

**ANALISIS PENGARUH KINERJA TURBIN *DARRIEUS*
PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT (PLTGL)**

SKRIPSI



DISUSUN OLEH :

NAMA : DARY YUMNA JOESI

NIM : 1911142

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
AGUSTUS 2023**

**ANALISIS PENGARUH KINERJA TURBIN *DARRIEUS*
PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT (PLTGL)**

SKRIPSI



DISUSUN OLEH :

NAMA : DARY YUMNA JOESI

NIM : 1911142

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
AGUSTUS 2023**



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

ANALISIS PENGARUH KINERJA TURBIN *DARRIEUS*
PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT (PLTGL)

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST)
Program Studi Teknik Mesin

DISUSUN OLEH :

NAMA : DARY YUMNA JOESI

NIM : 1911142

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
AGUSTUS 2023

LEMBAR PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul :

**ANALISIS PENGARUH KINERJA TURBIN *DARRIEUS*
PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT
(PLTGL)**



Disusun oleh :

Nama: Dary Yumna Joesi

NIM : 1911142

Prodi : Teknik Mesin S-1

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Mesin S -1

Dr. I Komang Astana Widi, ST.,MT.

NIP.Y. 1030400405

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing

Dr. Eko Yohanes Setyawan, ST.,MT.

NIP.P. 1031400477



PT. IRI PERSEKUTUAN MALANG
BANK WALGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : J. Beccarjan Sigura-pura No. 2 Telp. (0341) 534311 (Pusat); Fax. (0341) 533013 Malang 65148
Kampus II : J. Raya Karangrejo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Nama : DARY YUMNA JOESI
NIM : 1911001
Program Studi / Bidang : TEKNIK MESIN S-1
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH KINERJA TURBIN
DARRIEUS PADA SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA GELOMBANG AIR LAUT
(PLTGL)

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Hari / Tanggal : Rabu, 9 Agustus 2023
Dengan Nilai : 80,75 (A)

Panitia Penguji Skripsi

Ketua

Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT.

NIP.Y.1030400405

Sekretaris

Febi Rahmadiano, ST., MT.

NIP.P.1031500490

Anggota Penguji

Penguji I

Sibut, ST., MT.

NIP.Y.1030300379

Penguji II

Rosadila Febritasari, ST., MT.

NIP.P. 1032200602

PERNYATAAN KEASLIAN ISI TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dary Yumna Joesi
NIM : 1911142
Program Studi : Teknik Mesin S – 1
Fakultas : Teknologi Industri
Institusi : Institut Teknologi Nasional Malang
Judul : Analisis Pengaruh Kinerja Turbin Darrieus Pada Sistem
Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL)

Menyatakan

Bahwa skripsi yang saya buat ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain serta tidak mengutip sebagian atau sepenuhnya dari karya orang lain, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian surat pernyataan keaslian ini saya buat dengan data yang sebenarnya.



191142

v

v

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI

Nama : Dary Yumna Joesi
NIM : 1911142
Program Studi : Teknik Mesin S – 1
Fakultas : Teknologi Industri
Institusi : Institut Teknologi Nasional Malang
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Kinerja Turbin Darrieus Pada Sistem
Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL)
Dosen Pembimbing : Dr. Eko Yohanes Setyawan, S.T., M.T

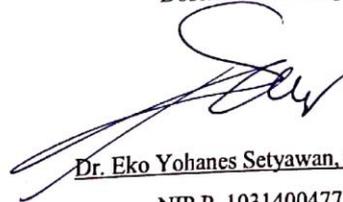
No	Materi	Waktu Bimbingan	Paraf
1.	Pengajuan Judul Skripsi	Kamis, 02 Maret 2023	
2.	ACC Judul Skripsi	Kamis, 09 Maret 2023	
3.	Konsultasi BAB I	Jumat, 10 Maret 2023	
4.	Konsultasi BAB I – II	Kamis, 16 Maret 2023	
5.	Konsultasi BAB I – III	Senin, 27 Maret 2023	
6.	Seminar Proposal	Jumat, 14 April 2023	
7.	Konsultasi Pengambilan Data	Selasa, 04 Juli 2023	
8.	Konsultasi BAB IV – V	Kamis, 20 Juli 2023	
9.	Seminar Hasil	Selasa, 25 Juli 2023	
10.	Ujian Skripsi	Rabu, 09 Agustus 2023	
11.	Revisi Skripsi BAB I - V	Kamis, 10 Agustus 2023	
12.	ACC Laporan Skripsi	Jumat, 11 Agustus 2023	

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Dary Yumna Joesi
NIM : 1911142
Program Studi : Teknik Mesin S – 1
Fakultas : Teknologi Industri
Institusi : Institut Teknologi Nasional Malang
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Kinerja Turbin Darrieus Pada Sistem
Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (PLTGL)
Dosen Pembimbing : Dr. Eko Yohanes Setyawan, S.T., M.T

Tanggal Pengajuan Skripsi : 02 Maret 2023
Tanggal Penyelesaian Skripsi : 09 Agustus 2023
Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 

Diperiksa dan Disetujui
Dosen Pembimbing


Dr. Eko Yohanes Setyawan, ST., MT.
NIP.P. 1031400477

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah mencurahkan berkat, rahmat, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir Skripsi ini dengan judul ``ANALISIS PENGARUH KINERJA TURBIN DARRIEUS PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT (PLTGL)``.

Skripsi ini ditulis untuk memenuhi sebagai persyaratan mendapatkan gelas Sarjana Teknik (ST) di Program Studi Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini tidak akan selesai dan terwujud tanpa adanya bimbingan, kontribusi, dan motivasi dari berbagai pihak. Maka, pada kesempatan yang baik ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat :

1. Bapak Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ibu Dr. Ellysa Nursanti, ST.,MT selaku Pimpinan Fakultas atau DEKAN Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. Eko Yohanes Setyawan, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan, masukan, dan nasehat yang sangat bermanfaat kepada penulis.
5. Segenap keluarga yang selalu memberikan dukungan mental, finansial dan semangat kepada penulis.
6. Rekan-rekan penulis yang telah banyak membantu selama proses penyusunan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa ada banyak keterbatasan dan kemampuan dalam menyusun Skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan masukan yang konstruktif agar Skripsi ini lebih berkualitas dan bermanfaat umumnya bagi para pembaca, serta khususnya bagi penulis sendiri.

Malang, 31 Juni 2023
Penulis

Dary Yumna Joesi
1911142

ANALISIS PENGARUH KINERJA TURBIN DARRIEUS PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG AIR LAUT (PLTGL)

Dary Yumna Joesi

Program Studi Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Raya Karanglo KM. 2 Malang, Jawa Timur, Indonesia

Email : daryyumna69@gmail.com

ABSTRAK

PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut) dengan turbin air Darrieus merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari energi kinetik yang terkandung dalam gelombang laut. Dalam pengembangan PLTGL dengan turbin air Darrieus tipe H – rotor NACA 0015 adalah untuk menciptakan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian memvariasikan kemiringan sudut sudu yang digunakan adalah mulai dari 20°, 45°, 90° dan jumlah 4 sudu terhadap frekuensi gelombang air sebesar 100%, memiliki torsi sebesar 0.66 Nm, Daya Air sebesar 0.00142 HP. Kecepatan Aliran Gelombang Air sebesar 0.0016 m/s d. Debit Air sebesar 0.036 m³/s. Hasil dari data pengujian turbin Darrieus tipe H – rotor menggunakan NACA 0015 yang optimal dalam kinerjanya pada kemiringan sudut sudu 90° dengan Daya Turbin sebesar 0.00362(HP), Daya Listrik sebesar 0.0164(HP), Kecepatan Turbin sebesar 4.2(rad/s), dan tingkat Efisiensi sebesar 7.69% dikarenakan pengaruh dari jarak luas penampang antar sudu yang berdekatan sehingga kinerja yang dihasilkan tidak adanya hambatan gerak saat turbin berputar terhadap gelombang air. Kemudian hasil dari data kemiringan sudut sudu 45° dengan Daya Turbin sebesar 0,00291(HP), Daya Listrik sebesar 0,016 (HP), Kecepatan turbin sebesar 3.3(rad/s), dan tingkat Efisiensi sebesar 6%. Sedangkan sebaliknya hasil yang paling rendah dari data kemiringan sudut sudu 20° dengan Daya Turbin sebesar 0,002561(HP), Daya Listrik sebesar 0,0159(HP), Kecepatan turbin sebesar 2.9(rad/s), dan tingkat Efisiensi sebesar 5.3% dikarenakan sebaliknya jarak luas penampang antar sudu yang berjauhan maka kinerja yang dihasilkan memiliki hambatan gerak saat turbin berputar terhadap aliran gelombang air.

Kata Kunci : PLTGL, Turbin Darrieus H – Rotor NACA 0015, Efisiensi

ANALYSIS OF THE EFFECT OF DARRIEUS TURBINE PERFORMANCE IN SEA WAVE ELECTRICITY SYSTEM (PLTGL)

Dary Yumna Joesi

Department of Mechanical Engineering Faculty Industrial Technology

Malang National of Institute

Jl. Raya Karanglo KM. 2 Malang, East Java, Indonesian

Email : daryyumna69@gmail.com

ABSTRACT

PLTGL (Sea Wave Power Plant) with Darrieus water turbine is one of the technologies used to generate electrical energy from the kinetic energy contained in ocean waves. In the development of PLTGL with Darrieus type H water turbine - NACA 0015 rotor is to create an energy source that is environmentally friendly and sustainable. The study varied the slope angle of the blades used starting from 20°, 45°, 90° and the number of 4 blades with a frequency of 100% water waves, has a torque of 0.66 Nm, Water Power of 0.0048 HP. Water Wave Flow Velocity of 0.0016 m/s d. Water discharge of 0.036 m³/s. The results from the testing data for the Darrieus H-rotor type turbine using NACA 0015 are optimal in their performance at a 90° angle slope with a Turbine Power of 0.00362(HP), Electrical Power of 0.0164(HP), Turbine Speed of 4.2(rad/s), and an Efficiency level of 7.69% due to the influence of the cross-sectional area distance between adjacent blades so that the resulting performance has no resistance to motion when the turbine rotates against water waves. Then the results of the data slope angle of 45° with Turbine Power of 0.00291(HP), Electrical Power of 0.016(HP), Turbine Speed of 3.3(rad/s), and Efficiency level of 6%. On the other hand, the lowest result is from the blade slope data of 20° with Turbine Power of 0.002561(HP), Electrical Power of 0.0159(HP), Turbine Speed of 2.9(rad/s), and Efficiency level of 5.3% due to the contrary the wide cross-sectional area between the blades which are far apart, the resulting performance has a resistance to motion when the turbine rotates against the flow of water waves.

Keywords : PLTGL, Turbine Darrieus H – Rotor NACA 0015

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
LEMBAR PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN ISI TULISAN	iv
LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GRAFIK	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Sejarah Energi Gelombang Air Laut.....	6
2.3 Pengertian Energi Gelombang Air Laut.....	7
2.4 Faktor Terjadinya Gelombang Laut	8
2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Gelombang Air Laut.....	8
2.6 Turbin Air	9
2.7 Turbin Darrieus	9
2.7.1 Prinsip Kerja Turbin Darrieus Tipe H Rotor	10
2.7.2 Jenis – jenis Turbin Sumbu Vertikal.....	10
2.8 Potensi Gelombang Laut Indonesia	14
2.9 Pengertian Arus	15

2.10 NACA Hydrofoil.....	15
2.11 Hubungan Daya dan Turbin	17
2.12 Metode Penelitian Eksperimental	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Diagram Alir	22
3.2 Penjelasan Diagram Alir	23
3.3 Studi Literatur	23
3.4 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.5 Tahap Persiapan Alat dan Bahan	24
3.6 Kontruksi Turbin Air Jenis Vertikal Tipe Darrieus H - Rotor.....	31
3.6.1 3D Printing NACA Hydrofoil 0015	31
3.6.2 Poros Turbin.....	33
3.6.4 Pulley	33
3.6.5 Belt O - ring	34
3.6.6 Akuarium Frekuensi Gelombang Air.....	34
3.6.7 Bearing	35
3.7 Variasi Kemiringan Sudut Sudu Terhadap Frekuensi Gelombang Air.....	36
3.8 Pengujian Daya, Kuat Arus, Kecepatan Putar Turbin dan Efisiensi.....	38
3.9 Pengambilan Data dan Pengumpulan Data	44
3.10 Analisa Data dan Pembahasan	45
3.11 Kesimpulan dan Saran.....	45
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Analisa Pengujian Turbin Air Darrieus NACA 0015 terhadap Energi Gelombang Air.....	46
4.1.1 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut sudu 20°	46
4.1.2 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut sudu 45°	50
4.1.3 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut sudu 90°	54
4.2 Analisa dan Pembahasan Hasil Turbin Air Darrieus NACA 0015	58
4.2.1 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus NACA 0015 Menggunakan 4 Sudu dengan Kemiringan Sudut Sudu 20°....	58
4.2.1 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus NACA 0015 Menggunakan 4 Sudu dengan Kemiringan Sudut Sudu 45°....	58
4.2.1 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus NACA 0015 Menggunakan 4 Sudu dengan Kemiringan Sudut Sudu 90°....	59

4.2.2 Pengaruh Daya Turbin (HP) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu.....	61
4.2.3 Pengaruh Daya Listrik (HP) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu	62
4.2.4 Pengaruh Kecepatan Turbin (rad/s) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu	63
4.2.5 Pengaruh Efisiensi (%) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu.....	64
BAB V PENUTUP.....	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	77
Lampiran 1. Biodata Penulis	77
Lampiran 2. Surat Bimbingan Skripsi.....	79
Lampiran 3. Data Hasil Pengujian Turbin Darrieus H – Rotor NACA 0015 ...	80
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Darrieus	10
Gambar 2.2 Cara kerja turbin Darrieus di dalam air	10
Gambar 2.3 Turbin Darrieus H - rotor	11
Gambar 2.4 Turbin Darrieus D - rotor	12
Gambar 2.5 Turbin Savonius	13
Gambar 2.6 Potensi Gelombang Laut Indonesia.....	15
Gambar 2.7 Bentuk profil sudu Hydrofoil	16
Gambar 3.1 Diagram Alir	22
Gambar 3.2 Busur Derajat.....	24
Gambar 3.3 Gerinda	25
Gambar 3.4 Bor Tangan.....	25
Gambar 3.5 Control Modul.....	26
Gambar 3.6 Computer.....	27
Gambar 3.7 Pompa Air	27
Gambar 3.8 Pelampung Air.....	28
Gambar 3.9 Besi UNP.....	28
Gambar 3.10 Akrilik	29
Gambar 3.11 Polyurthane.....	29
Gambar 3.12 Motor DC 12v	30
Gambar 3.13 Hasil Airfoil NACA 0015	30
Gambar 3.14 Mur, Ring dan Baut.....	31
Gambar 3.15 Hidrolis.....	31
Gambar 3.16 3D Print	32
Gambar 3.17 Poros.....	33
Gambar 3.18 Pulley.....	34
Gambar 3.19 Belt O – ring.....	34
Gambar 3.20 Akuarium Frekuensi Gelombang	35
Gambar 3.21 Bearing	36
Gambar 3.22 Skema Diagram Turbin	39
Gambar 3.23 Skema Desain Turbin	39
Gambar 3.24 Desain Sudu NACA 0015	40
Gambar 3.25 Skema NACA 0015.....	40
Gambar 3.26 Desain Turbin Darrieus H – Rotor	40
Gambar 3.27 Menghidupkan Monitor Komputer	41
Gambar 3.28 Menghidupkan Control Modul.....	42
Gambar 3.29 Pemasangan Turbin Darrieus NACA 0015 pada poros penggerak, pulley, beserta generator	42
Gambar 3.30 Kemiringan Sudut Sudu 20°	42
Gambar 3.31 Kemiringan Sudut Sudu 45°.....	43

Gambar 3.32 Kemiringan Sudut Sudu 90°	43
Gambar 3.33 Mengatur Besar Kecilnya Gelombang dan Kecepatan hidrolis pada Control Modul.....	43
Gambar 3.34 Record Data pada Tampilan Monitor Komputer.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik Turbin.....	14
Tabel 3.1 Spesifikasi Monitor Control Modul	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Ukuran NACA 0015.....	41
Tabel 3.3 Data Pengujian Variasi Kemiringan Sudut Sudu terhadap Frekuensi Gelombang Air.....	45
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut Sudu 20°.....	46
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut Sudu 45°	50
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut Sudu 90°	54
Tabel 4.4 Tabel Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Menggunakan Kemiringan Sudut Sudu 20°	58
Tabel 4.5 Tabel Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Menggunakan Kemiringan Sudut Sudu 45°	59
Tabel 4.6 Tabel Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Menggunakan Kemiringan Sudut Sudu 90°	60

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Koefisien Daya dan Top Ratio Speed (TSR).....	17
Grafik 4.1 Pengaruh Daya Turbin (HP) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu	61
Grafik 4.2 Pengaruh Daya Listrik (HP) Terhadap kemiringan Sudut Sudu	62
Grafik 4.3 Pengaruh Kecepatan Turbin (rad/s) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu	63
Grafik 4.4 Pengaruh Efisiensi (%) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, peningkatan kebutuhan akan energi dan peningkatan gas rumah kaca akibat penggunaan bahan bakar fosil, menyebabkan penggunaan sumber energi terbarukan memiliki potensi yang lebih besar dari sebelumnya. Salah satu sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan sepenuhnya adalah energi gelombang laut. (Daryanto dkk, 2018).

Energi gelombang laut pada dasarnya berasal dari angin, yang awalnya juga berasal dari energi matahari. (Daryanto dkk, 2018).

