sebelumnya, didapatkan,

$$P = \rho A v^2 (v_1 - v_2) \quad (2.9)$$

Persamaan yang menyatakan daya akibat perubahan energi kinetik adalah

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2}{\Delta t} = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) \quad (2.10)$$

Menggunakan persamaan kontinuitas, daya (P) dapat dituliskan kembali menjadi,

$$P = \frac{1}{2}\rho Av(v_1^2 - v_2^2) \quad (2.11)$$

Menggabungkan persamaan ini dengan persamaan daya sebelumnya didapatkan,

$$\rho Av^2(v_1 - v_2) = \frac{1}{2}\rho Av(v_1^2 - v_2^2) \quad (2.12)$$

Kemudian disederhanakan menjadi,

$$v = \frac{1}{2}v_1 + v_2 \quad (2.13)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa kecepatan angin pada rotor dapat diasumsikan sebagai kecepatan rata-rata dari kecepatan angin di daerah *upstream* v_1 dan kecepatan angin di daerah *downstream* v_2 . Persamaan gaya (F) dan daya (P) selanjutnya, dengan memasukkan persamaan nilai kecepatan angin yang baru (v), akan menjadi

$$\begin{aligned} F &= \rho Av(v_1 - v_2) = \frac{1}{2}\rho A(v_1^2 - v_2^2) \\ P &= \rho Av^2(v_1 - v_2) = \frac{1}{4}\rho A(v_1 + v_2)^2(v_1^2 - v_2^2) \\ P &= \rho Av^2(v_1 - v_2) = \frac{1}{4}\rho A(v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2) \end{aligned} \quad (2.14)$$

Lalu didapatkan *downstream velocity factor* (b), yaitu rasio antara kecepatan *downstream* dan *upstream*, sebagai berikut,

$$b = \frac{v_2}{v_1} \quad (2.15)$$

Dengan memasukkan persamaan *downstream velocity factor* (b), maka persamaan gaya (F) dan daya (P) berubah menjadi,

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2}\rho Av_1^2(1 - b^2) \\ P &= \frac{1}{2}\rho Av_1^3(1 - b^2)(1 + b) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Persamaan daya yang tidak terpengaruh oleh aliran *upstream*, dengan $v = v_1$ dan melewati luas penampang A , dapat dituliskan

$$w = \frac{1}{2}\rho Av_1^3 \quad (2.17)$$

Koefisien daya adalah persamaan tak berdimensi yang menyatakan rasio antara daya yang dapat digunakan terhadap daya yang melewati penampang rotor,

$$C_p = \frac{P}{w} \quad (2.18)$$

Koefisien daya juga menyatakan efisiensi yang dapat dicapai oleh suatu turbin angin, dengan memasukkan persamaan daya (P) dan energi kinetik (W), maka akan diperoleh

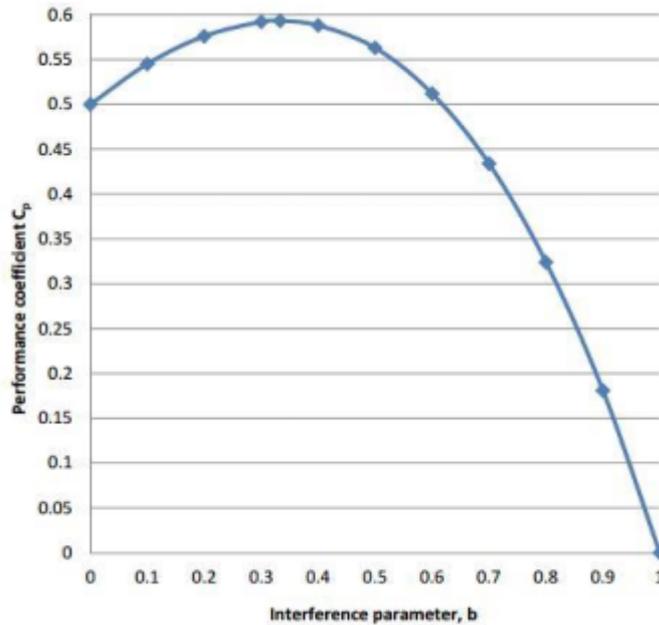
$$C_P = \frac{P}{W} = \frac{\frac{1}{4}\rho A v_1^3 (1-b^2)(1+b)}{\frac{1}{2}\rho A v_1^3} = \frac{1}{3}(1-b^2)(1+b) \quad (2.19)$$

Apabila dimasukkan nilai $b = 1, v_1 = v_2$ dan aliran angin diabaikan, maka koefisien daya bernilai nol. Namun apabila $b = 0, v_1 = 0$, maka koefisien daya bernilai 0,5. Koefisien daya maksimal bisa dicapai dengan menggunakan konsep diferensial agar didapat nilai *downstream velocity factor* (b) yang optimal pula, persamaannya menjadi

$$\begin{aligned} \frac{d C_P}{d b} &= \frac{1}{2} \frac{d}{d b} [(1-b^2)(1+b)] \\ 0 &= \frac{1}{2} [(1-b^2) - 2b(1+b)] \\ 0 &= \frac{1}{2} (1-b^2-2b-2b^2) \\ 0 &= \frac{1}{2} (1-3b^2-2b) \\ 0 &= \frac{1}{2} (1-3b)(1+b) \end{aligned} \quad (2.20)$$

Dari persamaan ini didapatkan,

$$b = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{2} \rightarrow v_2 = \frac{1}{3} v_1 \quad (2.21)$$



Gambar 2.14 Grafik koefisien daya terhadap rasio kecepatan aliran angin (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Persamaan ini menunjukkan bahwa untuk mencapai operasi yang optimal, maka *downstream velocity factor* (b) harus bernilai $1/3$ atau v_2 bernilai sepertiga dari v . Memakai persamaan ini, didapat koefisien daya sebagai berikut

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{1}{2}(1 - b^2)(1 + b) = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{1}{3} \right)^2 \left(1 + \frac{1}{3} \right) \right) = \frac{16}{27} \\ &= 0,59259 = 59,26 \% \end{aligned} \quad (2.22)$$

Nilai koefisien daya yang didapatkan ini disebut sebagai *Betz Limit*. Nilai ini adalah daya teoritis maksimum yang dapat dimanfaatkan yang diperoleh dari aliran angin ideal. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

2.6 Daya Angin

Daya yang dimiliki oleh angin untuk memutarakan sudu dapat di peroleh dari persamaan berikut :

