

**ANALISIS PENGARUH SUDUT TANGKAP DAN  
KEMIRINGAN DAUN TURBIN ARUS VERTIKAL  
TERAPUNG (TAVT) TIPE H-DARRIEUS**

**SKRIPSI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



**FADEL MUHAMMAD DG. MALLURU**

**D331 16 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH SUDUT TANGKAP DAN KEMIRINGAN DAUN  
TURBIN ARUS VERTIKAL TERAPUNG (TAVT) TIPE H-DARRIEUS**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**FADEL MUHAMMAD DG. MALLURU**

**D33116001**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 16 Agustus 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

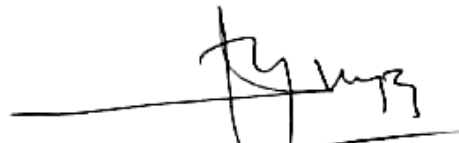
**Pembimbing Utama,**

**Pembimbing Pendamping**



**Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng**

**NIP.198102112005011003**



**Ir. Zulkifli, M.T**

**NIP.195701151988111001**

**Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan**



**Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.**

**NIP.198102112005011003**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Judul skripsi : Analisis Pengaruh Sudut Tangkap Dan Kemiringan Daun  
Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) Tipe H-Darrieus

Nama Mahasiswa : Fadel Muhammad Dg. Malluru

NIM : D33116001

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh Panitia Ujian Sarjana Program Strata Satu (S1) Teknik Sistem Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 16 Agustus 2021.

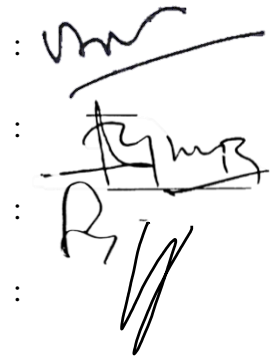
### Panitia Ujian Sarjana

Ketua : Dr. Eng. Faisal Mahmuddin. S.T., M.Inf.Tech., M.Eng

Sekretaris : Ir. Zulkifli, M.T

Anggota : Ir. Syerly Klara, M.T

: Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., PhD.

Handwritten signatures of the exam committee members, corresponding to the names listed on the left. The signatures are written in black ink and are somewhat stylized.

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Fadel Muhammad Dg. Malluru

NIM : D33116001

Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

“Analisis Pengaruh Sudut Tangkap Dan Kemiringan Daun Turbin Arus Vertikal  
Terapung (TAVT) Tipe H-Darrieus”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Agustus 2021  
Yang membuat pernyataan,



Fadel Muhammad Dg. Malluru

## ABSTRAK

Fadel Muhammad Dg. Malluru/D331 16 001. ” **ANALISIS PENGARUH SUDUT TANGKAP DAN KEMIRINGAN DAUN TURBIN ARUS VERTIKAL TERAPUNG (TAVT) TIPE H-DARRIEUS** ”. (Dibimbing oleh Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. dan Ir. Zulkifli, M.T.)

Persediaan sumber energi minyak bumi, gas alam dan batu bara sangat terbatas, apabila secara terus menerus digunakan maka suatu saat sumber energi tersebut akan habis, disamping itu juga kecenderungan melonjaknya harga sumber energi tersebut. Hal ini diakibatkan karena energi listrik sudah menjadi bagian penting bagi perkembangan peradaban manusia diberbagai bidang antara lain bidang ekonomi, teknologi, sosial dan budaya manusia. Oleh karena itu, pengembangan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan. Turbin arus salah satu energi terbarukan yang banyak memiliki keuntungan. Densitas yang besar sangat berpengaruh pada gaya dorong yang dihasilkan, semakin besar peningkatan gaya dorong maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Dengan melihat hal tersebut, maka dilakukanlah penelitian ini dengan memodifikasi desain turbin lurus (tipe H-Darrieus) dengan *Airfoil* NACA 0024 yaitu perubahan kemiringan daun yang dikombinasikan variasi sudut tangkap daun turbin pada sebuah pembangkit listrik tenaga sederhana berupa Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) dalam rangka upaya untuk perbaikan kinerja. Penelitian dilakukan pada tangki *Circulating Water Channel* (CWC) untuk mensimulasikan keadaan lapangan yang sebenarnya dengan variasi kecepatan aliran yang berbeda. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat *prototype* turbin arus dan simulasi *software Qblade*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa model kemiringan daun turbin arus vertikal terapung dengan efisiensi tertinggi pada kecepatan arus 0,53 m/s – 0,83 m/s adalah model turbin arus vertikal terapung dengan kemiringan daun 60° dengan kombinasi sudut tangkap 30° dengan efisiensi turbin pada tiap kecepatan arus adalah 35,72% pada kecepatan 0,53 m/s, 25,08% pada kecepatan arus 0,70 m/s dan 19,04% pada kecepatan arus 0,83 m/s.

**Kata Kunci:** TAVT, Tipe H-Darrieus, *Airfoil* NACA 0024, Efisiensi Turbin, Kemiringan Daun Turbin

## ABSTRACT

*Fadel Muhammad Dg. Malluru/D331 16 001. "ANALYSIS OF THE EFFECT OF LEAF ANGLE AND INCLINED-BLADE H-DARRIEUS TYPE OF VERTICAL CURRENT TURBINE (TAVT). ". (Supervised by Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST, M.Inf.Tech., M.Eng. and Ir. Zulkifli, MT)*

*Supply of energy sources of oil, natural gas and coal is very limited, if it is continuously used then one day these energy sources will run out, besides that there is also a tendency to increase the price of these energy sources. This is because electrical energy has become an important part of the development of human civilization in various fields including the economic, technological, social and human cultural fields. Therefore, the development of alternative energy sources that are renewable and environmentally friendly is an option. The current turbine is one of the renewable energies that has many advantages. The large density greatly affects the thrust generated, the greater the increase in thrust, the greater the power generated. With this in mind, this research was carried out by modifying the design of a straight turbine (type H-Darrieus) with Airfoil NACA 0024, namely changes in leaf slope combined with variations in turbine leaf angles in a simple power plant in the form of a Floating Vertical Flow Turbine (TAVT) in order to efforts to improve performance. The research was conducted on a Circulating Water Channel (CWC) tank to simulate the actual field conditions with different flow velocity variations. This research was carried out by making a prototype flow tube and simulating the Qblade software. From the results of the study, it was found that the floating vertical flow turbine leaf slope model with the highest efficiency at a current speed of 0.53 m/s – 0.83 m/s is a floating vertical flow turbine model with a leaf slope of 60° with a combination of an angle of 30° with turbine efficiency. at each current speed is 35.72% at a speed of 0.53 m/s, 25.08% at a current speed of 0.70 m/s and 19.04% at a current speed of 0.83 m/s.*

**Keywords:** TAVT, Type H-Darrieus, Airfoil NACA 0024, Turbine Efficiency, Inclined-Blade Turbine

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, segala puji dan syukur kepada Allah subhanahu wa ta’ala atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Sudut Tangkap Dan Kemiringan Daun Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) Tipe H-Darrieus”.