Pada saat angin berhembus diatas permukaan lautan, gesekan menimbulkan gerakan air dan menghasilkan gelombang. Walaupun jumlah energi gelombang laut jauh lebih rendah dari jumlah energi surya, namun energi gelombang laut memiliki kerapatan yang jauh lebih padat daripada energi surya. Energi gelombang memiliki kurang lebih lima kali lebih padat dari energi surya, atau kepadatan mencapai $2-3 \text{ kW/m}^2$ (Daryanto dkk, 2018).

Kebutuhan energi bagi kehidupan manusia adalah hal yang sangat penting. Segala sesuatu yang menunjang keperluan hidup tergantung pada jumlah ketersediaan energi. Seiring kemajuan zaman, manusia lebih banyak membutuhkan energi yang dapat dimanfaatkan. Berbagai macam cara pemanfaatan energi telah dilakukan baik dengan cara modern maupun tradisional. Prinsip dari pemanfaatan energi adalah dengan cara mengubah energi ke dalam bentuk energi lain. Terdapat dua buah energi yaitu energi terbarukan dan energi tidak terbarukan. Untuk energi terbarukan tidak menemui banyak kendala dalam hal ketersediaannya, namun untuk energi tidak terbarukan memiliki masalah terkait ketersediaannya. Energi tak terbarukan seperti yang dihasilkan dari material di bawah bumi semakin lama semakin berkurang, sehingga harus ada pemanfaatan energi lain untuk menggantikannya. Salah satu energi yang tersedia cukup melimpah di Indonesia adalah panas bumi dan energi gelombang laut (Abdul R, 2020).

PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut) dengan turbin air Darrieus merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari energi kinetik yang terkandung dalam gelombang laut. Turbin air Darrieus sendiri merupakan turbin air vertikal yang terdiri dari beberapa sudu atau daun yang disusun membentuk busur.

Tujuan dalam pengembangan PLTGL dengan turbin air Darrieus adalah untuk menciptakan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pemanfaatan energi dari gelombang laut dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang semakin terbatas dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Pada penelitian ini teknologi tersebut dianggap sebagai alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dunia yang terus meningkat secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Maka penulis akan membangun prototype perancangan gelombang air dengan menggunakan turbin vertikal jenis Darrieus rotor, variasi jumlah sudu, dan tingkat efisiensi yang akan digunakan untuk pengembangan, sehingga penelitian dapat mengetahui dalam peningkatan performa pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat diambil rumusan masalah dalam penelitian, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh sudut kemiringan sudu 20° , 45° , 90° terhadap daya yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh sudut kemiringan sudu 20° , 45° , 90° terhadap arus yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh kecepatan putar turbin terhadap kemiringan sudut sudu 20° , 45° , 90° yang dihasilkan?
4. Bagaimana pengaruh efisiensi terhadap daya dan arus yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ini akan menuntun penulis skripsi dengan perencanaan yang jelas, baik, dan terarah, serta fokus pada permasalahan utama. Adapun batasan masalahnya adalah :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Energi Alternatif yang berlokasi di ITN Malang.
2. Pada penelitian ini alat yang dibuat Prototype dengan variasi kemiringan sudut sudu 20° , 45° , 90° terhadap frekuensi gelombang air 100% atau sebesar 60Hz.
3. Variabel bebas yang digunakan adalah variasi kemiringan sudut sudu (20° , 45° , 90°)
4. Model sudu turbin yang dipakai adalah jenis Darrieus tipe H - rotor Naca 0015.
5. Getaran (vibrasi) turbin saat posisi kedalaman penuh, maka posisi kedalaman sudu turbin sekitar 50% atau sebesar 5cm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi kemiringan sudu terhadap daya dan arus yang dihasilkan.
2. Mengetahui koefisien kecepatan turbin terhadap daya dan arus yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh tingkat efisiensi terhadap daya, arus, dan kecepatan turbin yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari pelaksanaan penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Untuk memberikan informasi sebagai referensi tambahan bagi kalangan dunia pendidikan yang ingin melakukan riset dibidang konversi energi dalam pengembangan energi gelombang air laut.

2. Dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat yang berupa kebutuhan listrik dari skala kecil maupun skala besar dan mengetahui energi baru terbarukan dengan pemanfaatan gelombang air.
3. Sebagai tambahan kajian pustaka yang berkaitan dengan energi baru terbarukan (EBT) terutama sistem pembangkit listrik energi gelombang air laut.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk penulisan penelitian ini menjadi beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Berisi tentang landasan teori yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang diagram alir penelitian, tempat dan waktu penelitian, peralatan dan bahan uji, variabel penelitian, prosedur pengujian.

BAB IV : ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang data hasil pengujian, pengolahan data, analisa dan pembahasan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisi tentang kesimpulan dari hasil pembahasan penelitian secara sistematis yang berkaitan dengan upaya menjawab hipotesis dan tujuan penelitian. Saran disampaikan berkaitan dengan kesimpulan penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan Pengaruh Kinerja Turbin Darrieus Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) adalah sebagai berikut :

1. Penelitian tentang Pengaruh Sudut Omni Directional Guide Vanes Terhadap Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus yang dilakukan oleh (Emilia P. O, 2021). Dari penelitian tersebut terdapat kesimpulan dengan konfigurasi 2 airfoil memiliki performa lebih baik dari 3 airfoil. Penambahan pengarah ODGV pada jumlah 6 guide vanes di sudut 0° dapat mengoptimalkan performa sehingga mampu menaikkan nilai C_p rata-rata lebih besar 34,25% dari turbin Darrieus konvensional (tanpa pengarah ODGV).
2. Penelitian tentang Pengaruh Sudut Kemiringan dan Lebar Sudu Terhadap Kinerja Turbin Darrieus dengan Profil NACA 0021 yang dilakukan oleh (M. Abdul Kadir, 2019). Dari penelitian tersebut bahwa kesimpulan terdapat hasil penelitian pada model turbin Darrieus dengan diameter 20 cm, panjang sudu 25 cm, profil penampang sudu NACA 0021, variasi lebar sudu 5 cm dan 6 cm, dan variasi sudut serang 0° , 5° , dan 10° , dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:
 - a. Daya output maksimum 0,54083 W, efisiensi maksimum 40,94%, dan faktor daya maksimum 0,2303%, yang semuanya dicapai pada lebar sudu 5 cm dan sudut serang 5° .
 - b. Turbin Darrieus tersebut merupakan turbin reaksi, karena kecepatan alir air keluar turbin lebih tinggi dari pada kecepatan alir masuk turbin.
3. Penelitian tentang Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudu Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex yang dilakukan oleh (Iqswanda P. A, 2020). Dari penelitian tersebut bahwa kesimpulan terdapat hasil dari penelitian turbin aliran vortex poros vertikal dengan variasi kemiringan sudut sudu adalah daya tertinggi pada

kemiringan sudut $37,5^\circ$ pada $RE\ 4,46 \times 10^5$ sebesar 45,01 watt Sedangkan efisiensi tertinggi pada kemiringan sudut $37,5^\circ$ pada reynold number $4,46 \times 10^5$ sebesar 70,25 %.

4. Penelitian tentang Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) yang dilakukan oleh (Daryanto dkk, 2018). Dari penelitian tersebut bahwa kesimpulan terdapat pendekatan yang digunakan adalah numerik dan grid memanfaatkan MATLAB, hasil simulasi tersebut sesuai dengan perhitungan manual sehingga simulasi yang dikembangkan dalam penelitian selanjutnya.
5. Penelitian tentang Characteristics of the Fluid-Structure Interaction within Darrieus Water Turbines with Highly Flexible Blades yang dilakukan oleh (Stefan Hoerner, 2019). Dari penelitian tersebut bahwa kesimpulan Model pengganti yang digunakan dalam studi ini dan dalam studi sebelumnya memungkinkan studi rinci parameter seperti fleksibilitas blade pada rentang titik desain yang sangat luas, mereproduksi rezim aliran yang sesuai dengan beberapa rasio kecepatan tip dan soliditas turbin melalui pilihan frekuensi yang dikurangi dan lintasan osilasi, Fleksibilitas Blade memberikan peningkatan yang menjanjikan pada karakteristik operasional VAWT, Fleksibilitas pada blade VAWT diterjemahkan menjadi peningkatan besar dalam efisiensi dorong (rasio gaya dorong ke normal), mengurangi beban struktural bagian dalam yang terkait dengan gaya normal.

2.2 Sejarah Energi Gelombang Air Laut

Energi Gelombang Laut untuk Pembangkit Energi Listrik bukanlah suatu teknologi yang baru, karena pada tahun 1799 ide tersebut pertamakali di-patenkan oleh Girard & Son dari Prancis. Tapi sejak terjadinya krisis energi pada tahun 1973, di beberapa negara secara intensif melakukan kajian, uji coba dan pengembangan teknologi Pembangkit Listrik Gelombang Laut (PLTGL) tersebut (Aidil Z, 2015).

2.3 Pengertian Energi Gelombang Air Laut

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, yaitu energi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah sebagai berikut :

” Jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang gerakannya akan terbentuk gelombang. ” Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut

(Waldopo, 2008).

Gelombang laut timbul akibat adanya gaya pembangkit yang bekerja pada laut. Gelombang yang terjadi di lautan dapat di klasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya. Gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, gaya tarik menarik bumi – bulan – matahari atau yang di sebut dengan gelombang pasang surut dan gempa bumi (Nichols dan Williams 2009).

Gelombang merupakan faktor yang penting dalam pelayanan informasi meteorologi kelautan (marine meteorological services). Sering terjadinya gelombang tinggi tentu dapat menyebabkan terganggunya aktivitas nelayan, transportasi laut antar pulau yang dapat berdampak pada kehidupan masyarakat di darat, seperti kelangkaan bahan pangan di beberapa pulau kecil dan terganggunya berbagai aktifitas pembangunan karena terhambatnya suplai bahan – bahan konstruksi (Kurniawan et al., 2011).

Gelombang laut merupakan pasang surut tegak lurus permukaan laut membentuk kurva atau kurva sinusoidal. Angin yang bertiup melintasi laut mentransfer energinya ke permukaan air dan menyebabkan gelombang, tunggul atau bukit, dan menjadi gelombang atau gelombang. Gelombang Prinsip dasar gelombang laut adalah ketika dua massa berbeda. Kepadatan bergesekan satu sama lain, menghasilkan medan gerak. Energi yang terkandung dalam gelombang laut digunakan. Ombak naik ke ruang generator, lalu air yang naik mendorong. Udara keluar dari ruang generator dan membuat turbin berputar, saat air turun, udara. berhembus ke ruang generator dari luar dan menghidupkan kembali turbin. (Ludji dkk, 2014).

2.4 Faktor Terjadinya Gelombang Laut

Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Gejala energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena sebagai berikut (Pudjanarsa, 2006):

1. Benda (body) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
2. Angin merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
3. Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismik adalah: gempa bumi, dll.
4. Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang-gelombang besar, terutama menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Kekuatan Gelombang Air Laut

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan gelombang air laut, di antaranya:

1. Angin : Pada umumnya gelombang laut dibangkitkan oleh angin (sea wave) sehingga sifat-sifat gelombang tertentu dipengaruhi oleh angin, sehingga tinggi kecepatan angin maka kecepatan gelombang semakin kencang (Azis, 2006).
2. Luas dan Kedalaman Laut : Semakin luas dan kedalaman laut, maka luas dan kedalaman laut juga berpengaruh terhadap kekuatan gelombang. Semakin besar luas dan kedalaman laut, semakin besar energi yang tersimpan dalam gelombang, sehingga gelombang akan semakin besar arus gelombang (Azis, 2006).
3. Pasang surut : Menurut Pariwono (1989), fenomena pasang surut diartikan sebagai naik turunnya muka laut secara berkala akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Sedangkan menurut Dronkers (1964), pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik

menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan, sehingga terjadinya energi gelombang tersebut.

2.6 Turbin Air

Turbin air dikembangkan pada abad ke-19 dan banyak digunakan untuk tenaga listrik. Turbin air adalah turbin dengan media kerja air. Secara umum, turbin merupakan alat mekanis yang terdiri dari poros dan sudu. Sudu berputar atau sudu diam, tidak berputar mengikuti poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau sudu putar mengarahkan kecepatan aliran air sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tidak dapat dimanfaatkan, yaitu fluida yang densitasnya tidak berubah terhadap tekanan. (Muharnif, 2018)

2.7 Turbin Darrieus

Turbin air Darrieus merupakan jenis turbin air vertikal dengan baling-baling melengkung yang dirancang untuk menghasilkan tenaga listrik dari arus air atau fluida lainnya. Turbin ini dinamai sesuai dengan nama penemunya, Georges Darrieus, seorang insinyur Prancis pada tahun 1931 (Anis F, 2019).

Turbin Darrieus tersebut memiliki keunggulan diantaranya :

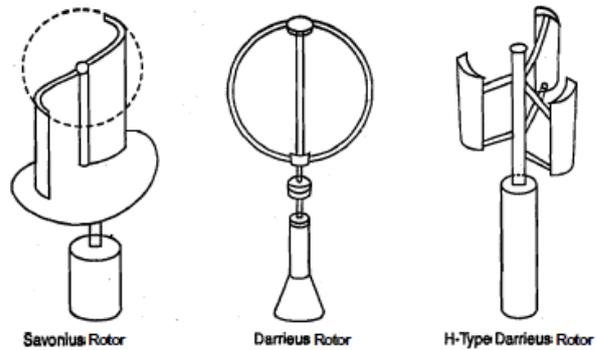
1. Tidak terlalu memperhitungkan arah aliran karena bentuknya yang simetri.
2. Tekanan gravitasi tidak mampu beroperasi pada head dan kecepatan yang rendah.

Sedangkan kelemahannya adalah :

1. Tidak mampu melakukan self starting.
2. Memiliki getaran yang tinggi (vibration).
3. Efisiensi kurang maksimal dan sulit dikontrol pada kecepatan yang konstan.

Turbin Darrieus ini merupakan jenis VAWT yang memiliki efisiensi tinggi dan mampu menghasilkan torsi yang cukup tinggi pada torsi dan kecepatan putaran gelombang air yang tinggi. Turbin menggunakan sudu yang bentuk dasarnya berupa deretan profil NACA simetris dengan 4 angka seperti 0010, 0012, 0015, dst. Mengenai bentuk sudu, prinsip operasi turbin Darrieus

memanfaatkan gaya angkat yang dihasilkan ketika gelombang aliran air mengenai permukaan sudu (Sudargana, 2012).



Gambar 2.1 Turbin Darrieus

(Sumber : Nashri, 2020)

2.7.1 Prinsip Kerja Turbin Darrieus Tipe H Rotor

Prinsip kerja turbin Darrieus adalah bahwa sudu berputar dari kecepatan aliran gelombang air pada kecepatan rotasi tertentu, dari mana gaya kecepatan yang dihasilkan menciptakan gaya hidrodinamis (Sudargana, 2012).



Gambar 2.2 Cara kerja turbin Darrieus di dalam air

(Sumber : Intan H, 2018)

2.7.2 Jenis – jenis Turbin Sumbu Vertikal

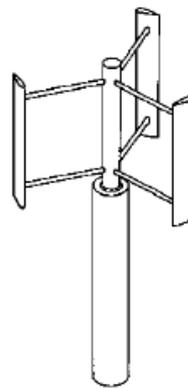
Beberapa jenis turbin sumbu vertikal adalah sebagai berikut :

1. Turbin tipe H

Turbin angin jenis ini merupakan pengembangan lanjutan dari turbin angin tipe darrieus. turbin angin jenis ini memiliki torsi awal

yang rendah namun dari segi pabrikasinya lebih mudah bila dibandingkan dengan turbin angin Darrieus. Gaya yang memutar sudu turbin angin merupakan gaya aerodinamika yang terjadi karena angin mengalir melalui sudu turbin angin yang berpenampang (airfoil). Dalam hal tersebut gaya aerodinamika biasanya diuraikan menjadi gaya lift, yaitu komponen gaya yang tegak lurus kecepatan angin relatif, tetapi gaya aerodinamika yang terjadi tersebut dapat pula diuraikan menjadi gaya yang sejajar sumbu poros dengan tegak lurus sumbu poros turbin angin. Dengan demikian gaya yang bekerja pada sebuah sudu turbin angin adalah jumlah integrasi gaya-gaya pada airfoil tersebut sepanjang sudu turbin angin, posisi sudu terhadap bidang putaran rotor beroperasi pada putaran konstan, meskipun kecepatan angina berubah atau berhenti pada kecepatan angin yang tinggi (Suprpto M, 2022).

H-Rotor



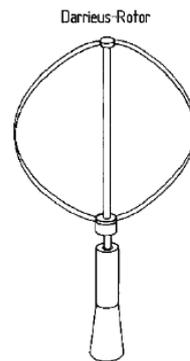
Gambar 2.3 Turbin Darrieus H - rotor

(Sumber : Rahmat T, 2016)

2. Turbin tipe D

Dalam versi asli desain Darrieus, aerofoil diatur sedemikian rupa simetris dan memiliki sudut rigging nol, yaitu, sudut yang dipasang aerofoil relatif terhadap struktur tempatnya berada terpasang. Pengaturan ini sama efektifnya tidak peduli ke arah mana angin bertiup—berbeda dengan pengaturan konvensional jenis, yang

harus diputar untuk menghadapi angin. Saat rotor Darrieus berputar, aerofoil bergerak maju melalui udara dalam jalur melingkar. Sehubungan dengan pisau, aliran udara yang datang ini ditambahkan secara vektor ke angin, sehingga aliran udara yang dihasilkan menciptakan sudut positif kecil yang bervariasi dari serangan (AoA) ke pisau. Ini menghasilkan gaya total yang menunjuk ke depan secara miring di sepanjang 'garis aksi' tertentu. Kekuatan ini bisa diproyeksikan ke dalam melewati sumbu turbin pada jarak tertentu, memberikan torsi positif ke poros, sehingga membantunya berputar di arah perjalanannya. Prinsip aerodinamis yang memutar rotor setara dengan yang ada di autogiros, dan helikopter normal dalam autorotation. Saat aerofoil bergerak di bagian belakang peralatan, sudut serang berubah menjadi tanda yang berlawanan, tetapi dihasilkan gaya masih miring ke arah rotasi, karena sayapnya simetris dan sudut tali-temalnya nol. Rotor berputar pada kecepatan yang tidak terkait dengan kecepatan angin, dan biasanya berkali-kali lebih cepat. Energi yang timbul dari torsi dan kecepatan mungkin diekstraksi dan diubah menjadi daya yang berguna dengan menggunakan generator listrik (Ritesh S, 2015).