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.23)$$

Dimana : E_k = Energi Kinetik (Joule)

m = Massa udara (kg)

v = Kecepatan angin (m/s)

Daya adalah energi persatuan waktu sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.24)$$

Dimana : P_{in} = Daya Angin (watt)

m = massa udara pesatuan waktu (kg/m^3)

$$m = \rho Av \quad (2.25)$$

Dimana : ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

A = luas penampang

Dengan menggunakan persamaan (), sehingga daya angin (P_{in}) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{1}{2}(\rho Av)v^2 \rightarrow P_{in} = \frac{1}{2}\rho v^3 \quad (2.26)$$

Dimana : P_{in} = Daya Angin (watt)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

A = Luas penampang sapuan

v = Kecepatan angin

2.7 Koefisien Daya Dan Torsi

Koefisien daya adalah hal penting dalam merancang turbin angin karena menunjukkan berapa besar energi angin yang dapat diekstraksi dari energi kinetik angin yang melalui penampang rotor menjadi suatu daya. Koefisien daya sangat mempengaruhi kinerja turbin angin, dan dipengaruhi oleh konstruksi turbin angin dan prinsip konversi energinya. Nilai koefisien daya maksimum secara teoritis adalah 59,26% atau sama dengan Betz *Limit*. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016) Koefisien torsi didefinisikan sebagai rasio antara nilai torsi yang dihasilkan oleh rotor dan torsi teoritis angin,

$$C_p = \frac{\text{torsi rotor}}{\text{torsi angin}} = \frac{T}{T_w} = \frac{Ia}{\frac{1}{4}\rho Adv^2} \quad (2.27)$$

Dimana, I = Momen Ineresia Rotor (kg.m^2 atau N.m.s^2)

α = Percepatan Sudut Rotor (rad/s²)
 ρ = Massa Jenis (kg/m³)
 A = Luas Penampang Rotor (m²)
 d = Diameter Satu Sudu (m)
 v = Kecepatan Angin (m/s)

Salah satu aplikasi dari nilai koefisien torsi adalah ketika akan melakukan pengujian pada rotor yang telah terhubung oleh *gearbox* dan generator. Koefisien lain yang dapat mengukur performa turbin angin adalah koefisien torsi statis. Koefisien ini didefinisikan sebagai torsi yang mengukur kemampuan *self starting* turbin angin dan didapatkan ketika rotor berada pada posisi diam. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

$$C_{qs} = \frac{\text{torsi statis rotor}}{\text{torsi angin}} = \frac{T_s}{T_w} = \frac{I_a}{\frac{1}{4}\rho A d v^2} \quad (2.28)$$

2.8 Daya Mekanis Turbin

Daya mekanis adalah daya yang dihasilkan turbin akibat kerja dari blade/sudu/baling-baling dengan cara mengkonversi energi kinetik angin menjadi energy mekanik atau energy putar pada poros. daya mekanis tidak sama dengan daya angin, karena daya mekanis dipengaruhi oleh koefisien daya angin (C_p). daya mekanis dapat dirumuskan sebagai berikut

$$P_T = T\omega \quad (2.29)$$

Dimana : P_T = Daya yang dihasilkan turbin (watt)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan Sudut (rad/detik)

Satuan kecepatan sudut radian per detik. Satuan lain yang dapat digunakan adalah putaran permentit (rpm). Konversi satuan yang menghubungkan radian per detik (rad/detik) dan putaran per menit (rpm) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.30)$$

Dengan : ω = Kecepatan sudut (rad/detik)

n = Putaran poros (rpm)

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.29 ke 2.30 untuk daya turbin angin dapat dirubah menjadi

$$P_T = T \frac{2\pi n}{60} \quad (2.31)$$

Dengan : P_T = Daya yang dihasilkan turbin (watt)

T = Torsi (Nm)

n = Putaran poros (rpm)

2.9 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. TSR juga dapat dilambangkan dengan λ . Secara perumusan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$TSR = \frac{u}{v} = \frac{\omega r}{v} \quad (2.32)$$

Dimana : TSR = Tip Speed Ratio

u = Kecepatan turbin (m/s)

ω = Putaran Turbin (rpm)

r = jari-jari rotor

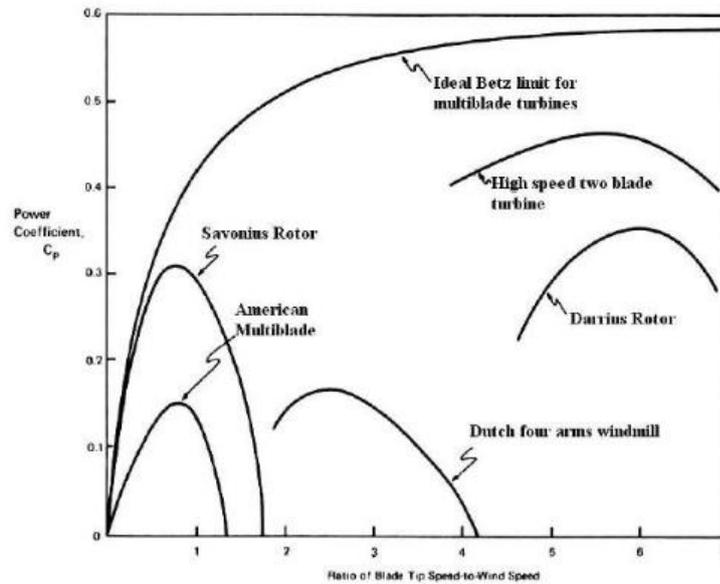
v = Kecepatan angin (m/s)

Karena setiap turbin memiliki karakteristik yang berbeda-beda, maka koefisien daya pun juga dipengaruhi oleh *tip speed ratio*. Apabila turbin angin memiliki grafik yang hampir mendekati *Betz Limit*, maka koefisien daya yang dimiliki akan semakin tinggi begitu pula dengan efisiensi. Grafik koefisien daya terhadap TSR ditunjukkan pada gambar. Semakin luas daerah di bawah grafik pada gambar menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin, maka semakin besar pengaruhnya terhadap sudu turbin. Jadi turbin tersebut mampu memanfaatkan kecepatan angin yang tinggi untuk dikonversi menjadi kecepatan turbin yang juga semakin tinggi. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Titik mulai grafik menunjukkan bahwa turbin angin mulai bekerja pada nilai TSR tertentu. Jika titik mulai berada pada TSR rendah maka turbin tersebut mampu bekerja pada kecepatan angin rendah. Selain itu secara umum pada grafik tiap turbin juga ditunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya TSR hal ini tidak

serta merta akan meningkatkan koefisien daya (C_p). (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