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyusun menyadari bahwa skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, semua karena keterbatasan waktu dan pengetahuan serta kemampuan penyusun sebagai manusia biasa. Untuk itu penyusun mohon maaf atas semua kekurangan dan kesalahan yang terjadi di dalam penyusunan skripsi ini, serta penyusun berharap masukan dan saran agar kedepannya penyusun dapat lebih baik lagi.

Di dalam penyusunan skripsi ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam banyak hal. Oleh sebab itu, disini penulis sampaikan rasa terima kasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, **Ayahanda Syamsu Alam, S.E** dan **Ibu Nurmiyati, S.Pd., M.Si** atas kesabaran, pengorbanan, nasehat dan yang terutama doa yang tak putus – putusnya selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik dan untuk saudara tercinta yang telah memberikan support dan semangat tiada henti dari adik tercinta **Istiqamah Amaliah Syam** atas perhatian dan dukungannya.
2. Bapak **Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.** selaku pembimbing I sekaligus Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi penulis mulai dari awal penelitian hingga terselesaikan skripsi ini.

3. **Ir. Zulkifli M.T** selaku pembimbing II yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi penulis mulai dari awal penelitian hingga terselesaikan skripsi ini.
4. **Ir. Syerly Klara, M.T** selaku dosen laboratorium Permesinan dan dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan Perkapalan sekaligus penguji dalam tugas akhir ini.
5. **Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D** selaku dosen laboratorium Propulsi dan dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan Perkapalan sekaligus penguji dalam tugas akhir ini.
6. **Haryanti Rivai, S.T., M.T., Ph.D** selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan ini.
7. Seluruh **Dosen** Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, terima kasih atas seluruh ilmu dan diskusi yang telah diberikan selama penulis berkuliah.
8. Seluruh **Staff Departemen** Teknik Sistem Perkapalan, terima kasih atas seluruh *support* dalam proses akademik maupun non-akademik selama penulis berkuliah.
9. Tiga puluh tiga saudara/saudari saya se-**Teknik Sistem Perkapalan 2016**, terima kasih atas kebersamaannya selama menjalani masa perkuliahan.
10. Teman-teman **Cruizer 2016**, terima kasih atas segala *support*, rasa kekeluargaan dan kesederhanaannya, serta segala kebersamaannya selama masa perkuliahan di Jurusan Perkapalan.
11. **SKM PERKAPALAN UNHAS**, terima kasih atas segala ilmu dan inspirasi kepada penulis selama masa perkuliahan di Perkapalan.
12. Kanda-kanda **senior**, dinda-dinda **junior** dan teman-teman se-**Fakultas Teknik 2016** yang senantiasa berbagi ilmu dan pengalamannya selama masa perkuliahan.
13. **Efek Kayu Bakar**, terima kasih yang selalu menghibur, mendukung, serta selalu meluangkan waktu bersama meskipun disaat tersulit dan tersibuk selama masa perkuliahan.



14. Yang terakhir penulis ucapkan terima kasih untuk seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memiliki peranan dan kontribusi di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari dengan sepenuh hati bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kesalahan maupun kekurangan. Untuk itu peneliti memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

*Aamiin YaaRabbalAlamin*

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Gowa, 16 Agustus 2021

Fadel Muhammad Dg. Malluru

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	x
LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xviii
BAB I     PENDAHULUAN.....	1
I.1.     Latar Belakang.....	1
I.2.     Rumusan Masalah.....	3
I.3.     Batasan Masalah .....	3
I.4.     Tujuan Penelitian .....	3
I.5.     Manfaat Penelitian .....	4
I.6.     Sistematika Penulisan .....	4
BAB II    TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1.    Turbin Arus.....	6
II.2.    Turbin Arus Sumbu Vertikal .....	7
II.3.    Prinsip Kerja Turbin Arus Sumbu Vertikal .....	7
II.4.    Turbin Darrieus.....	9
II.5.    Sistem Konversi Energi Air.....	10

II.6.	Performansi Dan Efisiensi Turbin .....	11
II.7.	<i>Airfoil NACA (National Advisory Committee For Aeronautics)</i> .....	13
II.8.	Software QBlade.....	16
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
III.1.	Lokasi dan Waktu Kegiatan Penelitian.....	17
III.2.	Studi Literatur .....	17
III.3.	Survei Lapangan .....	17
III.4.	Perancangan Model.....	18
III.5.	Matriks Kebutuhan pengujian.....	19
III.6.	Metode Pengujian Turbin Sumbu Vertikal.....	22
III.7.	Simulasi Qblade.....	24
III.8.	Diagram Alur Penelitian .....	27
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>29</b>
IV.1.	Desain Daun Turbin .....	29
IV.2.	Hasil Pengambilan Data Pengujian .....	30
IV.2.1.	Data Tegangan Regulator .....	30
IV.2.2.	Data Putaran Mesin.....	31
IV.2.3.	Data Kecepatan Arus Air .....	31
IV.3.	Kecepatan Putar dan Torsi Turbin .....	33
IV.4.	Pengaruh Variasi Sudut Tangkap Daun Turbin .....	37
IV.5.	Hasil pengujian Variasi Kemiringan Daun Turbin .....	38
IV.5.1.	Sudut Tangkap Daun 0° .....	38
IV.5.2.	Sudut Tangkap Daun 10° .....	40
IV.5.3.	Sudut Tangkap Daun 20° .....	41
IV.5.4.	Sudut Tangkap Daun 30° .....	43