Gambar 2.4 Turbin Darrieus D - rotor

(Sumber : Rahmat T, 2016)

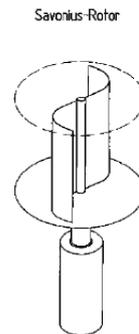
3. Savonius Turbin rotor

Turbine Savonius adalah jenis turbin angin vertikal yang terdiri dari dua atau lebih bilah melengkung yang dipasang dalam posisi vertikal, membentuk sebuah silinder atau setengah silinder.

Desain turbin Savonius pertama kali ditemukan dan dikembangkan oleh S.J. Savonius pada tahun 1920. Konsep awal turbin savonius diawali dengan membelah silinder menjadi dua belah dan disusun membentuk huruf S. Banyak peneliti mengembangkan model Savonius karena rotor savonius memiliki beberapa kelebihan antara lain:

1. karakteristik biaya
2. manufaktur rendah,
3. mampu berputar pada
4. kecepatan air yang rendah,
5. mampu menerima
6. aliran air dari segala arah dan memiliki starting awal yang mudah.

Namun turbin savonius memiliki sisi aerodinamika yang rendah jika dibandingkan dengan turbin tipe Darrieus. Prinsip kerja turbin Savonius yaitu pada selisih besaran gaya antara sisi cekung dan cembung sehingga akan memutar poros (Kamoji et al, 2008).



Gambar 2.5 Turbin Savonius

(Sumber : Rahmat T, 2016)

Dari masing – masing jenis turbin vertikal dapat disimpulkan karakteristik perbandingan dari tabel sebagai berikut :

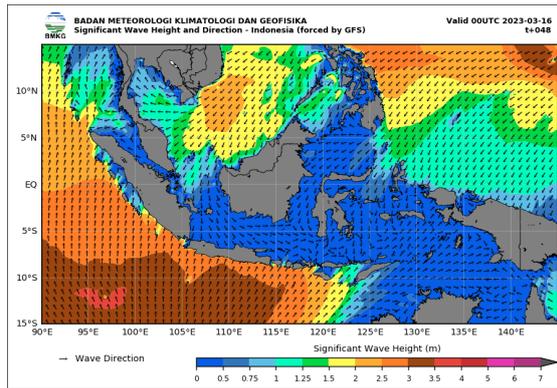
Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik Turbin.

(Sumber : Fauzi.S.T.A, 2008)

Savonius	Darrieus Tipe D	Darrieus Tipe H
Dapat berputar pada kecepatan angin rendah.	Koefisien daya lebih tinggi.	Desain sederhana
Proses manufaktur mudah.	Tidak dapat mulai berputar sendiri (self start).	Koefisien daya kurang lebih sama dengan Darrieus.
Koefisien daya rendah.	Tidak dapat diatur kecepatan putarnya lewat pengaturan sudut serang.	Dapat dilakukan pitching pada bilah sudu.
	Proses manufaktur susah dan mahal.	

2.8 Potensi Gelombang Laut Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia dengan wilayah laut terluas. Sekitar dua pertiga permukaan Indonesia adalah laut. Indonesia memiliki pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada. Hal ini menjadi keuntungan bagi Indonesia karena besarnya potensi energi laut. Selama air pasang dan surut, gelombang air laut dapat menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik. Di laut Indonesia, sekitar 240.000 MW listrik dapat dihasilkan dengan potensi panas $2,5 \times 1.023$ joule dan efisiensi konversi 3 persen energi panas laut. Pada saat yang sama, perbedaan antara suhu permukaan laut rata-rata tahunan dan kedalaman (650 m) lebih dari 20 °C. Kekuatan ombak bervariasi dari satu tempat ke tempat lain. Sifat-sifat energi gelombang sangat cocok untuk kebutuhan energi kota-kota pelabuhan dan pulau-pulau terpencil di Indonesia. (Direktorat Jenderal EBTKE, 2023).



Gambar 2.6 Potensi Gelombang Laut Indonesia

(Sumber : bmkg.go.id, diakses 2023)

2.9 Pengertian Arus

Arus merupakan pergerakan air yang sangat luas yang sering dijumpai di seluruh lautan. Ombak yang datang ke pantai dapat menimbulkan arus pantai. Angin juga dapat menimbulkan arus yang berhembus dengan interval yang sangat panjang juga disebabkan oleh gelombang yang menghantam pantai. Bisa juga karena ombak terdiri dari ombak yang merambat menuju garis hujan deras. Jadi ada dua sistem arus yang mengatur pergerakan air laut yaitu arus. Arus dan arus sepanjang pantai atau arus balik di pantai (arus sepanjang pantai) (Grace L. 2013).

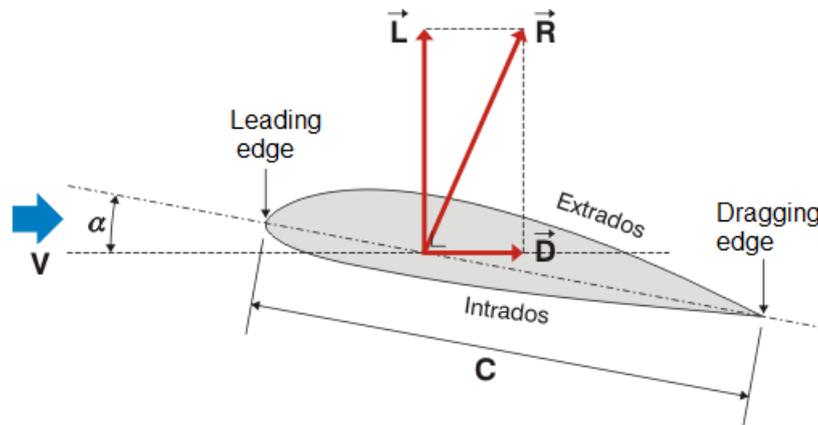
2.10 NACA Hydrofoil

Hydrofoil merupakan suatu bentuk sayap atau sudu (dari rotor, baling-baling atau turbin) yang memiliki sifat dan tujuan yang menyerupai airfoil. (Jangka R, 2018)

Hydrofoil digunakan terutama untuk menghasilkan gaya angkat yang bekerja pada turbin angin atau air sehingga dapat berputar. Saat ini salah satu referensi populer untuk pemilihan hidrofoil adalah profil hidrofoil yang dibuat oleh National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). Pengujian yang dilakukan oleh NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh kelengkungan dan distribusi ketebalan dan pengujian dilakukan pada berbagai bilangan Reynolds. Setiap bentuk NACA Hydrofoil memiliki parameter tersendiri sesuai dengan aplikasinya. (Muharnif, 2018).

Parameter-parameter yang telah ditentukan menurut standart NACA seperti pada gambar 1 adalah:

1. Panjang cord (c)
2. Maksimum camber (f) atau camber ratio (f/c) dalam %
3. Posisi maksimum camber (Xf)
4. Ketebalan maksimum Hydrofoil (t)
5. Posisi maksimum ketebalan (td)
6. Radius nose (rN)
7. Koordinat Hydrofoil Zu (X) bagian atas dan zi (X) bagian bawah.



Gambar 2.7 Bentuk profil sudu Hydrofoil

(Sumber : Marwane R., 2021)

Untuk hydrofoil yang simetris, maka sudu diberikan dengan persamaan berikut :

$$y = \pm \left(\frac{t}{c}\right) \cdot (1,4845 \cdot x^{\frac{1}{2}} - 0,63 \cdot x^2 - 1,578 \cdot x^2 + 1,4215 \cdot x^3 - 0,5075 \cdot x^4)$$

Dimana:

t = tebal maksimum sudu

c = lebar sudu (chord lenght)

Kecepatan air akan mempengaruhi efisiensi dari turbin yang mana semakin tinggi kecepatan semakin tinggi efisiensinya. Jadi salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin adalah kecepatan air. Semakin besar kecepatan air maka efisiensi semakin naik. Soliditas turbin darrieus (perbandingan jumlah sudu dengan lebar sudu) dirumuskan dengan : (Muharnif, 2018)

$$\sigma = \frac{nC}{\pi d}$$

Dimana :

n = jumlah sudu

C = lebar sudu (Chord)

2.11 Hubungan Daya dan Turbin

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 (Rahmat T, 2016).

$$TSR = u/v = \omega r/v$$

di mana :

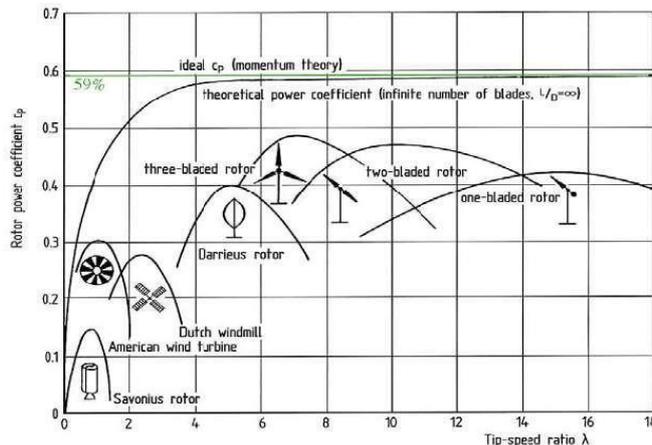
TSR = top speed ratio

u = kecepatan turbin (m/s)

ω = putaran turbin (rpm)

r = jari-jari rotor

v = kecepatan angin (m/s)



Grafik 2.1 Koefisien Daya dan Top Ratio Speed (TSR)

(Sumber : Sahim et. al, 2018)

Besarnya energi yang dihasilkan oleh turbin Darrieus merupakan energi poros yang diperoleh turbin dari energi aliran air. Untuk menentukan daya

turbin Darrieus terlebih dahulu harus diketahui vektor gaya dan kecepatan pada hidrofoil. Daya keluaran poros turbin merupakan daya keluaran yang dihasilkan oleh turbin. Daya inilah yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik apabila digunakan untuk pembangkit listrik. Dapat dihitung dengan rumus berikut :

A. Torsi

Torsi merupakan hasil dari gaya lengan turbin. Torsi dipengaruhi dari gaya rotasi turbin dan jari – jari turbin.

$$T = F \times r$$

(Mafrudin, 2014)

Dimana :

T = torsi (Nm)

F = Gaya

r = jari – jari pulley

B. Daya Turbin

Daya turbin merupakan kemampuan turbin mengonversi laju energi kinetik gelombang air.

$$P_t = T \times \omega$$

(Indra HS, 2020)

Dimana :

P_t = daya turbin (w)

ω = putaran poros turbin

T = torsi poros yang diperoleh dari beban pemberat (Nm)

C. Daya Listrik

Daya listrik merupakan daya yang dihasilkan oleh putaran generator, daya output dari generator yang dihasilkan tergantung dari kuat arus dan tegangan.

$$P = V \times I$$

Dimana :

P = daya listrik (watt)

V = tegangan

I = arus (A)

D. Kecepatan Aliran Gelombang Air

Kecepatan aliran gelombang air merupakan pergerakan kecepatan naik turunnya gelombang air dengan membentuk kurva atau grafik.

$$V = s/t$$

(Wiludjeng, 2017)

Dimana:

V = kecepatan aliran gelombang air

s = jarak air (m)

t = waktu (s)

E. Debit Air

Debit air merupakan banyaknya jumlah gelombang air yang mengalir dalam satu detik dengan unit kubik per sekon (m^3/s).

$$Q = v \times A$$

(Wibowo, 2007)

Dimana :

Q = debit air (m^3/s)

V = kecepatan gelombang air (m/s)

A = luas penampang aliran gelombang air (m^2)

F. Daya Air

Daya air merupakan daya yang diberikan terhadap sudu turbin yang tersedia pada gelombang air. Turbin tersebut menggunakan energi gelombang air yang menghasilkan momen putar pada poros. Daya input yang dihasilkan oleh turbin tersebut tergantung pada besar kecilnya gelombang air.

$$P_a = \rho \times g \times Q \times H$$

(Sularso dan Tahara, 1983)

Dimana :

ρ = massa jenis air laut

g = gravitasi = 9,81

Q = debit air

H = tinggi gelombang

G. Kecepatan Putar Turbin

Kecepatan Putar Turbin merupakan jumlah putaran dalam waktu satu kali rotasi per menit (rpm)

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60}$$

(Adia CP, 2013)

Dimana :

ω = kecepatan turbin

n = Putaran rotor

H. Efisiensi

Efisiensi merupakan dari suatu sistem kerja turbin pada daya input dan output turbin yang dihasilkan.

$$n_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$

(Mafrudin, 2013)

Dimana :

n_t = efisiensi turbin (%)

P_t = daya turbin

P_a = daya air

2.12 Metode Penelitian Eksperimental

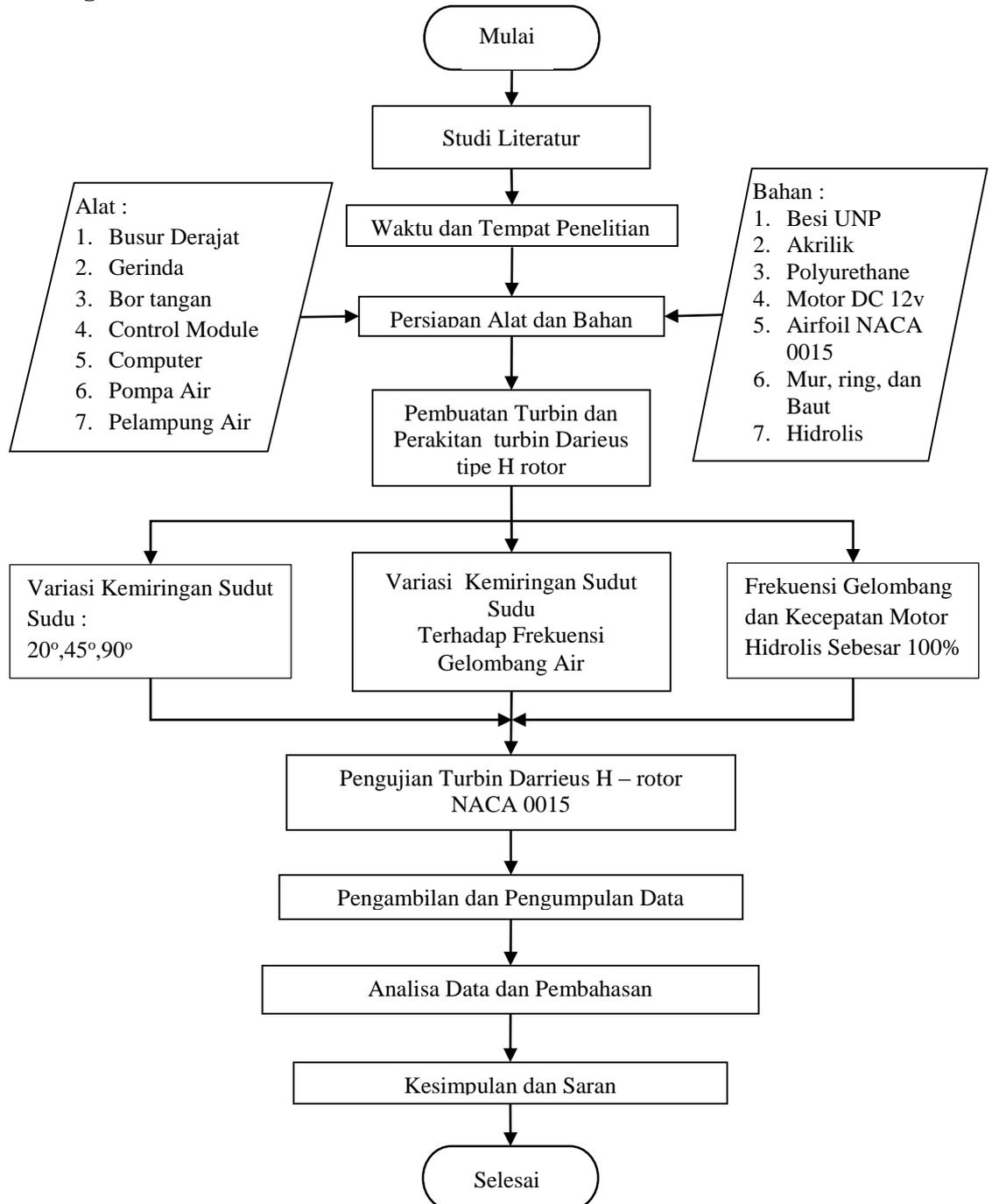
Metode eksperimen adalah percobaan yang dilakukan dengan perubahan terencana terhadap suatu proses atau sistem masukan dengan mencari pengaruh variabel dan variabel yang lain (Danuri dan Siti Maisaroh., 2019).