Pada saat tertentu saja koefisien daya (C_p) akan berada pada posisi maksimum. Berikut adalah grafik perbandingan TSR dengan koefisien daya (C_p) pada beberapa jenis turbin angin. (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)



Gambar 2.15 Grafik koefisien daya terhadap *tip speed ratio* (Rahmat Taufiqqurahman, 2016)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Adapun diagram alir pengerjaan Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

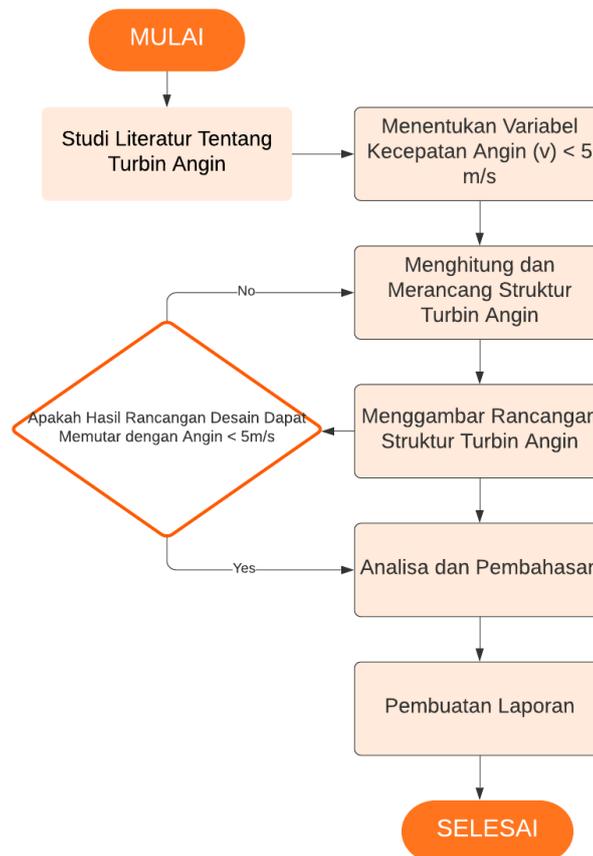
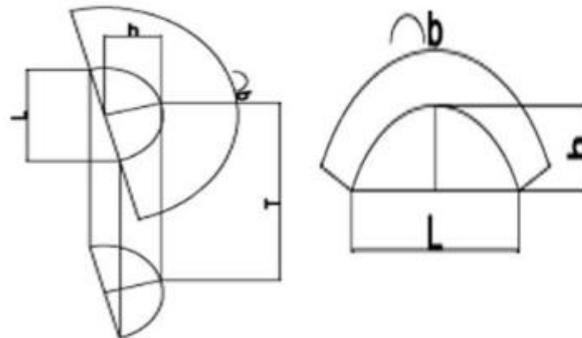


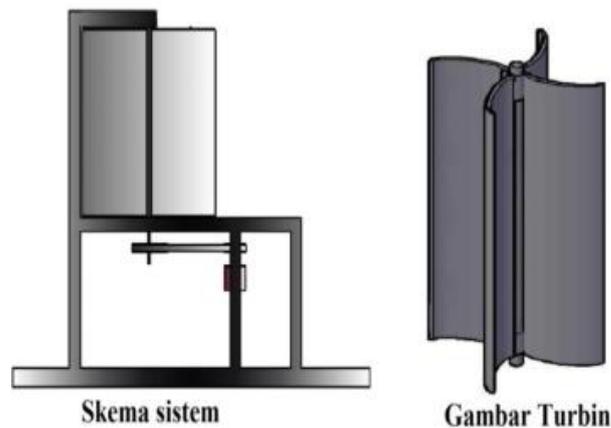
Diagram alir di atas menggambarkan tentang proses pembuatan tugas akhir yang dimulai dengan membaca dan mempelajari studi literatur tentang berbagai desain jenis turbin angin seperti tugas akhir, thesis, maupun jurnal penelitian dari tahun sebelumnya. Setelah mendapatkan berbagai bahan yang diperlukan, dilanjutkan dengan menentukan variable yang akan digunakan, kemudian dilanjutkan dengan menghitung sesuai rumus yang didapatkan dan merancang struktur turbin angin, setelah selesai merancang maka dilanjutkan dengan menggambar rancangan struktur turbin angin yang telah dibuat. Setelah itu dilakukan pengecekan apakah hasil rancangan tadi dapat memutar dengan kecepatan angin sesuai dengan variable yang ditentukan, jika tidak maka akan dikembalikan ke proses menghitung dan merancang lagi struktur angin, jika iya maka dapat dilanjutkan ke proses analisa dan pembahasan, jika sudah maka dapat dilakukan proses penyusunan laporan.

3.1 Studi literatur

Penelitian yang dilakukan oleh Untung Surya Dharma dan Masherni pada tahun 2016 adalah untuk mengetahui pengaruh desain sudu terhadap unjuk kerja prototype turbin angin vertical axis savonius. Metode yang dilakukan yaitu studi literatur, dokumentasi dan pembuatan sudu serta pengujian. Turbin angin yang dibuat dengan sudu 5/16, 5/16, 7/16 variasi kecepatan angin yang diujikan 3,6 m/s, 4 m/s, 4,13 m/s, 4,5 m/s, 4,6 m/s, 4,67 m/s, 5,4 m/s, 5,63 m/s dan 6,1 m/s. Dari ketiga variabel sudu berdasarkan pengujian beda kecepatan angin desain terbaik yang menghasilkan daya turbin dan daya generator penelitian ini yaitu dimiliki oleh desain sudu 7/16 dengan kecepatan angin yang paling tinggi 6,1 m/s menghasilkan daya turbinnya sebesar 6,125 Watt dan daya generatornya menghasilkan daya 4,391 Watt, sedangkan sudu 6/16 menghasilkan daya turbin 5,08 Watt dan daya generator 3,808 Watt dan sudu 5/16 hanya menghasilkan daya turbin sebesar 3,444 Watt dan daya generator sebesar 3,014 Watt. Besar efisiensi sistem masing-masing sudu hasil perhirungan dengan kecepatan angin tertinggi 6,1 m/s yaitu sudu 5/16 menghasilkan efisiensi sistemnya sebesar 18,99 %, nilai efisiensi sistem sudu 6/16 sebesar 21,81 % dan sudu 7/16 menghasilkan efisiensi system sebesar 23,06 %. (Untung Surya Dharma, Masherni (2016))



Gambar 3.1 Desain Turbin (Untung Surya Dharma, Masherni (2016))



Gambar 3.2 Konsep Rancangan VAWT (Untung Surya Dharma, Masherni (2016)

Pada tahun 2019, Favian Elfreda melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh lengkungan sudu model turbin angin savonius terhadap unjuk kerja model turbin angin kombinasi giromill dan savonius. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model turbin angin kombinasi tipe giromill dan savonius dengan tiga variasi bentuk sudu savonius, mengetahui model turbin angin yang terbaik diantara tiga variasi model turbin angin yang diteliti.