IV.6.	Perhitungan Daya .....	45
IV.6.1.	Daya Perencanaan.....	45
IV.6.2.	Daya Turbin .....	46
IV.6.3.	Efisiensi Turbin.....	51
IV.6.3.1	Efisiensi Model.....	51
IV.6.3.2	Efisiensi Sisa.....	57
IV.6.3.3	Efisiensi Total .....	51
IV.7.	Hasil Simulasi Turbin Tipe Darrieus .....	59
BAB V	PENUTUP .....	66
V.1.	Kesimpulan.....	66
V.2.	Saran.....	66
	DAFTAR PUSTAKA .....	67
	LAMPIRAN	
	Lampiran 1. Pengukuran Kecepatan Arus Laut	
	Lampiran 2. Model Turbin Dalam Penelitian	
	Lampiran 3. Kurva Pengaruh Sudut Daun	
	Lampiran 4. Nilai <i>Reynold Number</i> Setiap Kemiringan Daun dan Pola Aliran Turbin	
	Lampiran 5. Surat Penugasan Panitia Ujian Sarjana	
	Lampiran 6. Surat Penugasan Dosen Pembimbing Mahasiswa	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data <i>Circulating Water Channel</i> (CWC).....	17
Tabel 3.2	Data Daun dengan Tipe Darrieus .....	18
Tabel 3.3	Daftar dan Spesifikasi Peralatan.....	19
Tabel 3.4	Daftar dan Spesifikasi Bahan .....	21
Tabel 3.5	Variasi sudut tangkap dan kemiringan pada daun turbin .....	22
Tabel 4.1	Data Tegangan Yang Masuk ke Mesin .....	30
Tabel 4.2	Data Putaran Mesin pada Tegangan yang Berbeda .....	31
Tabel 4.3	Data Kecepatan Arus Air Turbin pada Tegangan Regulator yang Berbeda.....	32
Tabel 4.4	Data Pengaruh Kecepatan Arus Terhadap Putaran Daun Turbin..	33
Tabel 4.5	Data Pengaruh Kecepatan Arus Terhadap Torsi Turbin .....	35
Tabel 4.6	Daya Maksimum Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus .	45
Tabel 4.7	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 0° .....	47
Tabel 4.8	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 20° .....	48
Tabel 4.9	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 40° .....	49
Tabel 4.10	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 60° .....	50
Tabel 4.11	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 80° .....	51
Tabel 4.12	Efisiensi Model Turbin Arus Vertikal Terapung Darrieus dengan Kemiringan Daun 0° .....	52
Tabel 4.13	Efisiensi Model Turbin Arus Vertikal Terapung Darrieus dengan Kemiringan Daun 20° .....	53
Tabel 4.14	Efisiensi Model Turbin Arus Vertikal Terapung Darrieus dengan Kemiringan Daun 40° .....	53
Tabel 4.15	Efisiensi Model Turbin Arus Vertikal Terapung Darrieus dengan Kemiringan Daun 60° .....	54

Tabel 4.16	Efisiensi Model Turbin Arus Vertikal Terapung Darrieus dengan Kemiringan Daun $80^\circ$ .....	55
Tabel 4.17	Nilai Daya Sisa dan Efisiensi Sisa Turbin Pada Setiap Variasi Kemiringan Daun Turbin .....	57
Tabel 4.18	Nilai Efisiensi Total Turbin Pada Setiap Variasi Kemiringan Daun Turbin.....	59
Tabel 4.19	Perbandingan Daya Turbin Antara Eksperimen dan Simulasi Pada Kemiringan Daun $0^\circ$ (Watt) .....	60
Tabel 4.20	Perbandingan Daya Turbin Antara Eksperimen dan Simulasi Pada Kemiringan Daun $20^\circ$ (Watt) .....	61
Tabel 4.21	Perbandingan Daya Turbin Antara Eksperimen dan Simulasi Pada Kemiringan Daun $40^\circ$ (Watt) .....	62
Tabel 4.22	Perbandingan Daya Turbin Antara Eksperimen dan Simulasi Pada Kemiringan Daun $60^\circ$ (Watt) .....	63
Tabel 4.23	Perbandingan Daya Turbin Antara Eksperimen dan Simulasi Pada Kemiringan Daun $80^\circ$ (Watt) .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Proses Konversi Energi Air (Satrio, 2019).....	7
Gambar 2.2	Gaya <i>drag</i> yang dibangkitkan sebuah benda datar pada aliran <i>steady</i> .....	8
Gambar 2.3	Gaya <i>lift</i> yang dibangkitkan sebuah benda datar pada aliran <i>steady</i> .....	8
Gambar 2.4	Vektor gaya pada turbin (Febrianto & Santoso, 2016). ....	9
Gambar 2.5	Beberapa bentuk turbin sumbu vertikal Darrieus (Satrio, 2019) .....	9
Gambar 2.6	Nilai <i>tip speed ratio</i> (Irsyad, 2010) .....	12
Gambar 2.7	Gaya <i>lift</i> pada sebuah <i>foil</i> (Satrio, 2019).....	14
Gambar 2.8	Gaya pada <i>airfoil</i> (Abadi, 2019). ....	14
Gambar 2.9	Mekanisme pergerakan <i>airfoil</i> : A) mekanisme <i>fixed pitch</i> B) mekanisme <i>variabel pitch</i> (Febrianto & Santoso, 2016) .....	16
Gambar 2.10	<i>Software</i> Qblade v0.96 .....	16
Gambar 3.1	Pemodelan <i>airfoil</i> NACA 0024 .....	18
Gambar 3.2	Tampak samping (a) belum ada perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun (b) sudah ada perubahan sudut tangkap dan kemiringan sudu .....	23
Gambar 3.3	Tampak atas variasi sudut tangkap dan posisi kemiringan daun turbin.....	23
Gambar 3.4	Penempatan Alat Pengujian Turbin.....	24
Gambar 3.5.	Instalasi Pengujian.....	24
Gambar 3.6	Proses Penentuan <i>airfoil</i> yang digunakan.....	25
Gambar 3.7	<i>XFOIL Direct Analysis</i> .....	25
Gambar 3.8	Proses geometri VAWT untuk masing-masing <i>airfoil</i> .....	26
Gambar 3.9	Proses mendesain turbin .....	26
Gambar 3.10	Proses simulasi daya turbin setiap variasi kemiringan .....	27
Gambar 3.11	Diagram alur penelitian .....	28
Gambar 4.1	Desain NACA 0024 pada Turbin Arus Terapung ( <a href="http://airfoiltools.com">http://airfoiltools.com</a> ).....	29

Gambar 4.2	Desain Turbin Arus pada software QBlade .....	30
Gambar 4.3	Daya Kecepatan Arus Air Turbin pada Tegangan Regulator yang Berbeda .....	32
Gambar 4.4	Perbandingan Rata-rata dari Hasil Pengukuran Putaran Turbin Setiap Variasi Kemiringan Turbin Terhadap Kecepatan Aliran .....	34
Gambar 4.5	Perbandingan Rata-rata Hasil Pengukuran Torsi Setiap Variasi Kemiringan Turbin Terhadap Kecepatan Aliran .....	36
Gambar 4.6	Perbandingan Putaran Daun pada Model Turbin Arus Pada Sudut Daun 0° .....	39
Gambar 4.7	Perbandingan Torsi pada Model Turbin Arus Pada Sudut Daun 0° .....	39
Gambar 4.8	Perbandingan Putaran Daun pada Model Turbin Arus Pada Sudut Daun 10° .....	40
Gambar 4.9	Perbandingan Torsi pada Model Turbin Arus Pada Sudut Daun 10° .....	41
Gambar 4.10	Perbandingan Putaran Daun pada Model Turbin Arus Pada Sudut Daun 20° .....	42
Gambar 4.11	Perbandingan Torsi pada Model Turbin Arus Pada Sudut Daun 20° .....	42
Gambar 4.12	Perbandingan Putaran Daun pada Model Turbin Arus Pada Sudut Daun 30° .....	43
Gambar 4.13	Perbandingan Torsi pada Model Turbin Arus Pada Sudut Daun 30° .....	44
Gambar 4.14	Daya Maksimum Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus .	46
Gambar 4.15	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 0° .....	48
Gambar 4.16	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 20° .....	48
Gambar 4.17	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 40° .....	49
Gambar 4.18	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 60° .....	50