Faktor penyebab perubahan hasil sebagai tanggapan atas percobaan yang dilakukan. Metode eksperimental ini juga melibatkan parameter pengukuran seperti kecepatan aliran, tekanan dan debit air, dan efisiensi konversi energi. Data yang diperoleh dari pengukuran ini kemudian digunakan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh turbin air dan memperbaiki desain turbin untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja. Dalam hal ini faktor yang akan diuji adalah pengaruh variasi jumlah sudu dan sudut kemiringan sudu yang digunakan pada turbin air yang akan dibuat.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

(Sumber : Dary, 2023)

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Diagram alir merupakan sebuah jenis diagram yang mewakili algoritme, alur kerja, dan proses yang menampilkan langkah – langkah dalam bentuk simbol – simbol grafis dan urutan yang dihubungkan. Diagram alir ini mewakili ilustrasi atau penggambaran penyelesaian masalah jalannya penelitian tersebut.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur merupakan cara untuk menyelesaikan persoalan dengan menelusuri sumber – sumber tulisan dari penelitian terdahulu. Tujuannya agar memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi dalam penelitian. Di mana kegiatan tersebut untuk melakukan mencari referensi dari jurnal hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan “Anilisis Pengaruh Kinerja Turbin Tipe Darrieus Rotor pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)”

REFENSI :

1. **Daryanto dkk, 2018.** *Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL).* **Universitas Negeri Jakarta.**
2. **Emilia Putri Octauria, 2021.** *Pengaruh Sudut Omni Directional Guide Vanes Terhadap Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus.* **Universitas Palangka Raya.**
3. **Iqswanda P. A, 2020.** *Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex.* **Universitas Negeri Surabaya.**
4. **M. Abdul Kadir, 2019.** *Pengaruh Sudut Kemiringan Dan Lebar Sudu Terhadap Kinerja Turbin Darrieus Dengan Profil NACA 0021.* **Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.**
5. **Stefan Hoerner, 2019.** *Characteristics of the Fluid-Structure Interaction within Darrieus Water Turbines with Highly Flexible.* **Otto von Guericke University Magdeburg Germany.**

3.4 Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat untuk melakukan penelitian yaitu di Laboratorium Energi Alternatif berlokasi Institut Teknologi Nasional Malang Kampus 2, setelah itu tinggal dikonversikan hasil penelitian dalam skala asli gelombang air laut.

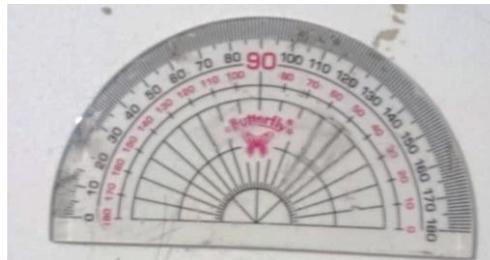
3.5 Tahap Persiapan Alat dan Bahan

Setelah mencari referensi dari berbagai jurnal yang sudah masuk dalam poin-poin kajian pustaka, langkah selanjutnya adalah menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam melakukan penelitian ini. Alat dan bahan yang akan digunakan untuk pembuatan turbin tipe Darrieus H - rotor ini adalah sebagai berikut :

Alat :

1. Busur Derajat

Busur derajat merupakan sebuah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kemiringan sudut sudu pada turbin tersebut.



Gambar 3.2 Busur Derajat

(Sumber : Dary, 2023)

2. Gerinda

Gerinda merupakan suatu alat potong dan megasah suatu material logam maupun non logam. Prinsip kerja tersebut yaitu mata gerinda berputar dengan poros kemudian bergesekan dengan media kerja yang abrasive.



Gambar 3.3 Gerinda
(Sumber : Dary, 2023)

3. Bor Tangan

Mesin bor tangan merupakan alat pemotong yang pengoperasiannya dengan menggunakan tangan dan bentuknya mirip pistol. Mesin bor tangan bekerja dengan arah yang berputar sehingga pemakan mata bor hanya di titik sumbu tertentu untuk pengerjaan pelubangan.



Gambar 3.4 Bor Tangan
(Sumber : Dary, 2023)

4. Control Modul

Modul kontrol dalam energi gelombang air merupakan sistem kontrol yang mengatur dan mengoptimalkan kinerja turbin maupun kinerja gelombang air tersebut.



Gambar 3.5 Control Modul

(Sumber : Laboratorium Energi ITN, 2023)

Tabel 3.1 Spesifikasi Monitor Control Modul

(Sumber : Laboratorium Energi ITN Malang, 2023)

Wave Energy	
Amp. 100%	V = 0,20
	I = 90 mA
Speed 100%	P = 15,4 mW
	W = 40 RPM

5. Computer

Komputer merupakan sebuah perangkat elektronik yang dapat menyimpan, mengolah, dan mengambil data dalam pengujian energi gelombang air tersebut.



Gambar 3.6 Computer

(Sumber : Laboratorium Energi ITN, 2023)

6. Pompa Air

Pompa air merupakan salah satu jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat lain yang diinginkan. Pompa beroperasi dengan membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge). Pompa juga berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga penggerak menjadi tenaga kinetis (kecepatan). Sehingga pada prototipe energi gelombang tersebut bisa sebagai arus aliran air.



Gambar 3.7 Pompa Air

(Sumber : Dary, 2023)

7. Pelampung Air

Pelampung Air merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mendeteksi besar kecilnya energi gelombang air yang mengapung di permukaan air.



Gambar 3.8 Pelampung Air

(Sumber : Dary, 2023)

Bahan :

1. Besi UNP

Besi UNP merupakan besi jenis sambungan atau terusan yang bentuknya merupai huruf U. Tidak heran apabila besi UNP juga kerap dikenal dengan U-Channel, kanal U ataupun profil U. Fungsi dari besi jenis ini adalah sebagaiudukan atau sambungan yang digunakan untuk membangun kontruksi.



Gambar 3.9 Besi UNP

(Sumber : Dary, 2023)

2. Akrilik

Akrilik adalah plastik polimer transparan berupa lembaran yang biasanya dijadikan bahan substitusi dari kaca. Akrilik sangat ringan, bahkan hingga 30%, lebih ringan dari kaca pada umumnya.



Gambar 3.10 Akrilik

(Sumber : Dary, 2023)

3. Polyurethana

Polyurthane merupakan jenis polimer yang terbuat dari reaksi antara polioliol dan isosianat. Fungsi polyurethane adalah bahan insulasi atau produk cairan yang tahan lama seperti busa atau spon (foam). Pada penelitian tersebut polyurethane digunakan sebagai foam pembuat gelombang air yang terpasang pada mesin hidrolis.



Gambar 3.11 Polyurthane

(Sumber : Dary, 2023)

4. Generator Motor DC 12v

Motor DC 12v merupakan motor listrik yang digerakan oleh arus searah (DC) dengan tegangan 12 volt sebagai sumber daya utamanya. Motor DC 12v digunakan sebagai roda penggerak pada besar kecilnya putaran turbin terhadap energi gelombang air.

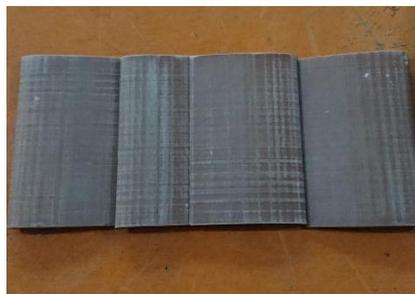


Gambar 3.12 Motor DC 12v

(Sumber : Dary, 2023)

5. Airfoil NACA 0015

NACA 0015 merupakan jenis profil sudu. Bentuk NACA 0015 memiliki bentuk yang asimetris yang memungkinkan menghasilkan gaya dorong dan angkat sama. Pembuatan dengan metode 3D print menggunakan material PLA+. Model 3D yang dihasilkan dapat diduplikasi atau dimodifikasi sesuai kebutuhan yang diperlukan.



Gambar 3.13 Hasil Airfoil NACA 0015

(Sumber : Dary, 2023)

6. Mur, Ring dan Baut

Mur, ring, dan baut digunakan untuk proses penggabungan antara dua material atau lebih menjadi satu kesatuan yang bisa dilepas kembali/bongkar pasang. Penggunaan mur, ring, dan baut ini digunakan pada kerangka prototype gelombang air dan variasi jumlah sudu turbin.



Gambar 3.14 Mur, Ring dan Baut

(Sumber : Dary, 2023)

7. Mesin Hidrolis

Mesin hidrolis merupakan mesin yang bertekanan dengan arah searah tegak lurus. Fungsi hidrolis tersebut sebagai pembuat gelombang air dengan arah bertekanan naik turun.



Gambar 3.15 Hidrolis

(Sumber : Dary, 2023)

3.6 Kontruksi Turbin Air Jenis Vertikal Tipe Darrieus H - Rotor

Berikut kontruksi dari turbin air jenis vertikal tipe Darrieus H – rotor yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

3.6.1 3D Printing NACA Hydrofoil 0015

Printer 3D adalah printer yang mencetak objek dalam dimensi 3D yang mengesankan, tahan lama, dan bervolume. Model 3D dibangun lapis demi lapis, yaitu proses pembuatan objek tiga dimensi dalam file digital. Buat objek cetak 3D menggunakan proses aditif. Objek dibuat

oleh lapisan material yang berurutan hingga seluruh objek dibuat. Pencetakan 3D, juga dikenal sebagai manufaktur aditif (AM).

Dari proses-proses yang digunakan untuk membuat objek tiga dimensi pada layer ini Material dibentuk menjadi objek-objek di bawah kontrol komputer. benda bisa berbentuk atau geometri yang hampir sama dan biasanya dibuat oleh model data digital dari model 3D atau sumber data elektronik lainnya seperti file. File Manufaktur Aditif (AMF).

StereoLithography (STL) adalah salah satu jenis file paling umum yang dapat dibaca oleh printer 3D. Yang berbeda dengan output material dari penyimpanan dengan metode pemrosesan konvensional, yaitu dengan mencetak objek tiga dimensi dari model CAD berbasis 3D atau AM.

Istilah "pencetakan 3D" awalnya merujuk pada proses mahal untuk menerapkan lapis demi lapis pengikat ke fondasi menggunakan kepala cetak inkjet. Baru-baru ini, istilah tersebut telah populer digunakan untuk mencakup berbagai teknik manufaktur aditif. Standar teknis Amerika Serikat (AS) dan Global menggunakan istilah manufaktur aditif resmi dalam arti luas di bidang ini. (Marwane R, 2021).



Gambar 3.16 3D Print

(Sumber Dary, 2023)

3.6.2 Poros Turbin

Poros turbin air merupakan sebuah poros yang digunakan untuk menghubungkan turbin air dengan generator listrik. Poros ini berfungsi untuk mentransmisikan energi kinetik dari gelombang air yang dialirkan melalui turbin ke generator listrik, yang kemudian mengubah energi kinetik menjadi energi listrik.

Ukurannya dapat bervariasi tergantung pada jenis turbin air dan besarnya kapasitas pembangkit listrik. Poros ini harus dirancang dengan cermat untuk memastikan bahwa mampu menahan beban dan tekanan yang dihasilkan oleh gelombang air yang mengalir melalui turbin, dengan diameter poros turbin 4mm berat 40g serta meminimalkan kehilangan energi akibat gesekan.



Gambar 3.17 Poros

(Sumber : Dary, 2023)

3.6.4 Pulley

Pulley merupakan sebuah alat sederhana yang terdiri dari sebuah roda berlekuk atau cembung dan sebuah tali atau sabuk yang melingkari roda tersebut. Pulley digunakan untuk mengubah arah dan kekuatan gaya yang diterapkan pada tali atau sabuk.

Pulley yang diameter lebih besar dapat digunakan untuk memperbesar kekuatan yang diterapkan pada tali atau sabuk maka ukuran pulley tersebut 12cm untuk diameter luar dan 11.5cm untuk diameter dalamnya, sedangkan pulley yang diameter lebih kecil dapat

digunakan untuk meningkatkan jarak gerakan benda yang dihasilkan dari penerapan kekuatan yang sama.



Gambar 3.18 Pulley

(Sumber : Dary, 2023)

3.6.5 Belt O - ring

Belt O – ring merupakan sabuk penggerak melingkar yang digunakan pada kedua poros yang dihubungkan seperti saat pengujian yaitu penghubung pulley ke generator.



Gambar 3.19 Belt O – ring

(Sumber : Dary, 2023)

3.6.6 Akuarium Frekuensi Gelombang Air

Aquarium frekuensi gelombang air merujuk pada fenomena gelombang air di dalam akuarium yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti aliran udara, sirkulasi pompa, dan mesin hidrolis pembuatan gelombang air. Ketika sirkulasi pompa bekerja di dalam

akuarium, terciptalah gelombang dengan frekuensi tertentu yang dapat mempengaruhi kondisi lingkungan di dalam akuarium, seperti besar kecilnya gelombang air dan besar kecilnya aliran arus gelombang air.

Gelombang air di dalam akuarium memiliki frekuensi yang bervariasi, tergantung pada faktor-faktor seperti kecepatan aliran air, bentuk dan ukuran akuarium, serta karakteristik air di dalamnya.

Untuk menciptakan gelombang air di dalam akuarium, biasanya digunakan alat seperti pompa sirkulasi dan mesin hidrolis pembuat gelombang air yang dapat menghasilkan gelombang air dan pompa sirkulasi menghasilkan arus aliran gelombang air yang teratur dan konsisten. Beberapa jenis pompa air dan hidrolis dilengkapi dengan pengatur frekuensi gelombang dan kecepatan naik turunnya hidrolis, sehingga pengguna dapat mengatur frekuensi gelombang sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.20 Akuarium Frekuensi Gelombang

(Sumber : Dary, 2023)

3.6.7 Bearing

Bearing atau bantalan adalah komponen mesin yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antara dua permukaan yang bergerak relatif satu sama lain. Bearing digunakan untuk memfasilitasi pergerakan linier atau rotasi pada mesin dan peralatan mekanik lainnya.

Bearing terdiri dari dua komponen utama yaitu cincin dalam dan cincin luar yang saling berputar. Permukaan dalam dari cincin luar dan

permukaan luar dari cincin dalam dilapisi bahan anti gesek atau pelumas, seperti oli atau gemuk (grease), untuk mengurangi gesekan antara kedua permukaan tersebut. Terdapat pula bola atau rol yang ditempatkan di antara cincin dalam dan cincin luar, yang membantu memastikan bahwa kedua cincin dapat berputar dengan lancar.



Gambar 3.21 Bearing

(Sumber : Dary, 2023)

3.7 Variasi Kemiringan Sudut Sudu Terhadap Frekuensi Gelombang Air

Maksud dari variasi kemiringan sudut sudu yang digunakan adalah mulai dari 20° , 45° , 90° dan jumlah sudu turbin adalah 4 terhadap frekuensi gelombang air sebesar 100% atau sebesar 60Hz. Variasi-variasi tersebut yang digunakan sebagai variabel yang diteliti.

Adapun pengujian untuk setiap jumlah sudu dan kemiringan gelombang air yang dipakai adalah sebagai berikut :

1. Pengujian daya turbin, daya listrik, kecepatan turbin dan efisiensi menggunakan jumlah 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 20° terhadap frekuensi gelombang air sekitar 100% atau sebesar 60Hz.
2. Pengujian daya turbin, daya listrik, kecepatan turbin dan efisiensi menggunakan jumlah 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 45° terhadap frekuensi gelombang air sekitar 100% atau sebesar 60Hz.
3. Pengujian daya turbin, daya listrik, kecepatan turbin dan efisiensi menggunakan jumlah 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 90° terhadap frekuensi gelombang air sekitar 100% atau sebesar 60Hz.

Variabel yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah variabel bebas, variabel terikat dan variabel tetap.

1. Variable Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan tertentu dan merupakan tujuan penelitian itu sendiri. Variabel bebas dalam penelitian ini sebagai berikut:

Variasi kemiringan sudut sudu yaitu : 20° , 45° , 90°

2. Variabel terikat

Variabel Terikat adalah variabel yang besarnya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

- a. Mesin hidrolis pembuat gelombang dengan frekuensi gelombang air Amp. 100(%) atau sebesar 60Hz, dengan kecepatan 100(%)
- b. Torsi sebesar 0,66 Nm
- c. Daya Air sebesar 0,0048 HP
- d. Kecepatan Aliran Gelombang Air sebesar 0,0016 m/s
- e. Debit Air sebesar 22 l/menit = $0,036 \text{ m}^3/\text{s}$

3. Variabel tetap

Variabel tetap adalah variabel yang dapat ditentukan sendiri, variabel tetap yang dalam penelitian ini adalah:

- a. Ukuran akuarium gelombang air 250 x 55 cm.
- b. Tinggi Air 30cm.

Alasan menggunakan variasi kemiringan sudut sudu adalah jenis variasi tersebut memiliki hubungan satu sama lain. Hubungannya dalam penelitian ini adalah setiap percobaan variasi kemiringan sudut sudu maupun yang dilakukan juga bervariasi dalam besar kecilnya sudut sudu.

Hal ini bertujuan untuk mengetahui torsi, daya, dan tingkat efisiensi yang dihasilkan dari setiap variasi kemiringan sudut sudu pada saat dialirkan gelombang air tersebut. Karena dari variasi kemiringan sudut sudu yang dilakukan pada setiap percobaan, maka hasil yang didapatkan data perbandingan antara variasi kemiringan sudut sudu.

3.8 Pengujian Daya, Kuat Arus, Kecepatan Putar Turbin dan Efisiensi

Dalam pembuatan prototype turbin Darrieus tipe H - rotor kami mendesain atau merancang model sudu NACA 0015.

Dalam penelitian tersebut, penelitian menggunakan sudu NACA 0015 dikarenakan ketepatan hasil yang didapat tergantung dengan kualitas pembuatan turbin, yang mana dinding sudu harus dibuat licin. Ukuran harus tepat yang menghasilkan kestabilan operasi turbin tersebut. Pemakaian sudu dengan ketebalan antara 15% sampai 20% adalah yang terbaik untuk digunakan. Dibandingkan dengan sudu yang lebih tebal lagi karena mempunyai efisiensi dari kecepatan operasi yang lebih tinggi. Sedangkan untuk sudu yang tidak asimetris adalah tidak mempunyai efisiensi yang baik dari sudu asimetris karena kinerjanya lebih kecil dari sudu simetris (Kaprawi, 2017).