Model turbin angin kombinasi tipe giromill dan savonius ini adalah perpaduan antara dua tipe turbin angin Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) yang dirancang menjadi satu. Tinggi turbin angin tipe giromill 80 cm dan diameter 80cm dengan NACA 0024 serta chord 20cm dan turbin angin savonius dengan tinggi 60 cm dan diameter 40 cm dengan variasi bentuk sudu setengah lingkaran diameter 22 cm, 23 cm, dan 24 cm dengan lebar bentang sudu 22 cm.

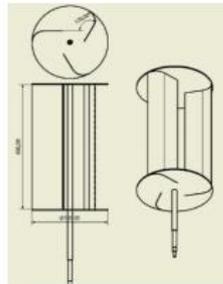
Hasil penelitian menunjukkan bahwa model turbin angin kombinasi tipe giromill dan savonius dengan sudu savonius diameter 22 cm dengan lebar bentang sudu 22 cm pada kecepatan angin rata-rata 7,5 m/s menghasilkan kecepatan putaran maksimal sebesar 228 rpm pada kondisi tanpa pembebanan dan unjuk kerja terbaik dengan koefisien daya maksimal sebesar 0,044 dengan nilai tip speed ratio optial sebesar 0,698. (Favian Elfreda, 2019)



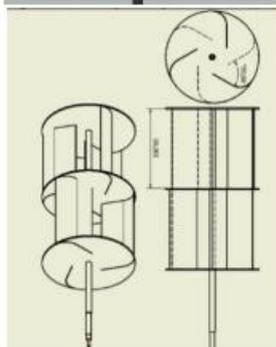
Gambar 3.3 Desain Turbin Kombinasi Tipe Giromill dan Tipe Savonius (Favian Elfreda 2019)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Krisna Slamet Rosyid, Sudarno, Wawan Trisnadi Putra di tahun 2018 yang bertujuan untuk mendapatkan unjuk kerja model turbin angin Savonius tipe L dengan 3 variasi. Ketiga variasi turbin angin tersebut dibuat dalam tiga stage, dengan ukuran yang sama yakni 0,35 m x 0,60 m.. Setiap model turbin angin diuji untuk mengetahui torsi, putaran poros, daya kincir, TSR dan koefisien daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model turbin Savonius dengan jumlah 2 stage memberikan koefisien daya (C_p) maksimal (21,86 % pada

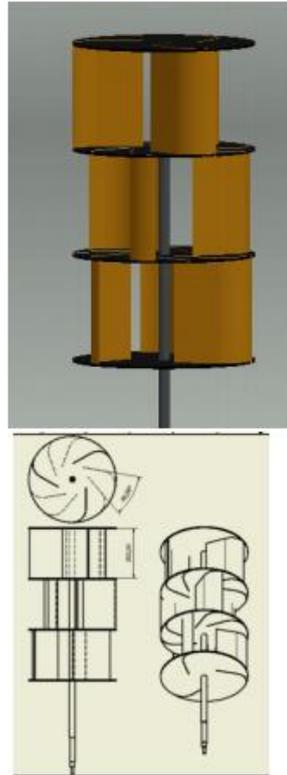
kecepatan angin 8,57 m/s) tertinggi di antara ketiga model turbin yang diteliti. Model turbin angin Savonius dengan bentuk sudu standar menghasilkan koefisien daya maksimal 14,10 % pada kecepatan angin 7,92 m/s. Serta turbin angin ketiga menghasilkan koefisien daya sebesar 16,39 % pada kecepatan angin 8,7 m/s. (Krisna Slamet Rosyid, Sudarno, Wawan Trisnadi Putra, 2018)



Gambar 3.4 Model Turbin Angin Tingkat 1 (Krisna Slamet Rosyid, Sudarno, Wawan Trisnadi Putra, 2018)



Gambar 3.5 Model Turbin Angin Tingkat 2 (Krisna Slamet Rosyid, Sudarno, Wawan Trisnadi Putra, 2018)



Gambar 3.6 Model Turbin Angin Tingkat 3 (Krisna Slamet Rosyid, Sudarno, Wawan Trisnadi Putra, 2018)

3.2 Parameter Perancangan

Dalam perancangan sebuah turbin angin, terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk melakukan perancangan,

3.2.1 Daya Keluaran Turbin

Untuk menentukan dimensi rotor savonius, maka dibutuhkan nilai daya keluaran yang mampu dihasilkan oleh turbin. Karena energi angin yang melalui rotor tidak semuanya dapat dimanfaatkan oleh rotor untuk menghasilkan daya yang sama dengan daya angin. Hal ini tergantung pada nilai efisiensi atau koefisien daya rotor tersebut. Untuk mendapatkan daya turbin digunakan persamaan berikut :

$$P_{turbin} = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad (3.1)$$

Dimana : P_{turbin} = Daya Turbin

C_p = Koefisien daya

ρ = Massa jenis udara

A = Sapuan Luas Turbin

v^3 = Kecepatan angin

Diambil satu contoh perhitungan dengan variasi kecepatan angin (v) adalah 3,5m/s, daya keluaran turbin yang diinginkan sebesar 10 watt. Nilai densitas udara sebesar 1.23 kg/m³. dan koefisien daya C_p sebesar 0,2 . dengan persamaan diatas