Gambar 4.19	Daya Turbin Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 80° .....	51
Gambar 4.20	Efisiensi Model Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 0° .....	52
Gambar 4.21	Efisiensi Model Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 20° .....	53
Gambar 4.22	Efisiensi Model Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 40° .....	54
Gambar 4.23	Efisiensi Model Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 60° .....	55
Gambar 4.24	Efisiensi Model Arus Vertikal Terapung Tipe Darrieus dengan Kemiringan Daun 80° .....	56
Gambar 4.25	Perbandingan Hasil Pengukuran Daya Turbin Eksperimen dan Simulasi Kemiringan Daun 0° .....	60
Gambar 4.26	Perbandingan Hasil Pengukuran Daya Turbin Eksperimen dan Simulasi Kemiringan Daun 20° .....	61
Gambar 4.27	Perbandingan Hasil Pengukuran Daya Turbin Eksperimen dan Simulasi Kemiringan Daun 40° .....	62
Gambar 4.28	Perbandingan Hasil Pengukuran Daya Turbin Eksperimen dan Simulasi Kemiringan Daun 60° .....	63
Gambar 4.29	Perbandingan Hasil Pengukuran Daya Turbin Eksperimen dan Simulasi Kemiringan Daun 80° .....	64

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

$E_k$	: Energi Kinetik (joule)
$m$	: massa (kg)
$v$	: kecepatan linear (m/s)
$P_{air}$	: daya maksimum air (Watt)
$\rho$	: massa jenis air (kg/m <sup>3</sup> )
$A$	: luas sapuan air (m <sup>2</sup> )
$H$	: tinggi turbin (m)
$D$	: diameter turbin (m)
$P_{turbin}$	: daya turbin (Watt)
$P_{sisa}$	: daya sisa turbin (Watt)
$T$	: torsi (Nm)
$\omega$	: kecepatan sudut (rad/s)
$\pi$	: konstanta phi (3,14 atau 22/7)
$D_f$	: diameter poros (m)
$dr$	: diameter tali / <i>radius pulley</i> (m)
$F$	: gaya (N)
$V$	: tegangan (Volt)
$\eta_{total}$	: efisiensi total turbin (%)
$\eta_{turbin}$	: efisiensi turbin (%)
$\eta_{sisa}$	: efisiensi sisa turbin (%)
$Re$	: <i>reynold number</i>
$\mu$	: viskositas dinamik air laut (Ns/m <sup>2</sup> )
$C$	: Panjang <i>chord</i> (m)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

Persediaan sumber energi minyak bumi, gas alam dan batu bara sangat terbatas, apabila secara terus menerus digunakan maka suatu saat sumber energi tersebut akan habis, disamping itu juga kecenderungan melonjaknya harga sumber energi tersebut (Purnama, Hantoro, & Nugroho, 2013). Sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk dan perekonomian negara hingga ke daerah permintaan akan penyediaan energi terus mengalami peningkatan salah satu energi menjadi kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan manusia (Pirdianto, Setiawan, & Hadi, 2019).

Energi listrik bagi kebutuhan hidup manusia dewasa ini sudah hampir “setara” dengan oksigen. Bahkan ukuran kemajuan suatu negara dapat diukur dari tingkat konsumsi energi listriknya (Syahputra, 2019). Hal ini diakibatkan karena energi listrik sudah menjadi bagian penting bagi perkembangan peradaban manusia diberbagai bidang antara lain bidang ekonomi, teknologi, sosial dan budaya manusia (Fadillah, Sukma, & Nurhalim, 2015).

Sementara itu di Indonesia kemampuan PLN dalam menyediakan tenaga listrik kepada masyarakat Indonesia selalu meningkat. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi dan Sumber Daya Mineral RI, kapasitas terpasang pembangkit listrik saat ini sebesar 66,46 GW dan masih akan terus bertambah. Energi listrik diproduksi sebesar 275 TWh pada tahun 2019. Pembangkit listrik tenaga batubara, gas dan diesel memproduksi 88% dari total listrik tersebut, ditambah pembangkit listrik energi terbarukan (air, bioenergi, angin, surya) yang hanya sebesar 12%. Rendahnya baruan energi terbarukan dalam pembangkitan listrik di Indonesia merupakan kesempatan untuk melakukan perbaikan secara cepat (ESDM, 2020).

Oleh karena itu, pengembangan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan. Pengembangan potensi sumber-sumber energi seperti energi angin, energi air, energi matahari, biogas dan sebagainya untuk kebutuhan energi listrik di daerah-daerah terpencil yang

potensinya cukup besar sementara pemanfaatannya belum maksimal untuk kesejahteraan masyarakat (Muliawan & Yani, 2016).

Indonesia memiliki potensi energi tenaga air yang sangat besar yakni 75, 67 GW untuk skala besar dan 712 MW untuk pembangkit sedang dan kecil. Potensi ini baru sedikit yang dimanfaatkan yakni 4200 MW untuk skala besar dan 206 MW untuk skala kecil (Irsyad, 2010).

Energi potensial air dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial yang tersedia (potensi air terjun dan kecepatan aliran). Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu teknologi yang sudah terbukti tidak merusak lingkungan, menunjang diversifikasi energi sebagai pemanfaatan energi terbarukan, menunjang program pengurangan penggunaan BBM dan sebagian besar konstruksinya menggunakan material lokal (Irawan, 2014).

Turbin arus salah satu energi terbarukan yang banyak memiliki keuntungan. Densitas yang besar sangat berpengaruh pada gaya dorong yang dihasilkan, semakin besar peningkatan gaya dorong maka semakin besar pula daya yang dihasilkan (Manggala, 2016).

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan dalam upaya perbaikan efisiensi yaitu dengan cara memodifikasi bentuk daun yaitu turbin vertikal sudu miring dengan menggunakan *airfoil* NACA 0018. Turbin sudu miring memiliki kemampuan *self-start* yang lebih baik daripada turbin sudu lurus dan turbin sudu miring bisa meningkatkan efisiensi pada kecepatan arus rendah (Satrio, 2019).