Spesifikasi airfoil NACA 4 digit seri airfoil NACA ini dikendalikan oleh 4 digit yaitu NACA 0015, yang menunjukkan camber, posisi camber maksimum dan ketebalan. Jika nomor airfoil adalah sebagai berikut :

NACA MPXX

yaitu

NACA 0015

(<http://airfoiltools.com/>)

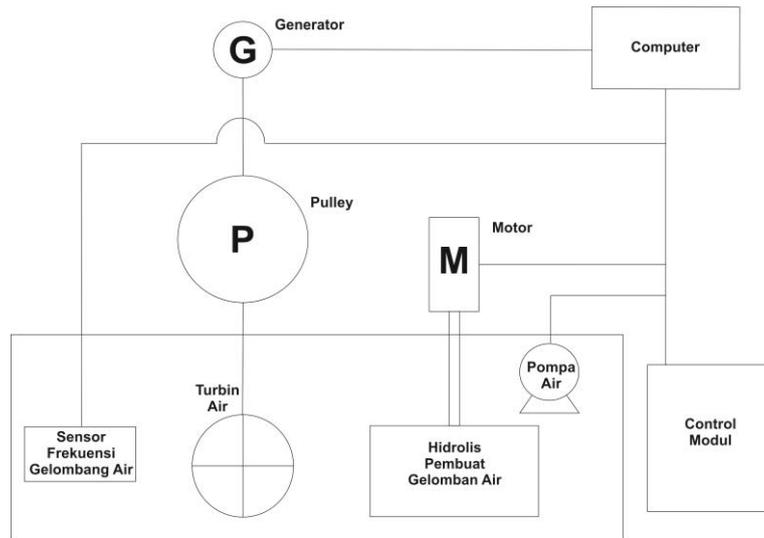
Dimana :

M = camber maksimum dibagi 100. Pada contoh M=0 maka camber adalah 0,0 atau 0% dari chord

P = posisi camber maksimum dibagi 10. Pada contoh P= 0 maka camber maksimum adalah pada 0,0 atau 0% dari chord.

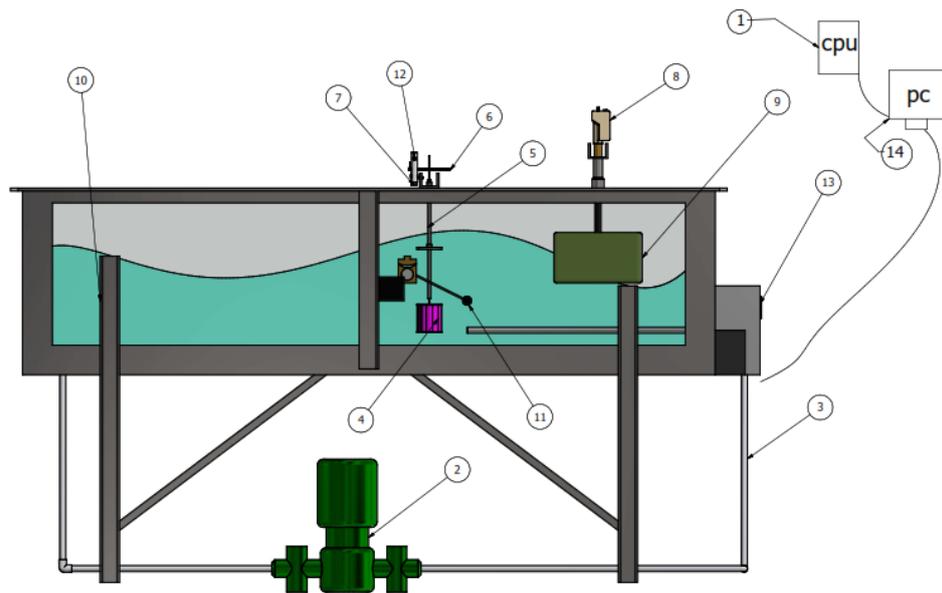
XX = ketebalan dibagi 100. Pada contoh XX=15 maka ketebalannya adalah 0,15 atau 15% dari chord.

Berikut skema dan desain sudu NACA 0015 dari software coreldraw dan solidwork yang akan digunakan dalam skripsi ini seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.22 Skema Diagram Turbin

(Sumber : Dary, 2023)



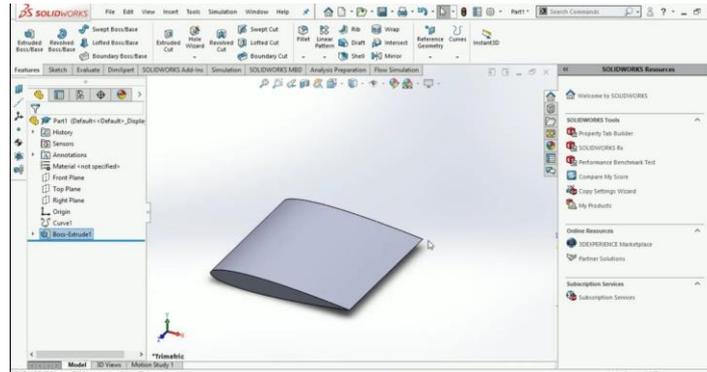
Gambar 3.23 Skema Desain Turbin

(Sumber : Dary, 2023)

Keterangan :

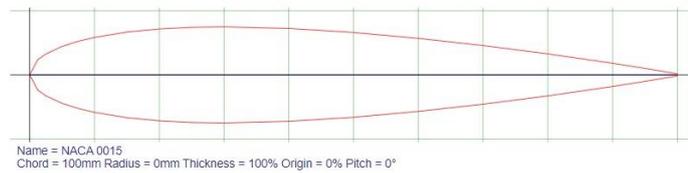
- 1 = CPU
- 2 = Pompa Air
- 3 = Pipa
- 4 = Turbin
- 5 = Poros (Shaft)
- 6 = Pulley
- 7 = Generator

- 8 = Motor Hidrolis Pneumatic
- 9 = Pelampung Polyurethane
- 10 = Besi UNP
- 11 = Pelampung Sensor Gelombang
- 12 = Sensor RPM
- 13 = Control Modul
- 14 = PC Computer



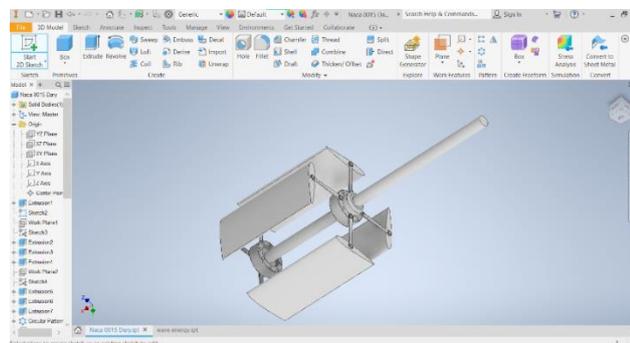
Gambar 3.24 Desain Sudu NACA 0015

(Sumber : Dary, 2023)



Gambar 3.25 Skema NACA 0015

(Sumber : <http://airfoiltools.com/>)



Gambar 3.26 Desain Turbin Darrieus H – Rotor

(Sumber : Dary, 2023)

Tabel 3.2 Spesifikasi Ukuran NACA 0015

(Sumber : Dary, 2023)

No.	Spesifikasi	Ukuran
1.	Panjang chord	10 cm
2.	Lebar cord	13 cm
3.	Tebal chord	1,3 cm

Pengujian untuk mengetahui daya, arus dan tingkat efisiensi pada penelitian tersebut.

A. Tahapan Pengujian

Tahapan yang dilakukan pada saat pengujian daya dan arus adalah sebagai berikut :

- Tahap Persiapan Pengujian

Pemasangan semua komponen yang diperlukan control modul termasuk alat ukur yang telah tersedia untuk penelitian ini.

- Tahap pengujian daya, dan arus terhadap masing – masing kemiringan sudut sudu adalah sebagai berikut :

1. Menghidupkan komputer.



Gambar 3.27 Menghidupkan Monitor Komputer

(Sumber : Dary, 2023)

2. Menghidupkan mesin hidrolis pneumatic, pompa air pada control modul.



Gambar 3.28 Menghidupkan Control Modul

(Sumber : Dary, 2023)

3. Pemasangan turbin Darrieus H- rotor NACA 0015, poros penggerak, pulley, beserta generator.



Gambar 3.29 Pemasangan Turbin Darrieus NACA 0015 pada poros penggerak, pulley, beserta generator

(Sumber : Dary, 2023)

4. Mengatur kemiringan sudut sudu masing - masing 20° , 45° , 90° .



Gambar 3.30 Kemiringan Sudut Sudu 20°

(Sumber : Dary, 2023)



Gambar 3.31 Kemiringan Sudut Sudu 45°

(Sumber : Dary, 2023)



Gambar 3.32 Kemiringan Sudut Sudu 90°

(Sumber : Dary, 2023)

5. Mengatur besar kecilnya frekuensi gelombang hingga 100% dan kecepatan hidrolis 100% pada control modul.



Gambar 3.33 Mengatur Besar Kecilnya Gelombang dan Kecepatan hidrolis pada Control Modul

(Sumber : Dary, 2023)

6. Pengambilan data dalam waktu pengujian sebanyak 5 kali dalam 1 menit kemudian klik record dengan mengamati daya, arus, dan RPM yang dihasilkan pada monitor komputer yang ditampilkan saat pengujian.



Gambar 3.34 Record Data pada Tampilan Monitor Komputer

(Sumber : Dary, 2023)

- **Akhir Pengujian**

Setelah proses pengujian dan pengambilan data sudah dilakukan, maka disave terlebih dahulu agar data pengujian tidak hilang, kemudian reset control modul dan monitor komputer kembali ke keadaan normal saat pertama pengoperasian.

3.9 Pengambilan Data dan Pengumpulan Data

Data-data penunjang yang diambil dan dikumpulkan untuk bahan pembahasan pada penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut :

A. Observasi

Observasi merupakan pengumpulan data yang kompleks karena memerlukan berbagai faktor dalam melakukannya. Metode tersebut juga untuk mengetahui semua hasil dan fenomena yang terjadi pada saat melakukan penelitian yang tertangkap oleh indera, dan menyajikannya ke sebuah tabel yang akan diisi dengan data-data yang diperlukan pada saat melakukan penelitian tersebut. Adapun tabel data pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Data Pengujian Variasi Kemiringan Sudut Sudu terhadap Frekuensi Gelombang Air.

(Sumber : Laboratorium Energi ITN Malang, 2023)

Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
Senin, 03 Juli 2023	10.00.04	100	100	0.2	61	12.05	40
Senin, 03 Juli 2023	10.01.04	100	100	0.2	26	5.2	40
Senin, 03 Juli 2023	10.02.04	100	100	0.2	73	14.42	40
Senin, 03 Juli 2023	10.03.04	100	100	0.2	95	18.77	41
Senin, 03 Juli 2023	10.04.04	100	100	0.2	52	10.27	40
Rata - rata					61,4	12,1	40,2

B. Dokumentasi

Untuk penelitian ini proses pengambilan data juga menggunakan cara dengan dokumentasi. Dokumentasi di sini dilakukan secara tertulis dan dokumentasi hasil foto yang telah dilakukan selama penelitian berlangsung.

3.10 Analisa Data dan Pembahasan

Pada tahap ini peneliti mengolah data yang telah diambil dan dikumpulkan pada saat penelitian. Data-data tersebut diolah sesuai dengan rumus yang digunakan untuk mengetahui hasil dari variabel yang diteliti.

3.11 Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisa data dan pembahasan, maka kesimpulan yang didapatkan adalah hasil akhir dari analisa dan pembahasan serta data – data grafik tersebut yang berisi hal-hal penting yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian analisis pengaruh kinerja turbin tipe Darrieus pada sistem Pembangkit Listrik Gelombang Laut (PLTGL).

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pengujian Turbin Air Darrieus NACA 0015 terhadap Energi Gelombang Air

Berdasarkan data hasil yang didapatkan dengan jumlah sudu yaitu 4 dan variasi kemiringan sudut sudu yang berbeda diantaranya : 20°, 45°, dan 90° dengan material sudu dari PLA+ dari 3D print dengan bentuk sudu NACA 0015. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan pengambilan data 5 kali setiap 1 menit seperti pada tabel berikut :

4.1.1 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudu sudu 20°

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudu Sudu 20°

(Sumber : Dary, 2023)

Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
Senin, 03 Juli 2023	10.54.52	100	100	0.2	58	11.46	29
Senin, 03 Juli 2023	10.55.52	100	100	0.2	98	19.36	28
Senin, 03 Juli 2023	10.56.52	100	100	0.2	13	2.56	27
Senin, 03 Juli 2023	10.57.52	100	100	0.2	41	8.1	27
Senin, 03 Juli 2023	10.58.52	100	100	0.2	87	17.19	28
Rata – rata					59.4	11.73	27.8

Pada tabel diatas bahwa karakteristik dari kemiringan sudut sudu yang digunakan dapat mempengaruhi kecepatan putaran turbin. Turbin yang menggunakan jumlah sudu 4 NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 20° memiliki rata – rata arus sebesar 59,4 mA, serta daya rata – rata sebesar 11,82 mW dan rata – rata RPM sebesar 27,8. Saat pengujian dilakukan 5 kali pengujian dalam waktu 1 menit. Untuk mengetahui data tersebut alat yang digunakan adalah monitor komputer yang terhubung dalam kontrol modul seperti RPM sebagai mengukur kecepatan putaran per menit pada turbin, P sebagai mengukur power atau daya yang dihasilkan (mW), I sebagai mengukur kuat arus (ampere) yang dihasilkan (mA), v sebagai mengukur tegangan (voltage) dari generator yang dihasilkan pada putaran turbin, dengan besarnya motor gelombang air dan motor kecepatan naik turunnya hidrolis yang konstan masing – masing sebesar 100%. Yang mana dari nilai masing – masing ditampilkan ke dalam LCD kontrol modul kemudian terhubung ke monitor komputer.

Dapat dilihat dari tabel 4.1 dari data tersebut yang didapatkan pengaruh menggunakan jumlah sudu 4 dengan kemiringan sudut sudu 20°, maka langkah berikutnya dapat dilakukan sebagai berikut :

A. Torsi

Perhitungan torsi menggunakan 4 sudu NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 20° serta beban 0,112 kg

Maka :

$$F = 0,112 \text{ kg} \times 9,8$$

$$= 1,0976$$

Diketahui

$$F = 1,0976$$

$$r = 6\text{cm} = 0,6\text{m}$$

sehingga :

$$T = F \times r$$

$$T = 1,0976 \times 0,6 = 0,66 \text{ Nm}$$

B. Perhitungan Kecepatan Turbin

Diketahui

$$\pi = 3,14$$

$$n = 27,8$$

Maka :

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

$$= 2 \times 3,14 \times 27,8/60$$

$$= 2,9 \text{ rad/s}$$

C. Perhitungan Daya Turbin

Diketahui

$$T = 0,66$$

$$\omega = 2,9$$

Maka :

$$P_t = T \times \omega$$

$$= 0,66 \times 2,9$$

$$= 1,91 \text{ watt} = 0,002561 \text{ (HP)}$$

D. Perhitungan Kecepatan Aliran

Diketahui

$$s = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$

$$t = 60 \text{ (detik)}$$

Maka :

$$v = s/t$$

$$= 0,1/60$$

$$= 0,0016 \text{ m/s}$$

E. Perhitungan Debit Air

Diketahui

$$V = 0,0016$$

$$A = 13,750 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Q &= V \times A \\ &= 0,0016 \times 13,750 \\ &= 22 \text{ l/menit} = 0,036 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

F. Perhitungan Daya Air

Diketahui

$$\rho = 1,027 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$g = 9,81$$

$$Q = 0,036$$

$$H = 1 \text{ cm}$$

Maka :

$$\begin{aligned} P_a &= \rho \times g \times Q \times H \\ &= 1,027 \times 9,81 \times 0,036 \times 1 \\ &= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

G. Perhitungan Daya Listrik

Diketahui

$$V = 0,2$$

$$I = 59,4 \text{ (mA)}$$

Perhitungan daya listrik menggunakan 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 20° dari rata – rata kuat arus (mA), maka :

$$\begin{aligned} P_e &= V \times I \\ &= 0,2 \times 59,4 \\ &= 11,88 \text{ watt} = 0,0159 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

H. Efisiensi

Diketahui

$$\begin{aligned} P_t &= \text{daya turbin} \\ &= 1,91 \text{ (watt)} = 0,002561 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_a &= \text{daya air} \\ &= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

Maka :

$$n_t = \frac{p_t}{p_a} \times 100\%$$

$$n_t = \frac{0,002561}{0,0048} \times 100\%$$

$$= 5,3 \%$$

4.1.2 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut sudu 45°

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut Sudu 45°

(Sumber : Dary, 2023)

Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
Senin, 03 Juli 2023	11.06.55	100	100	0.2	14	0.79	34
Senin, 03 Juli 2023	11.07.55	100	100	0.2	75	14.82	35
Senin, 03 Juli 2023	11.08.55	100	100	0.2	81	18.4	31
Senin, 03 Juli 2023	11.09.55	100	100	0.2	50	9.88	31
Senin, 03 Juli 2023	11.10.55	100	100	0.2	80	15.81	31
Rata - rata					60	11.94	32.4

Pada tabel diatas bahwa karakteristik dari kemiringan sudut sudu yang digunakan dapat mempengaruhi kecepatan putaran turbin. Turbin yang menggunakan jumlah sudu 4 NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 45° memiliki rata – rata arus sebesar 60 mA, serta daya rata – rata sebesar 11,94 mW dan rata – rata RPM sebesar 32,4. Saat pengujian dilakukan 5 kali pengujian dalam waktu 1 menit. Untuk mengetahui data tersebut alat yang digunakan adalah monitor komputer

yang terhubung dalam kontrol modul seperti RPM sebagai mengukur kecepatan putaran per menit pada turbin, P sebagai mengukur power atau daya yang dihasilkan (mW), I sebagai mengukur kuat arus (ampere) yang dihasilkan (mA), v sebagai mengukur tegangan (voltage) dari generator yang dihasilkan pada putaran turbin, dengan besarnya motor gelombang air dan motor kecepatan naik turunnya hidrolis yang konstan masing – masing sebesar 100%. Yang mana dari nilai masing – masing ditampilkan ke dalam LCD kontrol modul kemudian terhubung ke monitor komputer.