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 4^3$$

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 64$$

$$10 = 7,872 A$$

$$A = \frac{10}{7,872}$$

$$A = 1,28$$

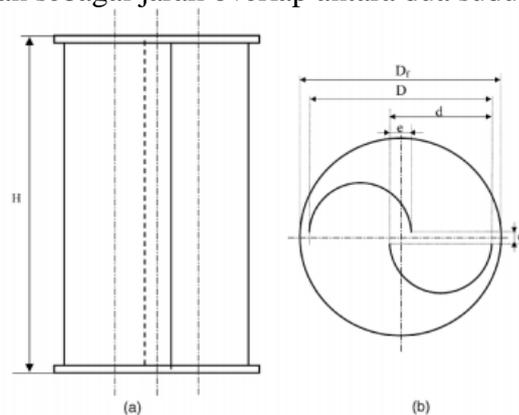
Jadi, sapuan luas turbin yang didapat yaitu 1,28 m

3.2.2 Aspect Ratio

Aspect ratio menunjukkan perbandingan antara tinggi rotor dengan diameter rotor. Berdasarkan beberapa kajian mengenai aspect ratio, nilai perbandingan tinggi dan diameter rotor yang mampu menghasilkan performa tipe Savonius yang baik yaitu sekitar 2 atau nilai perbandingan antara tinggi rotor dengan diameter sudu sekitar 4 .

3.2.3 Overlap Ratio

Overlap ratio didefinisikan sebagai jarak overlap antara dua sudu.



Gambar 3.7 Rotor tipe savonius (a) Pandangan atas, (b) pandangan bawah

Efisiensi terbaik didapat saat nilai overlap ratio yaitu 15% dari diameter sudu, namun pada penelitian lain didapatkan performa turbin terbaik juga dapat dicapai saat overlap ratio bernilai 10% - 15% , maupun bernilai 20% - 30% , Jadi overlap

dapat dicari yaitu 10% dari nilai diameter end plates. Sehingga overlap menjadi

$$10\% \times 0,88 = 0,088$$

3.2.4 Diameter dan Tinggi Rotor Turbin

Untuk menentukan ukuran dimensi diameter dan tinggi rotor, maka harus diketahui luas sapuan rotor yang dibutuhkan turbin. Luas sapuan rotor ini diperlukan untuk dapat menentukan dimensi tinggi dan diameter rotor yang sesuai dengan daya yang diinginkan. Karena aspect ratio yang mampu menghasilkan performa tipe Savonius yang baik yaitu sekitar 2, maka untuk mencari diameter dan tinggi rotor turbin menggunakan persamaan sebagai berikut

$$A = D \times H$$

$$1,28 = 0,80 \times 1,6$$

Maka, diameter yang didapatkan adalah 0,80 m sedangkan tinggi rotor turbin yang didapatkan yaitu adalah 1,6 m.

Diameter end plates yaitu lebih besar 10% dari diameter rotor sehingga didapatkan

$$10\% \times 0,80 = 0,08$$

$$0,80 + 0,08 = 0,88$$

Jadi diameter end plates sebesar 0,88.

3.2.5 Diameter Sudu

Diameter sudu dapat dicari berdasarkan overlap ratio, nilai overlap ratio yang digunakan adalah 20% overlap . Sehingga didapatkan diameter sudu sebesar 0,44 m

3.3 Parameter yang Ditentukan

3.3.1. Variabel yang Ditentukan

Variabel kontrol merupakan variabel yang sudah ditentukan sebelumnya. Dalam penelitian ini variabel yang ditentukan yaitu kecepatan angin, koefisien daya dan juga keluaran daya turbin yang diinginkan.

3.3.2. Variasi

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan angin dengan ukuran baling-baling turbin tipe savonius dengan keluaran daya turbin yang diharapkan sebesar 10 watt. Kecepatan angin yang divariasikan yaitu sebesar 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s dan 5m/s.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

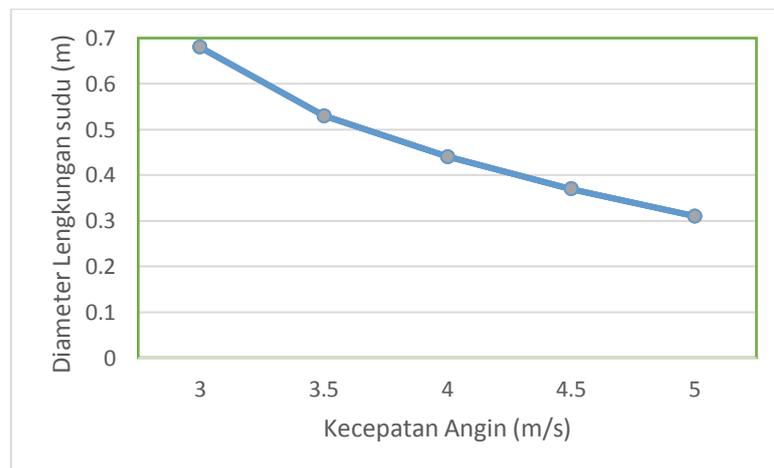
4.1 Analisa Data dan Hasil Perhitungan

Setelah dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan (3.1), didapatkan tabel pengukuran sebagai berikut :

Kecepatan Angin	Luas Sapuan Turbin	Diameter Rotor	Tinggi Rotor	Diameter Sudu
3	3	1.23	2.46	0.68
3.5	1.89	0.97	1.94	0.53
4	1.27	0.8	1.6	0.44
4.5	0.89	0.66	1.34	0.37
5	0.65	0.57	1.14	0.31

Tabel 4.1 Data Hasil Perhitungan

Dari tabel diatas maka dibuatlah grafik hubungan antara kecepatan angin (m/s) dengan diameter lengkungan sudu (m). Dimana, kedua variabel ini saling berkaitan.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Lengkungan Diameter Sudu

Dari grafik diatas diketahui bahwa, semakin kecil kecepatan angin maka, diameter lengkungan pada baling-baling juga akan semakin besar. Karena menurut

perhitungan yang sudah dilakukan, semakin besar diameter lengkungan baling-baling maka akan semakin besar juga angin yang dapat ditangkap oleh baling-baling tersebut, ini dikarenakan sudu merupakan suatu penampang yang menampung bentuk aliran udara yang dibuat untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong pada saat tertentu yang dimanfaatkan oleh turbin angin. Gaya dorong yang dihasilkan oleh sudu inilah yang kemudian dimanfaatkan menghasilkan torsi. Besar kecilnya gaya angkat yang terjadi akan berubah-ubah tergantung desain sudu dan kondisi operasinya.