Dengan melihat hal tersebut, maka dilakukanlah penelitian ini dengan cara memodifikasi desain turbin vertikal dengan tiga buah sudu lurus (tipe H-Darrieus) pada sebuah pembangkit listrik tenaga sederhana berupa Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) dalam rangka upaya untuk perbaikan kinerja.

Penelitian ini dilakukan dengan perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun demi meningkatkan gaya *lift* pada *foil* serta performa dan efisiensi yang dihasilkan. Penelitian dilakukan di sebuah bangunan *Circulating Water Channel* (CWC) sehingga kita bisa melihat hal yang terjadi meliputi pengaruh kuat arus terhadap seberapa besar daya yang dihasilkan dan karakteristik arus yang tidak

dapat diprediksi arah datangnya sebagaimana mestinya sebelum menghadapi kondisi alam yang sesungguhnya.

## **I.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat dikemukakan pada penelitian ini adalah:

1. Apakah efek dari perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun turbin vertikal tipe Darrieus pada kinerja Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) pada CWC?
2. Bagaimana daya dari perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun turbin Tipe Darrieus pada kinerja Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) tipe Darrieus pada CWC?
3. Bagaimana efisiensi pada perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun turbin Tipe Darrieus pada kinerja Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) tipe Darrieus?

## **I.3. Batasan Masalah**

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini diperlakukan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Bangunan atau *platform* yang diteliti adalah bangunan *Circulating Water Channel* (CWC).
2. Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) yang digunakan adalah tipe Darrieus dan menggunakan *airfoil* NACA 0024.
3. Jumlah sudu yang digunakan sebanyak 3 buah dengan variasi sudut tangkap daun dan variasi kemiringan daun.

## **I.4. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang diatas, tujuan penelitian yang dapat dikemukakan pada studi ini adalah:

1. Mengetahui efek dari perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun turbin vertikal tipe Darrieus pada kinerja Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) pada CWC

2. Mengetahui performa dari perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun turbin tipe Darrieus pada kinerja Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) tipe Darrieus pada CWC
3. Mengetahui efisiensi pada perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun turbin tipe Darrieus pada kinerja Turbin Arus Vertikal Terapung (TAVT) tipe Darrieus

#### **I.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun baru dalam perbaikan kinerja turbin arus sumbu vertikal.
2. Dapat mengetahui daya yang dihasilkan dari perubahan sudut tangkap dan kemiringan daun turbin arus sumbu vertikal tipe Darrieus.
3. Dapat mengetahui efisiensi penggunaan turbin arus pada CWC.

#### **I.6. Sistematika Penulisan**

##### **BAB I: PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi konsep dasar penyusunan skripsi yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

##### **BAB II: TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memberikan penjelasan mengenai teori dasar yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini yaitu: turbin arus, turbin arus sumbu vertikal, prinsip kerja turbin arus sumbu vertikal, turbin darrieus, sistem konversi energi air, performansi dan efisiensi turbin, *Airfoil NACA*, *Software Qblade*.

##### **BAB III: METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini akan diuraikan lokasi dan waktu penelitian, studi literatur, survei lapangan, perancangan model, matriks kebutuhan pengujian, metode pengujian turbin sumbu vertikal, simulasi Qblade dan diagram alur penelitian.

#### **BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan membahas hasil penelitian yang diperoleh dari efek perubahan kemiringan daun turbin perhitungan data yang telah diperoleh dari hasil eksperimen.

#### **BAB V: PENUTUP**

Pada bab ini akan menyajikan secara singkat kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan juga memuat saran-saran bagi pihak yang berkepentingan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. Turbin Arus**

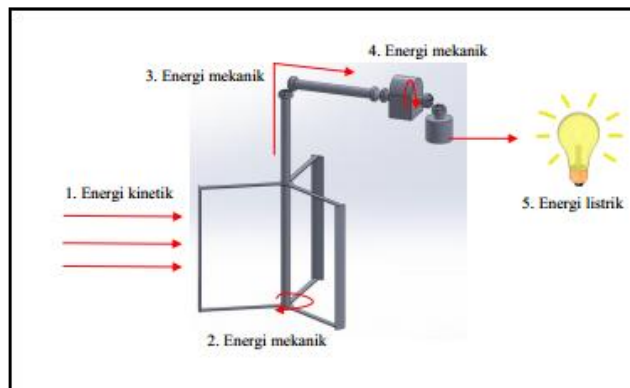
Energi air telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia yang dalam skala besar telah digunakan sebagai pembangkit listrik. Itu disebabkan karena kondisi topografi Indonesia yang dialiri oleh banyak sungai dan daerah-daerah tertentu mempunyai danau/waduk yang cukup potensial sebagai sumber energi air.

Pemanfaatan energi air pada dasarnya adalah pemanfaatan energi potensial gravitasi. Energi mekanik aliran air yang merupakan transformasi dari energi potensial gravitasi dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin atau kincir. Dalam menggerakkan kincir, aliran air pada sungai dapat dimanfaatkan ketika kecepatan alirannya memadai (Purnama, Hantoro, & Nugroho, 2013).

Turbin air adalah suatu alat untuk mengubah energi air menjadi energi puntir. Energi air yang meliputi energi potensial termasuk komponen tekanan dan kecepatan aliran air yang terkandung didalamnya merubah menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Energi puntir yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator. Dalam proses perubahan energi, pemanfaatan beda elevasi antara dua permukaan air yang dinamakan tinggi terjun atau head umumnya juga digunakan khususnya pada daerah ketinggian hal ini sangat berperan dalam meningkatkan efisiensi turbin. Untuk menghasilkan energi secara umum komponen turbin terdiri dari poros dan sudu-sudu serta tetap (*Stationary Blade*) yang tidak ikut berputar, berfungsi hanya untuk mengarahkan aliran fluida sedangkan sudu putar (*Rotary Blade*) mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga menimbulkan gaya yang memutar poros (Muhammad, Had, & Terti, 2009).

Proses konversi energi dari air yang mengalir menjadi energi mekanik dimana air menabrak sudu-sudu yang menyebabkan turbin berputar. putaran turbin menyebabkan poros pada rotor generator juga ikut berputar. Akibat gaya-gaya magnet dengan kumparan tembaga yang terdapat dalam generator yang berputar sehingga menghasilkan energi listrik.





Gambar 2. 1 Skema Proses Konversi Energi Air (Satrio, 2019)

Komponen utama turbin adalah kunci utama dalam pemanfaatan energi air. Kemampuan tersebut dilihat dari seberapa banyak energi kinetik yang ditangkap dari arus air (Satrio, 2019).