Dapat dilihat dari tabel 4.2 dari data tersebut yang didapatkan pengaruh menggunakan jumlah sudu 4 dengan kemiringan sudut sudu 45°, maka langkah berikutnya dapat dilakukan sebagai berikut :

A. Torsi

Perhitungan torsi menggunakan 4 sudu NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 45° serta beban 0,112 kg

Maka :

$$\begin{aligned} F &= 0,112 \text{ kg} \times 9,8 \\ &= 1,0976 \end{aligned}$$

Diketahui

$$F = 1,0976$$

$$r = 6\text{cm} = 0,6\text{m}$$

sehingga :

$$T = F \times r$$

$$\begin{aligned} T &= 1,0976 \times 0,6 \\ &= 0,66 \text{ Nm} \end{aligned}$$

B. Perhitungan Kecepatan Turbin

Diketahui

$$\pi = 3,14$$

$$n = 32,4$$

Maka :

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi \times n/60 \\ &= 2 \times 3,14 \times 32,4/60 \\ &= 3,3 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

C. Perhitungan Daya Turbin

Diketahui

$$T = 0,66$$

$$\omega = 3,3$$

Maka :

$$\begin{aligned}P_t &= T \times \omega \\ &= 0,66 \times 3,3 \\ &= 2,17 \text{ watt} = 0,00291 \text{ (HP)}\end{aligned}$$

D. Perhitungan Kecepatan Aliran

Diketahui

$$s = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$

$$t = 60 \text{ (detik)}$$

Maka :

$$\begin{aligned}v &= s/t \\ &= 0,1/60 \\ &= 0,0016 \text{ m/s}\end{aligned}$$

E. Perhitungan Debit Air

Diketahui

$$V = 0,0016$$

$$A = 13,750 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Maka :

$$\begin{aligned}Q &= V \times A \\ &= 0,0016 \times 13,750 \\ &= 22 \text{ l/menit} = 0,036 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

F. Perhitungan Daya Air

Diketahui

$$\rho = 1,027 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$g = 9,81$$

$$Q = 0,036$$

$$H = 1 \text{ cm}$$

Maka :

$$\begin{aligned} P_a &= \rho \times g \times Q \times H \\ &= 1,027 \times 9,81 \times 0,036 \times 1 \\ &= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

G. Perhitungan Daya Listrik

Diketahui

$$V = 0,2$$

$$I = 60 \text{ (mA)}$$

Perhitungan daya listrik menggunakan 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 45° dari rata – rata kuat arus (mA), maka :

$$\begin{aligned} P_e &= V \times I \\ &= 0,2 \times 60 \\ &= 12 \text{ watt} = 0,016 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

H. Efisiensi

Diketahui

$$\begin{aligned} P_t &= \text{daya turbin} \\ &= 2,17 \text{ (watt)} = 0,00291 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_a &= \text{daya air} \\ &= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} n_t &= \frac{p_t}{p_a} \times 100\% \\ n_t &= \frac{0,00291}{0,0048} \times 100\% \\ &= 6\% \end{aligned}$$

4.1.3 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut sudu 90°

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus dengan Kemiringan Sudut Sudu 90°

(Sumber : Dary, 2023)

Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
Senin, 03 Juli 2023	10.00.04	100	100	0.2	61	12.05	40
Senin, 03 Juli 2023	10.01.04	100	100	0.2	26	5.2	40
Senin, 03 Juli 2023	10.02.04	100	100	0.2	73	14.42	40
Senin, 03 Juli 2023	10.03.04	100	100	0.2	95	18.77	41
Senin, 03 Juli 2023	10.04.04	100	100	0.2	52	10.27	40
Rata - rata					61,4	12,1	40,2

Pada tabel diatas bahwa karakteristik dari kemiringan sudut sudu yang digunakan dapat mempengaruhi kecepatan putaran turbin. Turbin yang menggunakan jumlah sudu 4 NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 90° memiliki rata – rata arus sebesar 61,4 mA, serta daya rata – rata sebesar 12,1 mW dan rata – rata RPM sebesar 40,2. Saat pengujian dilakukan 5 kali pengujian dalam waktu 1 menit. Untuk mengetahui data tersebut alat yang digunakan adalah monitor komputer yang terhubung dalam kontrol modul seperti RPM sebagai mengukur kecepatan putaran per menit pada turbin, P sebagai mengukur power atau daya yang dihasilkan (mW), I sebagai mengukur kuat arus (ampere) yang dihasilkan (mA), v sebagai mengukur tegangan (voltage) dari generator yang dihasilkan pada putaran turbin, dengan besarnya motor gelombang air dan motor kecepatan naik turunnya

hidrolis yang konstan masing – masing sebesar 100%. Yang mana dari nilai masing – masing ditampilkan ke dalam LCD kontrol modul kemudian terhubung ke monitor komputer.

Dapat dilihat dari tabel 4.3 dari data tersebut yang didapatkan pengaruh menggunakan jumlah sudu 4 dengan kemiringan sudut sudu 90°, maka langkah berikutnya dapat dilakukan sebagai berikut :

A. Torsi

Perhitungan torsi menggunakan 4 sudu NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 90° serta beban 0,112 kg

Maka :

$$\begin{aligned} F &= 0,112 \text{ kg} \times 9,8 \\ &= 1,0976 \end{aligned}$$

Diketahui

$$F = 1,0976$$

$$r = 6\text{cm} = 0,6\text{m}$$

sehingga :

$$T = F \times r$$

$$T = 1,0976 \times 0,6 = 0,66 \text{ Nm}$$

B. Perhitungan Kecepatan Turbin

Diketahui

$$\pi = 3,14$$

$$n = 40,2$$

Maka :

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

$$= 2 \times 3,14 \times 40,2/60$$

$$= 4,2 \text{ rad/s}$$

C. Perhitungan Daya Turbin

Diketahui

$$T = 0,66$$

$$\omega = 4,2$$

Maka :

$$P_t = T \times \omega$$

$$= 0,66 \times 4,2$$

$$= 2,77 \text{ watt} = 0,00362 \text{ (HP)}$$

D. Perhitungan Kecepatan Aliran

Diketahui

$$s = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$

$$t = 60 \text{ (detik)}$$

Maka :

$$v = s/t$$

$$= 0,1/60$$

$$= 0,0016 \text{ m/s}$$

E. Perhitungan Debit Air

Diketahui

$$V = 0,0016$$

$$A = 13,750 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Maka :

$$Q = V \times A$$

$$= 0,0016 \times 13,750$$

$$= 22 \text{ l/menit} = 0,036 \text{ m}^3/\text{s}$$

F. Perhitungan Daya Air

Diketahui

$$\rho = 1,027 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$g = 9,81$$

$$Q = 0,036$$

$$H = 1\text{ cm}$$

Maka :

$$\begin{aligned} P_a &= \rho \times g \times Q \times H \\ &= 1,027 \times 9,81 \times 0,036 \times 1 \\ &= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

G. Perhitungan Daya Listrik

Diketahui

$$V = 0,2$$

$$I = 61,4 \text{ (mA)}$$

Perhitungan daya listrik menggunakan 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 90° dari rata – rata kuat arus (mA), maka :

$$\begin{aligned} P_e &= V \times I \\ &= 0,2 \times 61,4 \\ &= 12,28 \text{ watt} = 0,0164 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

H. Efisiensi

Diketahui

$$\begin{aligned} P_t &= \text{daya turbin} \\ &= 2,77 \text{ (watt)} = 0,00362 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_a &= \text{daya air} \\ &= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} n_t &= \frac{p_t}{p_a} \times 100\% \\ n_t &= \frac{0,00362}{0,0048} \times 100\% = 7,69\% \end{aligned}$$

4.2 Analisa dan Pembahasan Hasil Turbin Air Darrieus NACA 0015

4.2.1 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus NACA 0015 Menggunakan 4 Sudu dengan Kemiringan Sudut Sudu 20°

Dari 5 hasil data pengujian yang didapat turbin menggunakan 4 jumlah sudu dengan kemiringan sudut sudu 20° yang mana rata – rata sebagai berikut :

Tabel 4.4 Tabel Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Menggunakan Kemiringan Sudut Sudu 20°

(Sumber : Dary Yumna Joesi, 2023)

Kemiringan Sudut Sudu (°)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
20°	59.4	11.73	27.8

Dari tabel dan analisa dari Arus (mA), Daya (mW), dan Rotary Speed of Minute (RPM) memiliki nilai paling kecil dibandingkan dengan kemiringan sudut sudu 45°, dan 90°.

Bila melihat dari penelitian terdahulu seperti Iqswanda P. A, 2020 tentang Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja turbin Aliran Vortex. Lalu dalam pegujian tersebut sudu yang digunakan berjumlah 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 20° paling kecil dari sudut sudu 45°, dan 90°. Jadi disimpulkan bahwa penelitian tersebut sudah sesuai dengan mendapat nilai Arus sebesar 59,4 (mA), Daya 11,73 (mW), Kecepatan Putaran 27,8 (RPM).

Untuk nilai rata – rata tersebut yang mana paling kecil dibandingkan dengan kemiringan sudut sudu 45°, dan 90°.

4.2.1 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus NACA 0015 Menggunakan 4 Sudu dengan Kemiringan Sudut Sudu 45°

Dari 5 hasil data pengujian yang didapat turbin menggunakan 4 jumlah sudu dengan kemiringan sudut sudu 45° yang mana rata – rata sebagai berikut :

Tabel 4.5 Tabel Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Menggunakan Kemiringan Sudut Sudu 45°

(Sumber : DaryYumna Joesi, 2023)

Kemiringan Sudut Sudu (°)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
45°	60	11.94	32.4

Dari tabel dan analisa dari Arus (mA), Daya (mW), dan Rotary Speed of Minute (RPM) memiliki nilai yang lebih besar secara meningkat dibandingkan dengan kemiringan sudut sudu 20°, dan sebaliknya masih memiliki nilai yang kecil dengan kemiringan sudut sudu 90°.

Bila melihat dari penelitian terdahulu seperti Iqswanda P. A, 2020 tentang Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja turbin Aliran Vortex. Lalu dalam pegujian tersebut sudu yang digunakan berjumlah 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 45° yang besar daripada sudut sudu 20°, dan sebaliknya nilai kecil daripada kemiringan sudut 90°. Jadi disimpulkan bahwa penelitian tersebut sudah sesuai dengan mendapat nilai Arus sebesar 60 (mA), Daya 11,94 (mW), Kecepatan Putaran 32,4 (RPM).

Untuk nilai rata – rata tersebut yang mana lebih besar dibandingkan dengan kemiringan sudut sudu 20°, dan sebaliknya memilkinilai yang kecil dengan kemiringan sudut sudu 90°.

4.2.1 Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Air Darrieus NACA 0015 Menggunakan 4 Sudu dengan Kemiringan Sudut Sudu 90°

Dari 5 hasil data pengujian yang didapat turbin menggunakan 4 jumlah sudu dengan kemiringan sudut sudu 90° yang mana rata – rata sebagai berikut :

Tabel 4.6 Tabel Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Turbin Menggunakan Kemiringan Sudut Sudu 90°

(Sumber : DaryYumna Joesi, 2023)

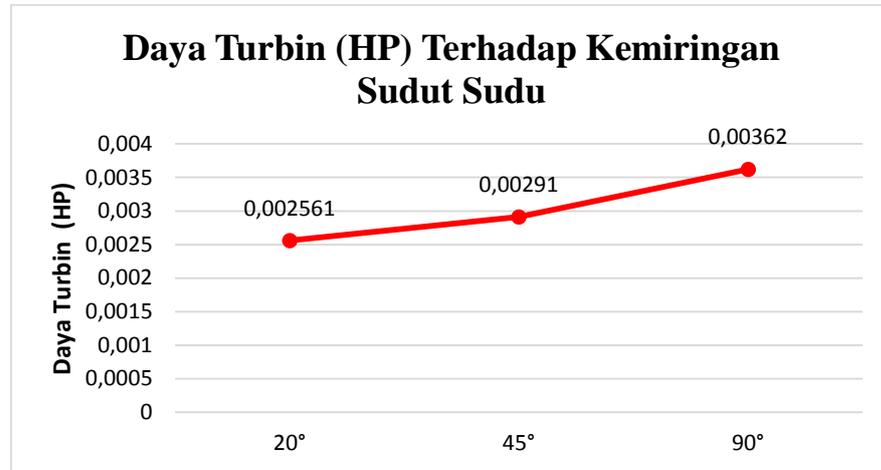
Kemiringan Sudut Sudu (°)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
90°	61,4	12,1	40,2

Dari tabel dan analisa dari Arus (mA), Daya (mW), dan Rotary Speed of Minute (RPM) memiliki nilai paling besar dibandingkan dengan kemiringan sudut sudu 20°, dan 45°.

Bila melihat dari penelitian terdahulu seperti Iqswanda P. A, 2020 tentang Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja turbin Aliran Vortex. Lalu dalam pegujian tersebut sudu yang digunakan berjumlah 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 90° paling besar dari sudut sudu 20°, dan 45°. Jadi disimpulkan bahwa penelitian tersebut sudah sesuai dengan mendapat nilai Arus sebesar 61,4 (mA), Daya 12,1 (mW), Kecepatan Putaran 40,2 (RPM).

Untuk nilai rata – rata tersebut yang mana paling besar dibandingkan dengan kemiringan sudut sudu 45°, dan 90°.

4.2.2 Pengaruh Daya Turbin (HP) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu



Grafik 4.1 Pengaruh Daya Turbin (HP) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu

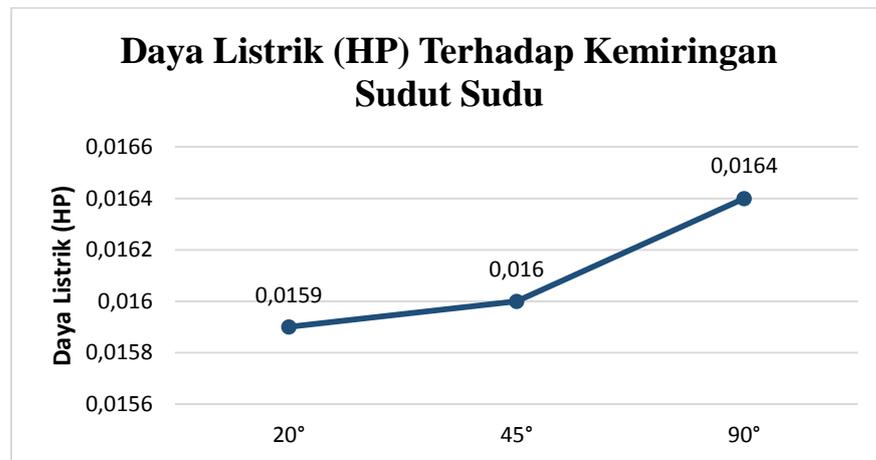
(Sumber : Dary Yumna Joesi, 2023)

Dari grafik diatas dapat dikatakan pengaruh dari daya turbin dengan variasi kemiringan sudut sudu yang digunakan yaitu 20° memiliki nilai yang paling kecil sebesar 0,002561(HP), untuk sudut sudu 45° memiliki nilai yang lebih besar sebesar 0,00291(HP), dan sudut sudu 90° memiliki nilai paling besar sebesar 0,00362(HP).

Bahwa variasi kemiringan sudut sudu yang berbeda dapat mempengaruhi Daya Turbin (HP) yang dihasilkan turbin karena pengaruh dari nilai daya turbin tersebut. Semakin besar nilai daya turbin yang dihasilkan maka semakin besar nilai yang didapat. Pada grafik kemiringan sudut sudu 45° dan 90° mengalami peningkatan yang merambat dikarenakan dari data yang diperoleh.

Dalam Pengujian tersebut nilai daya turbin berpengaruh terhadap kemiringan sudut sudu pada masing – masing kecepatan aliran gelombang air dan RPM.

4.2.3 Pengaruh Daya Listrik (HP) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu



Grafik 4.2 Pengaruh Daya Listrik (HP) Terhadap kemiringan Sudut Sudu

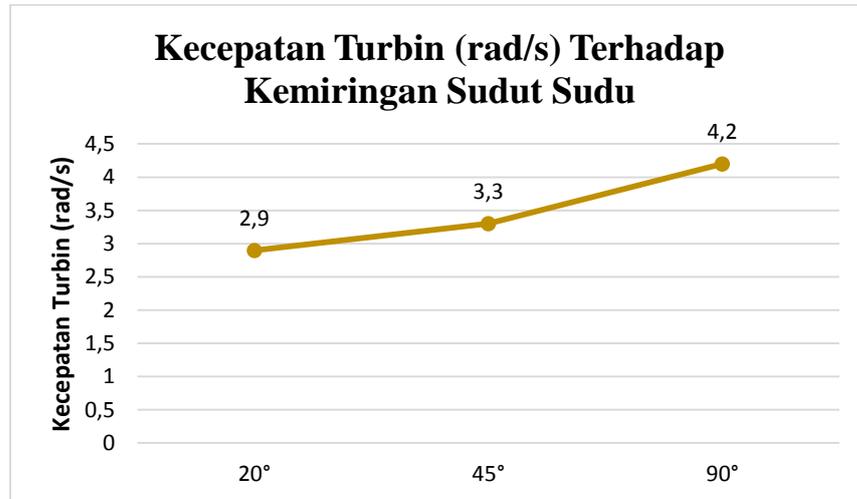
(Sumber : Dary Yumna Joesi, 2023)

Dari grafik diatas dapat dikatakan pengaruh dari daya listrik dengan variasi kemiringan sudut sudu yang digunakan yaitu 20° memiliki nilai yang paling kecil sebesar 0,0159(HP), untuk sudut sudu 45° memiliki nilai yang lebih besar sebesar 0,016(HP), dan sudut sudu 90° memiliki nilai paling besar sebesar 0,0164(HP).