4.2 Spesifikasi Turbin Hasil Rancangan

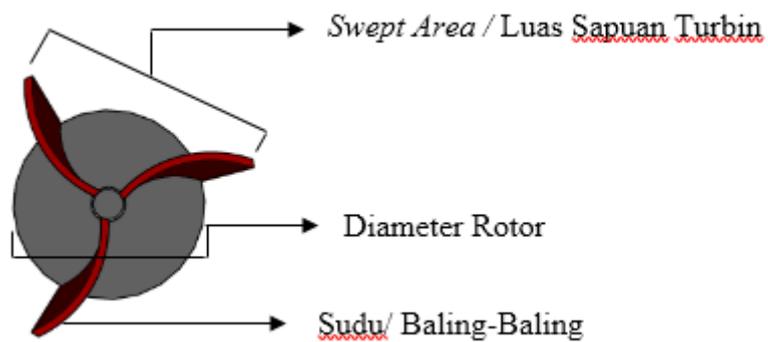
Setelah dilakukan perhitungan dengan memasukkan daya keluaran turbin sebesar 10 watt, dan koefisien daya sebesar 0,2 sebagai variable yang dikontrol maka didapatkan perhitungan sesuai dengan tabel 4.1. Pada tabel, dengan kecepatan angin 3 m/s didapatkan luas sapuan turbin sebesar 3 m², diameter rotor 1,23 m, tinggi rotor 2,46 m dan diameter sudu 0,68 m. Untuk kecepatan angin 3,5 m/s di dapatkan luas sapuan turbin sebesar 1,89 m², diameter rotor 0,97 m, tinggi rotor 1,94 m dan diameter sudu 0,68m. Untuk untuk kecepatan angin 4 m/s diapatkan luas sapuan turbin sebesar 1,28 m², diameter rotor 0,80 m, tinggi rotor 1,6 m dan diameter sudu sebesar 0,44 m. untuk kecepatan angin 4,5 m/s diapatkan luas sapuan turbin 0,89 m², diameter rotor 0,66 m, tinggi rotor 1,34 m, dan diameter sudu 0,37 m. Dan untuk kecepatan angin 5 m/s didapatkan sapuan luas turbin angin 0,65 m², diameter rotor 0,57 m, tinggi rotor 1,14 m, diameter sudu 0,31m.

Dari pembahasan diatas, didapatkan spesifikasi baling-baling turbin yang paling ideal untuk menangkap kecepatan angin yang rendah sebesar 3 m/s didapatkan luas sapuan turbin sebesar 3 m², diameter rotor 1,23 m, tinggi rotor 2,46 m dan diameter sudu 0,68 m. Jumlah sudu dibuat 3 karena jumlah tersebut merupakan jumlah sudu pada turbin angin yang paling efektif dan menurut penelitian yang sudah dipelajari sebelumnya, semakin banyak jumlah sudu yang dipakai daya listrik yang dihasilkan semakin besar juga, akan tetapi efisiensi dari turbin angin tersebut akan semakin kecil seiring bertambahnya jumlah sudu, ini dikarenakan semakin banyak jumlah sudu semakin besar pula beban yang ditimbulkan oleh turbin angin savonius.

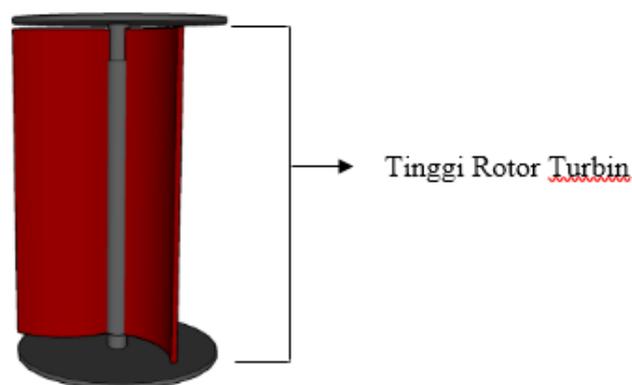
Spesifikasi Turbin	Nilai
Jenis Turbin	Turbin Angin Savonius
Daya yg dihasilkan	10 watt
Sapuan Luas Turbin	3 m ²
Diameter Rotor Turbin	1,23 m
Tinggi Rotor Turbin	2,46 m
Diameter Sudu	0,68 m
Jumlah Sudu	3

Tabel 4.2 Spesifikasi Hasil Rancangan Turbin

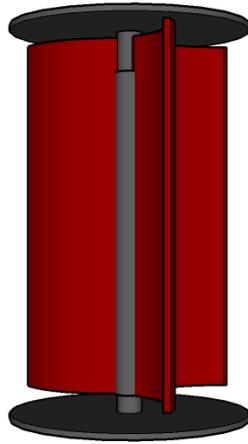
4.3. Hasil Desain Baling-Baling Turbin



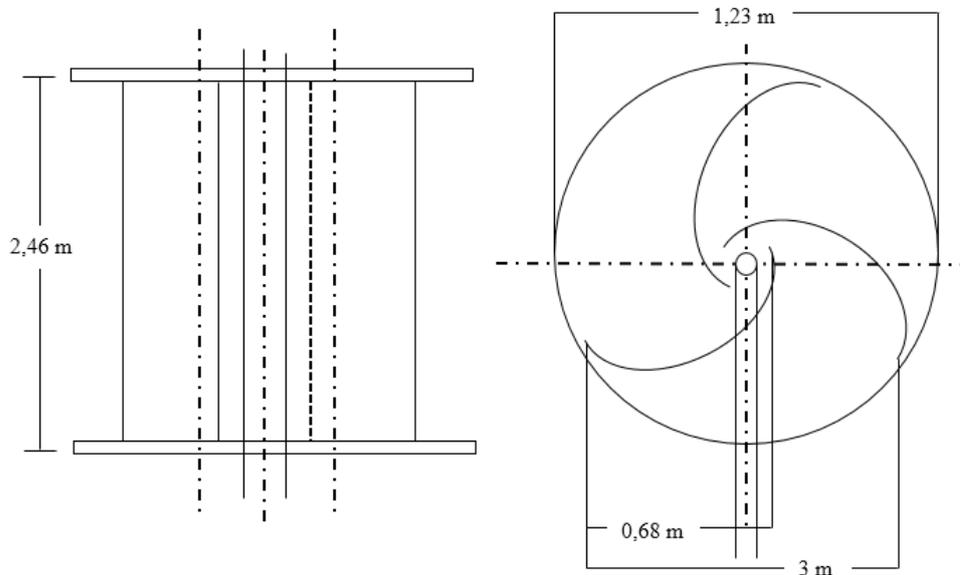
Gambar 4.2 Hasil Desain Turbin Angin Savonius Tampak Atas