## II.2. Turbin Arus Sumbu Vertikal

Turbin arus sumbu vertikal adalah turbin yang memiliki sumbu putar rotor tegak lurus (*vertical*) terhadap permukaan air dan tegak lurus (*perpendicular*) dengan arah datangnya aliran arus laut. Turbin tersebut adalah salah satu jenis turbin hidrokinetik, yaitu turbin yang bergerak dengan menggunakan sumber tenaga kinetik dari aliran air. Tipe vertikal ini berputar bisa dengan memanfaatkan gaya *lift* maupun gaya *drag* (Satrio, 2019).

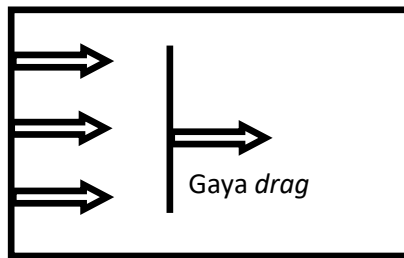
## II.3. Prinsip Kerja Turbin Arus Sumbu Vertikal

Secara umum prinsip kerja turbin yaitu mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik (rotasi) melalui *blade* turbin yang menghasilkan listrik (Nugraha, Prayogo, Kartidjo, & Nugroho, 2013). Fluida air yang mengalir setiap sudut ruangan terdapat gaya yang bekerja sehingga roda turbin berputar. Gaya yang terjadi disebabkan adanya perubahan momentum dari arus air yang bekerja setiap sudut ruangan (Abadi, 2019).

Prinsip kerja arus sumbu vertikal terbagi dua, yaitu:

1. Pemanfaatan putaran pada gaya *drag*.

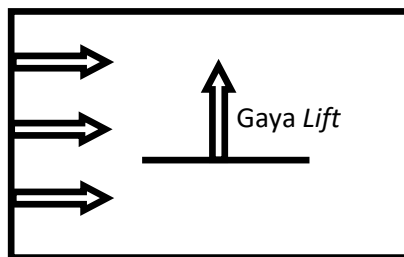
Gaya *drag* muncul ketika arah arus air sejajar dengan benda



Gambar 2. 2 Gaya *drag* yang dibangkitkan sebuah benda datar pada aliran *steady*

2. Pemanfaatan putaran pada gaya *lift*.

Gaya *lift* muncul ketika arah arus tegak lurus dengan benda.



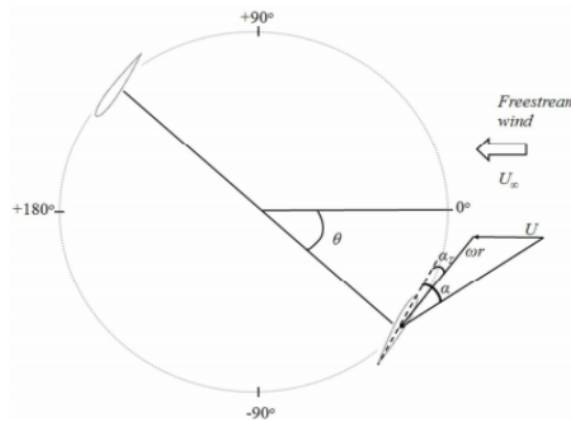
Gambar 2. 3 Gaya *lift* yang dibangkitkan sebuah benda datar pada aliran *steady*

Melihat dua hal tersebut diatas, untuk memunculkan gaya *drag* dan gaya *lift*. Maka pemilihan sudut tangkap pada benda sangat berperan penting dalam mengoptimalkan resultan gaya. Ketika kondisi suatu turbin bisa mulai berputar dalam keadaan tanpa beban tambahan disebut dengan *self-start*. Gaya kinetik dari arus bernilai sama atau lebih besar sedikit dari beban massa turbin, maka turbin akan mulai berputar dan menghasilkan gaya mekanik. Bentuk sudu yang dimiringkan dapat meningkatkan kemampuan *self-start* turbin sumbu vertikal (Satrio, 2019).

Kinerja sebuah turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor yang terkait dengan konstruksi turbin itu sendiri yaitu jumlah sudu, lebar sudu, bentuk profil penampang sudu, sudut tangkap sudu, diameter dan panjang turbin. Diantara faktor tersebut, yang sangat penting adalah bentuk *airfoil*, lebar sudu dan sudut tangkap (Kadir, 2019).

Gambar 2.4 menunjukkan Vektor gaya yang terjadi pada salah satu sudu pada turbin. Garis vektor percepatan dari bentuk *airfoil* pada sudut azimuth yang

berbeda. Pada sudut tangkap yang kecil, gaya *lift* kecil yang dihasilkan *foil* akan memiliki gaya tangensial yang fluktuatif akibat sudut tangkap bervariasi.



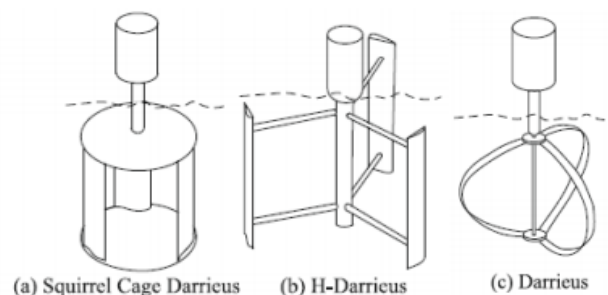
Gambar 2. 4 Vektor gaya pada turbin (Febrianto & Santoso, 2016).

#### II.4. Turbin Darrieus

Pengembangan turbin arus sumbu vertikal beberapa tahun terakhir mempunyai daya tarik tersendiri, dilihat dari banyaknya penelitian mengenai turbin angin yang diterapkan di turbin arus. Seperti pada gambar 2.5 merupakan konfigurasi rotor pada turbin arus sumbu vertikal yang telah dikembangkan sebagai salah satu upaya peningkatan kinerja turbin sumbu vertikal (Satrio, 2019).

Turbin Darrieus pertama kali muncul pada tahun 1931 oleh seorang insinyur bernama G. J. M. Darrieus dari hasil karya turbinnya yang bersumbu vertikal. Desain dari turbin ini menggunakan gaya *lift* yang tercipta dari sebuah airfoil untuk menciptakan putaran pada turbin. Gaya *lift* tersebut tercipta karena adanya perbedaan arah aliran yang terjadi dari disekitar turbin (Teja, 2017).

Turbin Darrieus terbagi menjadi dua, yaitu *straight blade* (Squirrel Cage Darrieus dan H-Darrieus) dan *curved blade* (Darrieus).