Bahwa variasi kemiringan sudut sudu yang berbeda dapat mempengaruhi Daya listrik (HP) yang dihasilkan turbin karena pengaruh dari nilai daya listrik tersebut. Semakin besar nilai daya listrik yang dihasilkan maka semakin besar nilai yang didapat. Pada grafik kemiringan sudut sudu 45° dan 90° mengalami peningkatan yang signifikan terutama pada 90° dikarenakan dari data yang diperoleh.

Dalam Pengujian tersebut nilai daya listrik berpengaruh terhadap kemiringan sudut sudu pada masing – masing kecepatan aliran gelombang air dan RPM.

4.2.4 Pengaruh Kecepatan Turbin (rad/s) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu



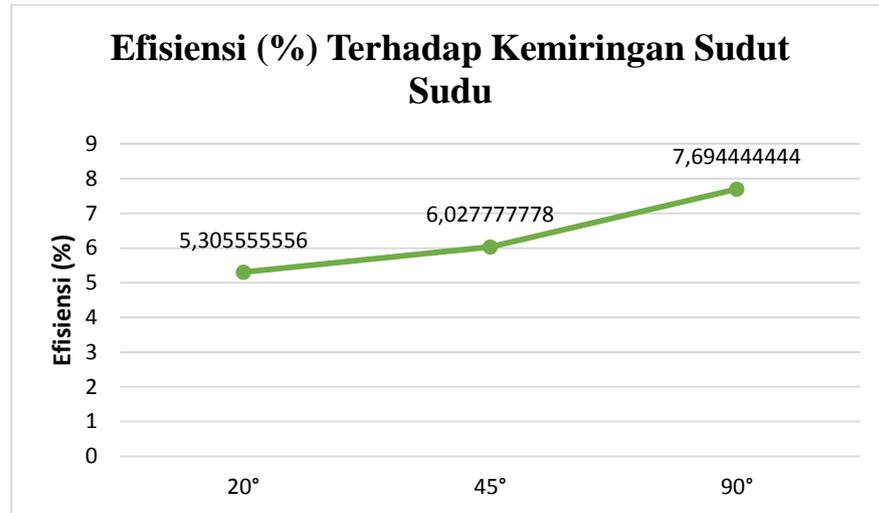
Grafik 4.3 Pengaruh Kecepatan Turbin (rad/s) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu

(Sumber : Dary Yumna Joesi, 2023)

Pada grafik diatas bahwa pengaruh dari variasi kemiringan sudut sudu terhadap kecepatan turbin dengan sudut sudu 20° sebesar 2,9 rad/s, untuk sudut sudu 45° sebesar 3,3, dan sudut sudu 90° sebesar 4,2 rad/s. Pada grafik sudut sudu 90° mengalami peningkatan yang signifikan dikarenakan dari data yang diperoleh tersebut.

Bahwa variasi kemiringan sudut sudu yang berbeda dapat mempengaruhi Kecepatan Turbin (rad/s) yang dihasilkan turbin karena pengaruh dari nilai kecepatan turbin tersebut yang dimana kemiringan sudut sudu 20° memiliki kecepatan yang paling kecil, untuk sudut sudu 45° memilki kecepatan turbin yang lebih besar, sedangkan sudut sudu 90° memiliki kecepatan turbin yang paling besar. Sehingga semakin besar nilai kecepatan turbin yang dihasilkan maka semakin besar nilai yang didapat.

4.2.5 Pengaruh Efisiensi (%) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu



Grafik 4.4 Pengaruh Efisiensi (%) Terhadap Kemiringan Sudut Sudu

(Sumber : Dary Yumna Joesi, 2023)

Dari grafik diatas bahwa pengaruh variasi kemiringan sudut sudu dapat mempengaruhi tingkat efisiensi yang dihasilkan pada sudut sudu 20° sebesar 5,3%, untuk sudut sudu 45° sebesar 6%, dan sudut sudu 90° sebesar 7,69%. Untuk kemiringan sudut sudu yang paling besar adalah 90° dikarenakan mengalami peningkatan efisiensi dari data yang diperoleh.

Dapat disimpulkan bahwa kemiringan sudut sudu 90° dapat mempengaruhi tingkat efisiensi karena pengaruh dari jarak luas penampang antar sudu yang berdekatan sehingga kinerja yang dihasilkan tidak adanya hambatan gerak saat turbin berputar terhadap aliran gelombang air, sedangkan pada kemiringan sudut sudu 20° sebaliknya jarak luas penampang antar sudu yang berjauhan maka kinerja yang dihasilkan memiliki hambatan gerak saat turbin berputar terhadap aliran gelombang air. Jika dilihat dari penelitian terdahulu seperti M. Abdul Kadir 2019, kemiringan sudut sudu mempengaruhi nilai efisiensi, dimana semakin sudut tumpul atau berdekatan jarak antar sudu maka semakin besar nilai efisiensi sudut sudu yang dihasilkan. Pada penelitian kali ini terdapat hasil yang berbanding lurus karena tingkat efisiensi dipengaruhi oleh Daya Turbin (HP), Daya Listrik (HP), dan Kecepatan Turbin (rad/s) dari masing – masing kemiringan sudut sudu.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil dari data pengujian turbin Darrieus tipe H – rotor menggunakan NACA 0015 yang paling optimal dalam kinerjanya pada kemiringan sudut sudu 90° memiliki Daya Turbin sebesar 0,00362(HP), dan Daya Listrik (mW) sebesar 0,0164(HP), untuk kemiringan sudut sudu 45° memiliki Daya Turbin sebesar 0,00291(HP), dan Daya Listrik (mW) sebesar 0,016(HP), sedangkan untuk kemiringan sudut sudu 20° memiliki Daya Turbin sebesar 0,002561(HP), dan Daya Listrik (mW) sebesar 0,0159(HP).
2. Arus yang dihasilkan paling optimal dalam kinerjanya pada kemiringan sudut sudu 90° memiliki Arus (mA) sebesar 61.4, untuk kemiringan sudut sudu 45° memiliki Arus (mA) sebesar 60, sedangkan untuk kemiringan sudut sudu 20° memiliki Arus (mA) sebesar 59.4.
3. Perbedaan kecepatan turbin yang optimal dalam kinerjanya pada kemiringan sudut sudu 90° dengan kecepatan turbin (RPM) sebesar 4,2(rad/s), untuk kemiringan sudut sudu 45° memiliki kecepatan turbin (RPM) sebesar 3,3(rad/s), sedangkan untuk kemiringan sudut sudu 20° memiliki kecepatan turbin (RPM) sebesar 2,9(rad/s).
4. Optimalisasi nilai kinerja turbin tersebut memiliki tingkat efisiensi yang paling besar sebesar 7,69% pada kemiringan sudut sudu 90° , dikarenakan luas penampang antar jarak sudu yang berdekatan sehingga kinerja yang dihasilkan tidak adanya hambatan gerak saat turbin berputar terhadap aliran gelombang air. Untuk tingkat efisiensi lebih rendah sebesar 6% pada kemiringan sudut sudu 45° , sedangkan paling rendah sebesar 5,3% pada kemiringan sudut sudu 20° , dikarenakan jika sebaliknya jarak luas penampang antar sudu yang berjauhan maka kinerja yang dihasilkan memiliki hambatan gerak saat turbin berputar terhadap aliran gelombang air.

5.2 Saran

1. Pada penelitian harus memperhatikan beberapa aspek penting dalam menentukan karakteristik jenis sudu NACA dan kemiringan sudut sudu supaya hasil yang didapatkan daya turbin, daya listrik, kecepatan turbin dan tingkat efisiensi turbin yang maksimal.
2. Pada saat penelitian harus memperhatikan komponen pengujian seperti sensor putaran, control module, monitor komputer, generator, mesin hidrolis pembuat gelombang, dan pompa air sebagai sirkulasi aliran. Supaya tidak terjadi masalah dalam melakukan penelitian atau pengolahan data.
3. Pada saat pemasangan sudu turbin pada poros, generator, dan mengatur kemiringan sudut sudu mutlak harus diperhatikan supaya kinerja turbin bisa seimbang (balance).

DAFTAR PUSTAKA

- Adiarso, A., & Sudargana, S.** (2014). Uji Karakteristik Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0021 Dengan Memanfaatkan Arus Air Di Cokro Tulung. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 2(1), 36-40.
- Al Amru, N., & Rangkuti, C.** (2020). PENGGUNAAN TURBIN ANGIN DARRIEUS SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK UNTUK RUMAH SEDERHANA DI DESA PUSAKA RAKYAT, TARUMAJAYA, BEKASI. *KOCENIN SERIAL KONFERENSI (E) ISSN: 2746-7112*, (1), 3-4.
- Alqurashi, Faris, and M. H. Mohamed.** "Aerodynamic forces affecting the H-rotor darrieus wind turbine." *Modelling and Simulation in Engineering 2020* (2020).
- Anam, A., Sujana, I. W., & Hardianto, G. A.** (2018). Pengaruh Parameter Efisiensi dan Daya Terhadap Kinerja Turbin Angin Vertikal Darrieus Tipe H Naca 4309. *Energy-Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 8(2), 1-7.
- Anam, A., Asroni, M., & Rahardjo, T.** (2020). Peningkatan kinerja turbin angin vertikal tipe darrieus dengan menggunakan wind gate. *Jurnal Flywheel*, 11(1), 6-9.
- Antoni S, F.** (2020). *Simulasi Numerik Pengaruh mekanisme passive terhadap kinerja turbin darrieus pada profil naca 0012* (Doctoral dissertation, UMSU).
- Arsad, A. M., & Hartono, F.** (2010). Pembuatan Kode Desain dan Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 7(2).
- Arazi, F.** (2020). *Simulasi Numerik Karakteristik Unjuk Kerja Turbin Air Savonius Darrieus Naca 0015* (Doctoral dissertation).
- Aspriliansyah, I. P., & Adiwibowo, P. H.** (2020). Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2).
- Bagar, KH, Wicaksono, W., Rohmadin, NA, Prasetyawan, A., & Rahman, A.** (2013). Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan inovasi turbin heliks vertikal untuk kemandirian energi sekolah daerah pesisir. *Program Kreativitas Mahasiswa-Teknologi* .

- Cesar, A., & Kurniawan, I.** Kaji Eksperimental Turbin Air Darrieus Tipe-H Menggunakan Blade Hydrofoil Standar Naca 0018. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 7, 1-7.
- Chisna, A. A.** (2022). *Simulasi uji kerja vertical axis wind turbine tipe h-darrieus pada naca 0020 dan 0012 dengan variasi diameter rotor menggunakan metode CFD* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Malang).
- Dawood, Andrew, et al.** "3D printing in dentistry." *British dental journal* 219.11 (2015): 521-529.
- Egi, R., & Puteri Islamega, T.** (2022). *PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT (PLTAL) MENGGUNAKAN TURBIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS* (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- Energi, Kementerian.** "Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral." Retrieved from Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi: <https://ebtke.esdm.go.id> (2021).
- Fachrudin, A. R.** PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H NACA 3412 DENGAN SUDUT PITCH 00. *INFO-TEKNIK*, 19(2), 195-202.
- Fadila, A.** (2020). Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga dengan Profil NACA 0006. *Eksergi*, 15(3), 102-114.
- Febrianto, A., & Santoso, A.** (2017). Analisa perbandingan torsi dan rpm turbin tipe darrieus terhadap efisiensi turbin. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- Febriansyah, A. R.** (2021). Pemodelan turbin arus laut tipe darrieus untuk kebutuhan pembangkit listrik tenaga arus laut dengan menggunakan computational fluid dynamics. *SKRIPSI-2019*.
- Firdausy, C. N., Hantoro, R., & Hamidah, N. L.** (2018). Analisis Pengaruh Passive Variable-Pitch pada Turbin Sumbu Vertikal Darrieus Cascade terhadap Efisiensi Turbin Hidrokinetik Berbasis Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), B66-B71.
- FIRDAUSY, C. N.** ANALISIS PENGARUH MEKANISME PASSIVE VARIABLE-PITCH PADA TURBIN SUMBU VERTIKAL DARRIEUS

CASCADE TERHADAP EFISIENSI TURBIN HIDROKINETIK
BERBASIS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS.

- Hardiatama, Intan, and Muhammad Trifiananto.** "Pengaruh Penambahan Diffuser terhadap Performa 3D Print Turbin Hidrokinetik Helilcal Savonius (Twist Angle 45o)." (2018).
- Hariadi, F.** (2020). *Simulasi Numerik Karakteristik Kinerja Turbin Air Darrieus Terhadap Perubahan Sudut Serang Pada NACA 0012* (Doctoral dissertation).
- Harianto, H.** (2019). STUDI SIMULASI CFD PENGARUH LEBAR CORD SUDU NACA A 0015 TERHADAP POWER FACTOR TURBIN DARIEUS. *KURVATEK*, 4(1), 15-23.
- Hardjono, S.** KAJIAN KAPAL CEPAT RUDAL (KCR) 60M TERHADAP KONDISI SEASTATE PERAIRAN KAWASAN BARAT DAN TIMUR INDONESIA STUDY ON THE FAST MISSILE CRAFT (KCR) OF 60 M AT THE SEASTATE CONDITION OF THE WEST AND EASTERN. *Pengkajian Industri*, 239.
- Hasibuan, S. C., Purba, R., Widodo, B., & Susilo, S.** (2018). Rancang Bangun Prototype Turbin Angin Guna Menentukan Perbandingan Efisiensi Yang Dihasilkan Dari Jumlah Blade 8 Dan Jumlah Blade. *Letrokom: Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro*, 1(1).
- Hiraki, Koju, et al.** "Guide vanes for darrieus water turbine in tidal current." *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*. 2013.
- Hoerner, Stefan, et al.** "Characteristics of the fluid–structure interaction within Darrieus water turbines with highly flexible blades." *Journal of Fluids and Structures* 88 (2019): 13-30.
- Ibrahim, I., Maulana, I., Muhajirin, M., & Iskandar, I.** (2014). Perancangan dan Analisa Turbin Darrieus Tipe H untuk Pembangkit Listrik Tenaga Arus Air. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 15-20.
- Irsyad, M.** (2010). Kinerja turbin air tipe darrieus dengan sudu hydrofoil standar naca 6512. *Ilmiah Teknik Mesin*, 1(2), 91-97.
- Ismail, I., Pane, E., & Triyanti, T.** (2017). Optimasi perancangan turbin angin vertikal tipe darrieus untuk penerangan di jalan tol. *Prosiding Semnastek*.

- Janurianto, P. B., Budiarto, U., & Hadi, E. S.** (2016). ANALISA EFEKTIFITAS WIND TURBINE SUMBU VERTIKAL DENGAN VARIASI JUMLAH DAN KETEBALAN SUDU AIRFOIL NACA SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK TAMBAHAN PADA FISHERIES INSPECTION VESSEL 594 GT MENGGUNAKAN METODE CFD. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4).
- Joni, C. M.** (2020). Pembuatan model pembangkit listrik tenaga air dan pengujian variasi tipe naca 0018 dan 0015 untuk sudu turbin darrieus. *SKRIPSI-2019*.
- Junarto, Fajar.** *Pengaruh Variasi Tinggi Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Darrieus Profil NACA 0018 Tipe Poros Vertikal*. Diss. Universitas Brawijaya, 2016.
- Kadir, M. A., & Babarsari, J.** (2019). PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN DAN LEBAR SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN DARRIEUS DENGAN PROFIL SUDU NACA 0021. *KURVATEK*, 4(1), 7-13.
- Koten, V. K., & Thioritz, S.** (2017). Karakteristik Turbin Darrieus Dengan Dan Tanpa Sudu Tetap Pada Proses Pemanfaatan Aliran Air Tekanan Rendah Menjadi Energi Mekanik. *Jurnal Mekanikal*, 8(2).
- Kuncoro, D. N., & Sudargana, I.** (2012). *Simulasi Perhitungan Torsi, Daya, dan Efisiensi Turbin Darrieus Pada hydrofoil NACA 0012 Dari Karakteristik CL dan CD Hasil Simulasi Fluent* (Doctoral dissertation, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University).
- Loupatty, G.** (2013). Characteristic of wave energy and current velocity of coastal area at Maluku Province. *Jurnal Barekeng*, 7(1), 19-22.
- Luhur, Estu Sri, Rizky Muhartono, and Siti Hajar Suryawati.** "Analisis finansial pengembangan energi laut di Indonesia." *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan* 8.1 (2013): 25-37.
- Mahmud, Syahir, Limbran Sampebatu, and Suendy Ciayadi Kwang.** "Mechanical power efficiency of modified turbine blades." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1801. No. 1. AIP Publishing, 2017.