Gambar 4.3 Hasil Desain Turbin Angin Savonius Tampak Depan



Gambar 4.4 Hasil Desain Turbin Angin Savonius Tampak Samping



Gambar 4.5 Ukuran Desain Turbin Angin Savonius

Gambar desain baling-baling turbin diatas dibuat menggunakan software Sketch Up. Jumlah sudu ada 3 dikarenakan pada jenis turbin angin savonius semakin banyak jumlah sudu yang dipakai daya listrik yang dihasilkan semakin besar juga, akan tetapi efisiensi dari turbin angin tersebut akan semakin kecil seiring bertambahnya jumlah sudu, ini dikarenakan semakin banyak jumlah sudu semakin besar pula beban yang ditimbulkan. Tinggi rotor turbin dibuat 2,46 m. Luas sapuan turbin 3 m. Diameter rotor turbin dibuat 1,23 m dan diameter sudu atau baling-baling dibuat 0,68 m. Dengan desain seperti ini menghasilkan daya sebesar 10 watt.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Untuk menghasilkan struktur rancangan bilah baling-baling yang dapat menangkap kecepatan angin yang rendah yaitu , didapatkan spesifikasi baling-baling turbin yang paling ideal untuk menangkap kecepatan angin yang rendah sebesar 3 m/s didapatkan luas sapuan turbin sebesar 3 m², diameter rotor 1,23 m, tinggi rotor 2,46 m dan diameter sudu 0,68 m.
2. Bentuk baling-baling turbin angin sangat mempengaruhi performa dari kecepatan perputaran turbin angin ini karena menurut penelitian dan perhitungan yang sudah dilakukan, semakin besar diameter lengkungan baling-baling maka akan semakin besar juga angin yang dapat ditangkap oleh baling-baling tersebut.

5.2 Saran

Adapun beberapa cara yang dapat diberikan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Diperlukan studi lebih lanjut tentang parameter-parameter lain yang dapat mempengaruhi desain baling-baling terhadap kinerja turbin angin tipe savonius.
2. Diperlukan pengaplikasian secara langsung dengan membuat prototype baling-baling turbin angin tipe savonius.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, Antonov., Hayattul, Wahyudi, 2018. "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Cihereas" Jurnal Teknik Elektro ITP, Vol. 7, No. 1 Januari 2018
- Daryanto, Y., 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG - UPT-LAGG
- Dharma, Untung Surya & Masherni, 2016 "Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertical Axis Savonius" Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung
- Dutta, Animesh. 2006. "Basics of Wind Technology". Asian Institute of Technology Thailand. 6 Juli 2006
- Farid A, 2014, "Optimasi Daya Turbin Angin Savonius Dengan Variasi Celah dan Perubahan Jumlah Sudu" Universitas Pacasakti Tegal, Tegal
- Favian Elfreda, 2019, "Pengaruh Lengkungan Sudu Model Turbin Angin Savonius Terhadap Unjuk Kerja Model Turbin Angin Kombinasi Giromill Dan Savonius" Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
- Giles, Ranald V., 1990. *Mekanika Fluida dan Hidraulika (SI-Metrik) Edisi Kedua (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga
- Hilmansyah, Yuniar, Risty Jayanti., Ramli., 2017. *Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kendali Pi*. Jurnal Sains Terapan, No. 1, Vol, 3. April 2017.
- Khan, N.I., Iqbal, M.T., Hinchey, Michael, dan Masek, Vlastimil. 2009. *Performance of Savonius Rotor As A Water Current Turbine*. Journal of Ocean Technology. Vol. 4, No. 2, pp. 71-83
- Lutfi FS, Nugroho G & Musyafa A, 2013, "Rancang bangun turbin angin vertical jenis savonius dengan variasi jumlah stage dan phase shift angle untuk memperoleh daya maksimum", ITS, Surabaya.
- Mittal, Neeraj. 2001. *Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT*. Thesis. UK: Departement of Mechanical Engineering University of Strathclyde
- Olson, Reuben M., dan Wright, Steven J., 1993. *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik Edisi Kelima (Terjemahan)*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Prasetyo, Adhi., Notosudjono, Didik., Soebagja, Hasto., 2018. *Studi Potensi Penerapan dan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia*. Teknik Elektro, Universitas Pakuan.
- Reksoatmodjo, Tedjo Narsoyo. 2004. *Vertical Axis-Differential Drag Windmill*. Jurnal Teknik Mesin Volume 6, No 2, Oktober 2004: 65 – 70

- Rosidin, Nanang. 2007. Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside Untuk Penerangan Jalan Tol. Bandung: ITB
- Rosyid, Krisna Slamet. Sudarno. Putra, Wawan Trisnadi, 2018. Pengaruh Variasi Jumlah Stage Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Savonius Tipe-L. Universitas Muhamadiyah Ponorogo.
- Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N., 2006. Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol; Bandung. ITB

Lampiran

Perhitungan

Mencari Luas Sapuan Turbin, Diameter Rotor Turbin, Tinggi Turbin dan Diameter Sudu Untuk Kecepatan Angin 3 m/s

Luas Sapuan Turbin :

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

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 3^3$$

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 27$$

$$10 = 3,321 A$$

$$A = \frac{10}{3,321}$$

$$A = 3$$

Diameter Rotor Sudu dan Tinggi Turbin :

$$A = D \times H$$

$$3 = 1,23 \times 2,46$$

Diameter end plates yaitu lebih besar 10% dari diameter rotor sehingga didapatkan

$$10\% \times 1,23 = 0,123$$

$$1,23 + 0,123 = 1,353$$

Overlap dapat dicari yaitu 10% dari nilai diameter end plates

$$10\% \times 1,353 = 0,1353$$

Diameter sudu dapat dicari berdasarkan overlap ratio, nilai overlap ratio yang digunakan adalah 20% overlap

$$\frac{0,1353}{20\%} = 0,6765 \approx 0,68$$

Mencari Luas Sapuan Turbin, Diameter Rotor Turbin, Tinggi Turbin dan Diameter Sudu Untuk Kecepatan Angin 3,5 m/s

Luas Sapuan Turbin :