Gambar 2. 5 Beberapa bentuk turbin sumbu vertikal tipe Darrieus(Satrio, 2019)

Turbin Squirrel Cage Darrieus (Gambar 2.4 (a)) memiliki soliditas yang lebih besar sehingga lebih tepat digunakan untuk turbin arus. Bentuk lengan seperti piringan cakram lebih kuat dalam mencengkram sudu. Namun, bentuk lengan yang seperti ini sangat mengganggu performa hidrodinamika yang dihasilkan.

Turbin H-Darrieus (Gambar 2.4 (b)) memiliki soliditas yang tinggi dan lengan lebih hidrodinamis, sehingga bisa menghasilkan kinerja yang lebih besar. Turbin H-Darrieus telah banyak diaplikasikan oleh perusahaan asing.

Turbin Darrieus (gambar 2.4 (c)) memiliki nilai soliditas yang rendah sehingga tepat apabila digunakan untuk aplikasi turbin angin yang dapat menghasilkan TSR (*Tip Speed Ratio*) yang tinggi. Bentuk konfigurasi ini kurang sesuai diaplikasikan untuk turbin air.

## II.5. Sistem Konversi Energi Air

Pemanfaatan energi air atau (*hydropower*) dapat diperoleh dari aliran datar. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik

$$Ek = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.1)$$

Dimana:

$Ek$  = Energi kinetik (J)

$m$  = Massa fluida (kg)

$v$  = Kecepatan aliran air (m/s)

Sumber energi kinetik yang terkandung dalam aliran tergantung pada kecepatan aliran air, densitas air dan luas sapuan turbin. Daya perencanaan yang tersedia dinyatakan sebagai berikut:

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.2)$$

Dimana :

$P_0$  = Daya perencanaan (W)

$\rho$  = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas sapuan turbin (m<sup>2</sup>)

$v$  = Kecepatan aliran air (m/s)

Turbin arus sumbu vertikal, luas sapuan turbin berbentuk kotak yaitu perkalian antara diameter dengan panjang sudu, yaitu:

$$A = D \cdot L \quad (2.3)$$

Dimana:

$D$  = Diameter turbin (m)

$L$  = Panjang sudu turbin (m)

## II.6. Performansi Dan Efisiensi Turbin

Daya yang dibangkitkan oleh turbin adalah hasil perkalian antara torsi dan kecepatan putar turbin, yaitu:

$$P_{rotor} = T \cdot \omega \quad (2.4)$$

$$T = F \cdot \frac{Df + dr}{2}$$

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

Dimana:

$P_{rotor}$  = Daya rotor (W)

$T$  = Torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

$F$  = Gaya (N)

$Df$  = Diameter poros (m)

$Dr$  = Diameter tali / *radius pulley* (m)

$n$  = Putaran rotor (rpm)

Efisiensi merupakan perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan rotor dengan daya maksimum. Efisiensi dapat menunjukkan kemampuan sistem dalam mengubah suatu energi air menjadi energi listrik.

Dan persentase efisiensi turbin dapat diketahui dengan persamaan:

$$\eta_{total} = \eta_{turbin} + \eta_{sisa} \quad (2.5)$$

Dimana  $\eta_{turbin}$  adalah efisiensi turbin potensi aliran air pada arus yang masuk melewati turbin dan  $\eta_{sisa}$  merupakan efisiensi daya maksimum yang keluar melewati turbin.

Untuk nilai  $\eta_{turbin}$  dapat menggunakan persamaan:

$$\eta_{turbin} = \frac{P_{turbin}}{P_{maks}} \times 100 \quad (2.6)$$

Untuk nilai  $\eta_{sisa}$  dapat menggunakan persamaan:

$$\eta_{sisa} = \frac{P_{sisa}}{P_0} \times 100 \quad (2.7)$$

Dimana:

$P_{sisa}$  = Daya sisa

Kinerja turbin dapat ditinjau dari hubungan perbandingan antara kecepatan putar rotor yang dihasilkan terhadap kecepatan aliran arus. Parameter ini dikenal sebagai *Tip Speed Ratio* (TSR) yang didefinisikan sebagai rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan air bebas. Untuk kecepatan air dengan nominal yang tertentu maka TSR akan berpengaruh pada kecepatan sudut rotor. Persamaan yang digunakan untuk menghitung TSR yaitu:

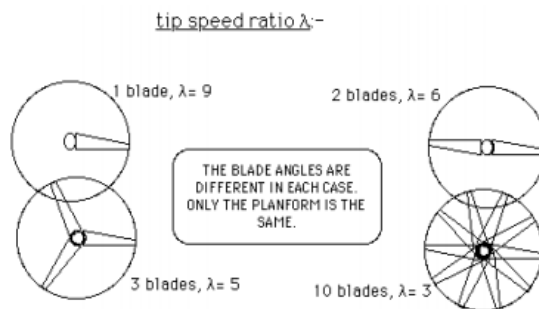
$$TSR = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad (2.8)$$

Dimana:

$TSR$  = tip speed ratio

$R$  = jari-jari turbin (m)

Dalam hal ini nilai TSR yang paling efisiensi tinggi yaitu pada jumlah *blade* (sudu) tiga dengan nilai TSR 6-7 seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 2.6 Nilai *tip speed ratio* (Irsyad, 2010)

*Reynold number* adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot C}{\mu} \quad (2.9)$$

Dimana:

$Re$  = Reynold Number

$\mu$  = Viskositas dinamik air laut (Ns/m<sup>2</sup>)

$C$  = Panjang *chord* (m)

Semakin besar nilai *reynold number* maka dapat ditarik kesimpulan semakin turbulen aliran tersebut, semakin kecil nilai *reynold number* maka semakin laminar aliran tersebut.

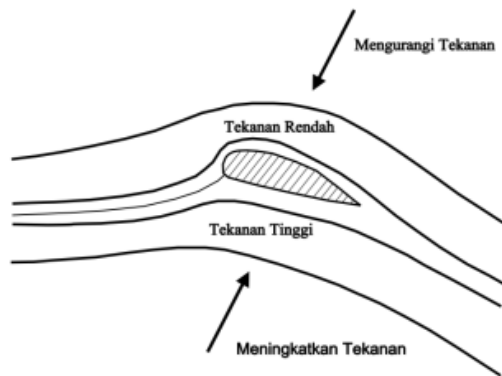
## II.7. *Airfoil* NACA (*National Advisory Committee For Aeronautics*)

*Airfoil* adalah salah satu bentuk *body* aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bagian lainnya ketika melintasi atau dilintasi fluida yang mengalir (Manggala, 2016). Dalam memprediksi besarnya suatu gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil* dapat dilakukan dengan bantuan penyelesaian secara matematis (Abadi, 2019).