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

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 3,5^3$$

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 43$$

$$10 = 5,289 A$$

$$A = \frac{10}{5,289}$$

$$A = 1,89$$

Diameter Rotor Sudu dan Tinggi Turbin :

$$A = D \times H$$

$$1,89 = 0,97 \times 1,94$$

Diameter end plates yaitu lebih besar 10% dari diameter rotor sehingga didapatkan

$$10\% \times 0,97 = 0,097$$

$$0,97 + 0,097 = 1,067$$

Overlap dapat dicari yaitu 10% dari nilai diameter end plates

$$10\% \times 1,067 = 0,1067$$

Diameter sudu dapat dicari berdasarkan overlap ratio, nilai overlap ratio yang digunakan adalah 20% overlap

$$\frac{0,1067}{20\%} = 0,5335 \approx 0,53$$

Mencari Luas Sapuan Turbin, Diameter Rotor Turbin, Tinggi Turbin dan Diameter Sudu Untuk Kecepatan Angin 4 m/s

Luas Sapuan Turbin :

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

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 4^3$$

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 64$$

$$10 = 7,872 A$$

$$A = \frac{10}{7,872}$$

$$A = 1,27$$

Diameter Rotor Sudu dan Tinggi Turbin :

$$A = D \times H$$

$$1,28 = 0,80 \times 1,6$$

Diameter end plates yaitu lebih besar 10% dari diameter rotor sehingga didapatkan

$$10\% \times 0,8 = 0,08$$

$$0,80 + 0,080 = 0,88$$

Overlap dapat dicari yaitu 10% dari nilai diameter end plates

$$10\% \times 0,88 = 0,088$$

Diameter sudu dapat dicari berdasarkan overlap ratio, nilai overlap ratio yang digunakan adalah 20% overlap

$$\frac{0,088}{20\%} = 0,44$$

Mencari Luas Sapuan Turbin, Diameter Rotor Turbin, Tinggi Turbin dan Diameter Sudu Untuk Kecepatan Angin 4,5 m/s

Luas Sapuan Turbin :

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

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 4,5^3$$

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 91,125$$

$$10 = 11,2176 A$$

$$A = \frac{10}{11,2176}$$

$$A = 0,89$$

Diameter Rotor Sudu dan Tinggi Turbin :

$$A = D \times H$$

$$0,89 = 0,66 \times 1,34$$

Diameter end plates yaitu lebih besar 10% dari diameter rotor sehingga didapatkan

$$10\% \times 0,66 = 0,066$$

$$0,66 + 0,066 = 0,726$$

Overlap dapat dicari yaitu 10% dari nilai diameter end plates

$$10\% \times 0,726 = 0,0726$$

Diameter sudu dapat dicari berdasarkan overlap ratio, nilai overlap ratio yang digunakan adalah 20% overlap

$$\frac{0,0726}{20\%} = 0,363 \approx 0,37$$

Mencari Luas Sapuan Turbin, Diameter Rotor Turbin, Tinggi Turbin dan Diameter Sudu Untuk Kecepatan Angin 5 m/s

Luas Sapuan Turbin :

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

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 5^3$$

$$10 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 1,23 \times A \times 125$$

$$10 = 15,375 A$$

$$A = \frac{10}{15,375}$$

$$A = 0,65$$

Diameter Rotor Sudu dan Tinggi Turbin :

$$A = D \times H$$

$$0,65 = 0,57 \times 1,14$$

Diameter end plates yaitu lebih besar 10% dari diameter rotor sehingga didapatkan

$$10\% \times 0,57 = 0,057$$

$$0,57 + 0,057 = 0,627$$

Overlap dapat dicari yaitu 10% dari nilai diameter end plates

$$10\% \times 0,627 = 0,0627$$

Diameter sudu dapat dicari berdasarkan overlap ratio, nilai overlap ratio yang digunakan adalah 20% overlap

$$\frac{0,0627}{20\%} = 0,3135 \approx 0,31$$

Variabel Yang Ditentukan		Satuan	
Daya Keluaran Turbin	10	Watt	
Massa Jenis Udara	1.23	kg/m	
Koefisien Daya	0.2		
Variabel Yang Dirubah	Persamaan Mencari Luas Sapuan Turbin	Luas Sapuan Turbin	
Kecepatan Angin	$P_{turbin} = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$ $A = \frac{2P}{C_p \rho v^3}$	3.011141223	
3		1.896228875	
3.5		1.270325203	
4		0.892189992	
4.5		0.650406504	
5			
Persamaan Mencari Diameter dan Tinggi Turbin	$A = D \times H$ $A = D \times 2D$ $A = 2 (D^2)$ $D = \left(\frac{A}{2}\right)^{0.5}$	$H = 2D$	Keterangan A = Luas Sapuan Turbin D = Diameter Rotor Turbin H = Diameter Tinggi Turbin
Diameter Rotor Turbin	1.227016956 0.973711681 0.796970891 0.667903433 0.570265949	Tinggi Turbin	2.454033913 1.947423362 1.593941783 1.335806866 1.140531897
Persamaan Mencari Diameter End Plates	$Z = 10 \% \times D$ $= Z + D$	Z	Diameter End Plates
		0.122701696	1.349718652
		0.097371168	1.071082849
		0.079697089	0.87666798
		0.066790343	0.734693776
	0.057026595	0.627292543	
Persamaan Mencari Overlap Ratio	$= 10 \% \times \text{Diameter End Plates}$	Overlap Ratio	0.134971865 0.107108285 0.087666798 0.073469378 0.062729254
		Diameter Sudu	0.674859326

Persamaan Mencari Diameter Sudu	$= \textit{Overlap Ratio} : 20 \%$	0.535541424 0.43833399 0.367346888 0.313646272
--	------------------------------------	---

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis Mashita Titah Maryanti biasa dipanggil Sita. Penulis lahir di Tulungagung pada 30 Maret 1998 dari Ayah Moch. Ichwan dan Ibu Murtini. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN Boro, kemudian melanjutkan ke sekolah menengah pertama SMPN 2 Tulungagung. Dan melanjutkan ke sekolah menengah atas SMAN 1 KAUMAN. Dan pada tahun 2020 ini penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi DIII-Teknologi Instrumentasi, Departemen Teknik Instrumentasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***“DESAIN STRUKTUR BALING-BALING PADA SISTEM TURBIN ANGIN SAVONIUS”*** Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut atau pertanyaan mengenai tugas akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui email mashitatitah98@gmail.com