Turbin sumbu vertikal tipe darrieus merupakan salah satu turbin modern yang cenderung memanfaatkan gaya *lift* untuk berputar. turbin Darrieus mempunyai tiga buah sudu dengan profil sudu berbentuk *foil* yang memiliki tipe simetri. Turbin tipe ini biasanya beroperasi pada tentang TSR yang lebih tinggi yaitu hingga TSR 4. Pada TSR tinggi artinya turbin dapat menghasilkan putaran yang tinggi. Kecepatan putaran tersebut dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan spesifikasi putaran generator. Oleh karena itu, penelitian ini fokus membahas turbin yang memanfaatkan gaya *lift*(Satrio, 2019).

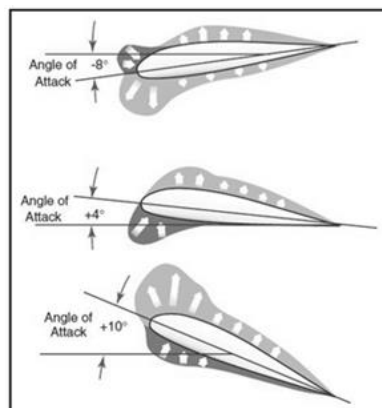
Kenaikan *airfoil* akan menyebabkan aliran fluida akan menabrak sebuah sudut tertentu, molekul fluida yang bergerak melewati permukaan atas akan dipaksa untuk bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan molekul fluida yang bergerak dibawah *airfoil*, hal ini disebabkan karena molekul diatas harus menjalani jarak yang lebih jauh karena lengkungan dari permukaan yang di atas. Pertambahan ini mengurangi tekanan diatas *airfoil* (Abadi, 2019).

Pada gambar 2.7 menggambarkan *streamline* aliran partikel fluida di sekitar *foil*. Partikel fluida melewati bagian atas *foil* akan melalui *track* yang lebih panjang daripada bagian bawah. Untuk mencapai bagian ujung *foil* maka fluida membutuhkan kecepatan yang lebih tinggi. Berdasarkan Hukum Bernoulli maka tekanan yang dihasilkan penampang bagian atas akan lebih rendah. Sebaliknya penampang bagian bawah akan menghasilkan tekanan yang lebih besar. Oleh sebab itu, gaya angkat akan terbangkitkan.



Gambar 2. 7 Gaya lift pada sebuah *foil* (Satrio, 2019)

Pada waktu fluida mengalir pada permukaan sebuah sayap dengan *angle of attack* yang berbeda-beda, maka sepanjang permukaan *airfoil* terdapat penyebaran tekanan yang berbeda-beda. Ketika *angle of attack* besar, pusat tekanan akan berpindah ke depan sedangkan *angle of attack* yang kecil pusat tekanan akan berpindah ke belakang. Keseimbangan aerodinamis yang dapat diatur oleh pusat tekanan. Pusat tekanan ditentukan oleh perhitungan dan percobaan dengan cara memberikan *angle of attack* yang berbeda-beda pada *airfoil* sepanjang jangkauan kerja normal.



Gambar 2. 8 Gaya pada *airfoil*(Abadi, 2019).

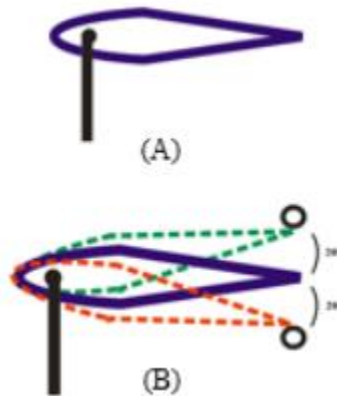


NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) merupakan standar dalam perancangan suatu *airfoil*. Perancangan *airfoil* pada dasarnya bersifat khusus dan dibuat menurut selera serta sesuai dengan kebutuhan dari turbin yang akan dibuat. Akan tetapi NACA menggunakan bentuk *airfoil* yang disusun secara sistematis dan rasional (Manggala, 2016).

Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau *thickness* serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain. Hal ini sering dirangkum oleh beberapa parameter seperti: ketebalan maksimum, maksimum bentuk melengkung, posisi max ketebalan, posisi maks bentuk melengkung dan hidung jari-jari (Abadi, 2019).

Peningkatan efisiensi dan kinerja turbin dengan memanfaatkan mekanisme *Variable Pitch* berupa pergerakan *airfoil* dan perubahan sudut tangkap untuk meningkatkan performa turbin. Tipe *pitch* dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. *Fixed pitch* merupakan suatu cara yang digunakan pada sebuah turbin yang dimana *airfoil* dikondisikan tidak dapat bergerak sepanjang azimuth. *Fixed pitch* apabila diterapkan pada sebuah turbin memiliki beberapa sifat, yaitu dapat diterapkan dengan mudah dan perawatan yang tidak rumit. Namun memiliki sifat *self-start* sangat berat dikarenakan bahwa fase awal terdapat turbin yang memiliki permukaan yang luas yang dapat menghilangkan gaya angkat yang disebut dengan fenomena *stall* yang dapat menurunkan efisiensi dan menimbulkan keadaan *fatigue*.
2. *Variable pitch*, terdapat dua macam tipe yaitu pasif dan aktif. Pada tipe *active pitch*, *foil* telah dikontrol untuk dapat bergerak dengan sudut tangkap tertentu. Sedangkan pada *passive pitch*, yaitu dengan mengkondisikan *airfoil* yang dibatasi pergerakannya dalam membentuk sudut



Gambar 2. 9 Mekanisme pergerakan *airfoil* : A) mekanisme *fixed pitch*  
 B) mekanisme *variable pitch* (Febrianto & Santoso, 2016).

## II.8. Software QBlade

Qblade adalah perangkat lunak perhitungan turbin angin *open source*, didistribusikan di bawah GPL. Integrasi fungsi XFOIL/XFLR5 memungkinkan pengguna untuk dengan cepat mendesain *airfoil* kustom dan menghitung polar kinerja mereka dan langsung mengintegrasikannya ke dalam desain dan simulasi rotor turbin arus. Perangkat lunak ini memadai karena ia menyediakan desain dan kemampuan simulasi ‘tangan untuk desain turbin sumbu vertikal dan menunjukkan semua hubungan mendasar konsep desain dan kinerja turbin dengan cara yang mudah dan intuitif. Qblade juga mencakup fungsi pemrosesan pasca luas untuk simulasi rotor dan turbin, dan memberikan wawasan mendalam ke semua variabel dan rotor yang relevan (Rachman, Pratiwi, & Ashari, 2019).



Gambar 2. 10 Software Qblade v0.96