- Mahyuddin, M., & Usman, U.** (2019). Perancangan dan Uji Kincir Angin Vertikal Darrieus Tipe-H Dengan Daya 0, 31 Hp. *Jurnal Ristech (Jurnal Riset, Sains dan Teknologi)*, 1(1), 27-37.
- Marelsa, N. F., & Oktaviandra, Y.** (2019). Analisis Karakteristik Gelombang Laut Menggunakan Software Windwave-12 (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai). *OSEANA*, 44(2), 10-24.
- Metheny, B., Permatasari, R., & Annas, M. S.** (2022). Pemodelan turbin savonius-darrieus pada pembangkit listrik tenaga arus laut menggunakan cfd. *SKRIPSI-2019*.
- Mohamed, M. H., A. M. Ali, and A. A. Hafiz.** "CFD analysis for H-rotor Darrieus turbine as a low speed wind energy converter." *Engineering Science and Technology, an International Journal* 18.1 (2015): 1-13.
- Muharnif, M., & Nasution, E. S.** (2018). Pembuatan Hydrofoil Turbin Darrieus. *Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 2(1).
- Nadia, Prima, Muhammad Ali, and Besperi Besperi.** "Pengaruh Angin terhadap Tinggi Gelombang pada Struktur Bangunan Breakwater di Tapak Paderi Kota Bengkulu." *Inersia: Jurnal Teknik Sipil* 5.1 (2013): 41-56.
- Nobertus, D.** (2020). PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 18(1), 55-69.
- Nugroho, A. S., Kristiawan, Y. Y., & Rahayu, A. T.** (2023). Pengaruh Angle Attack Terhadap Luaran Generator Turbin Tipe Darrieus. *AEEJ: Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, 4(1), 1-8.
- Nugroho, A. D., Suwandono, P., Hermawan, D., & Rizki, A.** (2022). Pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja 3D print turbin air tipe vortex. *vol, 11*, 95-108.
- Nur Akhlis, S. T.** (2016). *Studi Performa Turbin Angin Sumbu Vertikal NACA 0012 Dengan Turbin Angin DARRIEUS-H Pada Variasi Sudut Pitch 35 Derajat, 40 Derajat, 45 Derajat, 50 Derajat, 55 Derajat, 60 Derajat* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Oktavianto, D., Budiarto, U., & Kiryanto, K.** (2017). Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Sudu, Sudut Serang dan Kecepatan Arus Pada Turbin Arus Tipe

Sumbu Vertikal Terhadap Daya yang Dihasilkan Oleh Turbin. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2).

Octauria, E. P., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Omni Directional Guide Vanes Terhadap Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus. *Eksergi*, 17(2), 95-108.

Parjiman, Parjiman, et al. "Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)." *Jurnal Teknologi Elektro* 9.2 (2015): 50-55.

Patel, Mr Bhavesh, and Vishal Kevat. "Performance prediction of straight bladed Darrieus wind turbine by single streamtube model." *International Journal of Advanced Engineering Technology* 14 (2013): 2.

Prastiko, Yunika Cahyo, S. T. Nur Aklis, and S. T. Wijianto. *Uji Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H Naca 0018 Modifikasi Dengan Variasi Sudut Pitch 35 derajat, 40 derajat, 45 derajat, 50 derajat, 55 derajat, 60 derajat.* Diss. universitas muhammadiyah surakarta, 2016.

Prayatno Wibowo. (2007). Pengetahuan Turbin Air.

Prayoga, W. A., & Permatasari, R. (2019). Perancangan dan pemodelan turbin darrieus untuk pembangkit listrik tenaga arus laut (PLTAL). *MESIN*, 10(1).

Prikafais, E. (2015). *Analisa pengaruh geometri kanal terhadap kinerja turbin vertikal aksis jenis darrieus straight bladed berbasis computational fluid dynamics* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Priyanto, W., Sara, I. D., & Lubis, R. S. (2019). Studi Simulasi Aerodinamika Airfoil dan Prediksi Performa Pitch Tetap Turbin Angin Poros Tegak (Darrieus) terhadap Output Power untuk Aplikasi Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi (JNKTI)*, 2(1), 1-8.

Purnama, Adia Cahya, Ridho Hantoro, and Gunawan Nugroho. "Rancang bangun turbin air sungai poros vertikal tipe Savonius dengan menggunakan pemandu arah aliran." *Jurnal Teknik ITS* 2.2 (2013): B278-B282.

Rahman, S., Baeda, A. Y., & Umar, H. (2016). Potensi Energi Gelombang sebagai Sumber Energi Alternatif di Pulau-Pulau Terluar Wilayah NKRI. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 20(2), 32-38.

- Rahuna, D.** (2016). Kajian Eksperimental Konversi Energi Gelombang dengan Menggunakan Kombinasi Wells Rotor dan Turbin Darrieus. *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 10(1), 31-38.
- Rendi Yulianto, K.** (2018). Analisis Pengaruh Variasi jumlah Sudu dan Sudut Serang Terhadap Kinerja Turbin air Darrieus". *Universitas Negri Semarang*.
- Rohman, A., & Yuliandoko, H.** (2020). Studi Karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (Pltgl) Sebagai Energi Terbarukan. In *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)* (Vol. 6, No. 1, pp. 129-137).
- Rouway, Marwane, et al.** "3D printing: Rapid manufacturing of a new small-scale tidal turbine blade." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 115.1-2 (2021): 61-76.
- Sahim, Kaprawi, Dyos Santoso, and Dewi Puspitasari.** "Investigations on the effect of radius rotor in combined Darrieus-Savonius wind turbine." *International Journal of Rotating Machinery* 2018 (2018): 1-7.
- Sahim, K.** (2011). Pengaruh Geometri Sudu Dari Turbin Air Darrieus Terhadap Kinerjanya. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, 13(2), 127274.
- Sahim, Kaprawi, et al.** "Experimental study of Darrieus-Savonius water turbine with deflector: effect of deflector on the performance." *International Journal of Rotating Machinery* 2014 (2014).
- Sahim, Kaprawi, Dyos Santoso, and Jaini Jaini.** "Darrieus Water Turbine Performance Configuration of Blade." *Journal of Mechanical Science and Engineering* 2.1 (2015): 7-11.
- Septyaningrum, E., & TERBARUKAN, B. K. R. E.** (2018). *Studi Eksperimental Counter-Rotating Turbine Dalam Konfigurasi Array Turbin Hidrokinetik Tipe Darrieus Straight-Blade* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Setyawan, Eko Yohanes, et al.** "Simulation model of vertical water wheel performance flow." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 725. No. 1. IOP Publishing, 2020.

- Shah, Dhaval S., and Shivprakash B. Barve.** "Design, analysis and simulation of a Darrieus (eggbeater type) wind turbine." *Int Res J Eng Technol (IRJET)* 8 (2021): 1655-1660.
- Sharma, Ritesh, and Brijesh Patel.** "Design and simulation of Darrieus (Eggbeater) type vertical axis wind turbine using open source software Q blade." *International Journal for Innovative Research in Science & Technology* 1.12 (2015).
- Siddiqui, Ali Shan, et al.** "Experimental study to assess the performance of combined Savonius Darrieus vertical axis wind turbine at different arrangements." *2018 IEEE 21st International Multi-Topic Conference (INMIC)*. IEEE, 2018.
- SINULINGGA, A. F.** (2021). RANCANG BANGUN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN DARRIEUS.
- Siregar, I. H., Effendy, M., & Rasyid, A. H. A.** (2018). Pengaruh Penambahan Fix Drag Reducing Pada Bilah Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius.
- Siregar, I. H.** (2013). Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H Dua Tingkat Dengan Bilah Profile Modified NACA 0018 Dengan dan Tanpa Wind Deflector. *Jurnal Teknik Mesin OTOPRO*, 8, 126-138.
- Sudargana, S., & Yuniarso, R. G. K.** (2012). Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0015 Dari Karakteristik C_l Dan C_d Pada Variasi Sudut Serang Menggunakan Regresi Linier Pada Matlab. *ROTASI*, 14(1), 21-28.
- Suprpto, M., & Muttaqin, I.** (2022). Analisis Turbin Angin Vertikal Hybrid Savonius Bertingkat dan Darrieus Tipe H-Rotor. *AL JAZARI: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, 7(2).
- Syukri, H.** (2017). Turbin air, Teori dan Dasar Perencanaan. *Penerbit: ANDI. Yogyakarta.*
- Taufiqurrahman, Rahmat, and Vivien Suphandani.** "Studi Numerik Turbin Angin Darrieus dengan Variasi Jumlah Sudu dan Kecepatan Angin." *Jurnal Teknik ITS* 6.1 (2017): B13-B18.

- Utami, Siti Rahma.** "Studi potensi pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem oscilating water column (OWC) di tiga puluh wilayah kelautan Indonesia." *Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia* 1.1 (2010): 7.
- Wardani, C. S., Nindito, D. A., & Jaya, A. R.** (2020). Inovasi Dan Desain Turbin Hidrokinetik Darrieus Berdasarkan Bentuk Distribusi Kecepatan Aliran: Innovation And Design Of Darrieus Hydrokinetic Turbines Based On The Shape Of Flow Velocity Distribution. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 9(1), 32-43.
- Wardani, R.** "Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE)." (2017).
- Wicaksana, A., & Karnowo, K.** (2018). PENGARUH TWIST ANGLE TERHADAP KINERJA TURBIN AIR SUMBU VERTIKAL. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(2), 143-154.
- Widodo, A., Tangkuman, S., & Luntungan, H.** (2019). Simulasi Dan Pemodelan Turbin Angin Tipe Darrieus Dengan Konfigurasi Rotor Tipe H Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro. *JURNAL POROS TEKNIK MESIN UNSRAT*, 8(1).
- Wijaya, R. K., & Kurniawan, I.** (2021). Study Experimental Darrieus Type-H Water Turbines Using NACA 2415 Standard Hydrofoil Blade. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(2), 109-123.
- Wijaya, I. W. A., & Wayan, I.** (2010). Pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan teknologi oscilating water column di Perairan Bali. *Majalah Ilmiah Teknik Elektro*, 9(2), 165-174.
- Wijaya, R. K., & Kurniawan, I.** (2020). Kaji Eksperimental Turbin Air Darrieus Tipe-H Menggunakan Blade Hydrofoil Standar Naca 2415. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 7, 1-8.
- Wintazon, Wintazon, Anang Setyo Pramudiyanto, and Eko Nur Hidayat.** "Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Laut atau Angin Laut dengan Pengendali Gravitasi Bumi." *Majalah Ilmiah Gema Maritim* 21.1 (2019): 340258.
- Yulianto, R.** (2020). Analysis Of The Effect Of Variation On Number Of Blades And Angles Of Attack On The Performance Of The Darrieus Water Turbine. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 18(2), 68-78.

- Yuniarso, R., & Sudargana, I. M.** (2012). *Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil NACA 0015 Dari Karakteristik CL dan CD Pada Variasi Sudut Serang 0° Sampai 360°* (Doctoral dissertation, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University).
- Zamri, A., Mura, Y., Asmed, A., & Adril, E.** (2015). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistim Empat Bandul. *Prosiding Semnastek*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Biodata Penulis

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Dary Yumna Joesi	
2	Jenis Kelamin	Laki - laki	
3	Program Studi	Teknik Mesin S – 1	
4	NIM	1911142	
5	Tempat Tanggal lahir	Pasuruan, 13 Maret 2000	
6	Email	daryyumna69@gmail.com	
7	No. tlp/HP	083833633634	

B. Riwayat Pendidikan

	SMA/K/MA	PERGURUAN TINGGI
Nama Institusi	SMK Muhammadiyah 1 Pasuruan	Institut Teknologi Nasional Malang
Program Studi	Teknik Sepeda Motor	Teknik Mesin S – 1
Tahun Masuk-Lulus	2016 - 2019	2019 – 2023

C. Pemakalah Seminar Ilmiah (Oral Persentation)

No.	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	Seminar Hasil	Analisa Sifat Mekanis dan Topografi Pada Komposit Serat Karbon dan Resin <i>Polyester</i>	08.00 WIB 1.2.3
2	Seminar Hasil	Karakteristik Turbin Angin Poros Horizontal Dengan Menggunakan Sudu Type NACA 4418	08.00 WIB 1.2.3
3	Seminar Hasil	Analisa Kekuatan Mekanik Material Komposit Titanium <i>Dioxide</i> dan Serat Daun Nanas Bermatrik Resin <i>Polyester</i> 108	08.00 WIB 1.1.1
4	Seminar Hasil	Analisa Variasi <i>Cold Treatment</i> Pada Pengelasan <i>Shield Metal Arc Welding</i> (SMAW) Terhadap Sifat Mekanis Pada Baja AISI 1050	08.00 WIB 1.1.1
5	Seminar Hasil	Analisa Pengaruh Variasi Penambahan <i>Zinc Oxide</i> (ZnO) dan <i>Alumina</i> (Al ₂ O ₃) Terhadap Kekuatan Mekanik dan Struktur Makro pada Komposit	08.00 WIB 1.1.1

		Resin Epoxy Berpenguat Serat Ampas Tebu	
6	Seminar Hasil	Analisa Karakteristik Remelting Piston dengan Tembaga (Cu) Terhadap Uji Kekerasan, Keausan, dan Struktur Mikro dengan Metode <i>Sand Casting</i>	08.00 WIB 1.1.1

Malang, 31 Juli 2023

Yang Menyatakan

Dary Yumna Joesi
NIM 1911142

Lampiran 2. Surat Bimbingan Skripsi

	PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK
PT. BNI (PERSERO) MALANG BANK NIAGA MALANG	Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145 Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang
Malang, 3 Maret 2023	
Nomor : ITN-82/I.TA/2023	
Lampiran :	
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI	
Kepada : Yth Sdr. Dr. Eko Yohanes Setiawan, ST. MT	
	Dosen Institut Teknologi Nasional di Malang
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Skripsi untuk saudara mahasiswa :	
Nama : DARY YUMNA JOESI	
Nim : 1911142	
Jurusan : Teknik Mesin	
Program studi : Teknik Mesin (S1)	
Maka dengan ini pembimbingan Skripsi tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada saudara selama 6 (enam) bulan terhitung mulai tanggal/bulan :	
3 Maret 2023 s/d 8 Agustus 2023	
Adapun tugas tersebut untuk menempuh Ujian Akhir Program Sarjana S1. Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami ucapkan terima kasih.	
 Ketua Program Studi Teknik Mesin S1 Dr. Komang Astana Widi, ST.MT /s/	
NIP .P 1030400405	
<i>Tembusan Kepada Yth:</i>	
1. Bapak/Ibu Dosen FTI ITN Malang	
2. Mahasiswa yang bersangkutan	
3. Arsip	

Lampiran 3. Data Hasil Pengujian Turbin Darrieus H – Rotor NACA 0015
DATA HASIL PENGUJIAN GELOMBANG AIR TURBIN AIR DARRIEUS
TIPE H – ROTOR NACA 0015

Nama : Dary Yumna Joesi

NIM : 1911142

Kemiringan Sudut Sudu	Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
20°	Senin, 03 Juli 2023	10.54.52	100	100	0.2	58	11.46	29
	Senin, 03 Juli 2023	10.55.52	100	100	0.2	98	19.36	28
	Senin, 03 Juli 2023	10.56.52	100	100	0.2	13	2.56	27
	Senin, 03 Juli 2023	10.57.52	100	100	0.2	41	8.1	27
	Senin, 03 Juli 2023	10.58.52	100	100	0.2	87	17.19	28
	Rata – rata						59,4	11.73

Kemiringan Sudut Sudu	Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
45°	Senin, 03 Juli 2023	11.06.55	100	100	0.2	14	0.79	34
	Senin, 03 Juli 2023	11.07.55	100	100	0.2	75	14.82	35
	Senin, 03 Juli 2023	11.08.55	100	100	0.2	81	18.4	31
	Senin, 03 Juli 2023	11.09.55	100	100	0.2	50	9.88	31
	Senin, 03 Juli 2023	11.10.55	100	100	0.2	80	15.81	31
	Rata - rata						60	11.94

Kemiringan Sudut Sudu	Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
45°	Senin, 03 Juli 2023	10.00.04	100	100	0.2	61	12.05	40
	Senin, 03 Juli 2023	10.01.04	100	100	0.2	26	5.2	40
	Senin, 03 Juli 2023	10.02.04	100	100	0.2	73	14.42	40
	Senin, 03 Juli 2023	10.03.04	100	100	0.2	95	18.77	41
	Senin, 03 Juli 2023	10.04.04	100	100	0.2	52	10.27	40
	Rata - rata						61,4	12,1

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian

	
<p>Proses Pengukuran</p>	<p>Proses Pemotongan</p>
	
<p>Proses Pengeboran</p>	<p>Proses Pengelasan Pondasi Polyurethane</p>
	
<p>Proses Pengelasan Cakar Ayam Polyurethane</p>	<p>Proses Penuangan Polyurethane</p>



Proses 3D Print Turbin Darrieus Tipe H
- Rotor NACA 0015



Proses Menghidupkan Computer



Proses Menghidupkan Control Modul



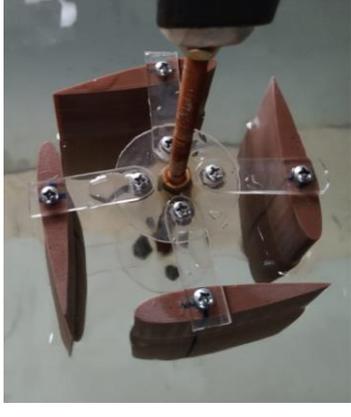
Proses Mengatur Frekuensi Besar
Kecilnya Gelombang Air



Proses Pemasangan Turbin Darrieus
Tipe H – Rotor NACA 0015 beserta
Pulley dan Generator



Proses Mengatur Kemiringan Sudut
Sudu 20°

	
<p>Proses Mengatur Kemiringan Sudut Sudu 45°</p>	<p>Proses Mengatur Kemiringan Sudut Sudu 90°</p>
	
<p>Proses Pengambilan Data</p>	<p>Hasil Kinerja Turbin pada Sudut 20°</p>
	
<p>Hasil Kinerja Turbin pada Sudut 45°</p>	<p>Hasil Kinerja Turbin pada Sudut 90°</p>

Analisis Pengaruh Kinerja Turbin *Darrieus* Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)

Dary Yumna Joesi¹, Eko Yohanes Setyawan²
Program Teknik Mesin S – 1 Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Email: daryyumna69@gmail.com

ABSTRAK

PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut) dengan turbin air Darrieus merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari energi kinetik yang terkandung dalam gelombang laut. Dalam pengembangan PLTGL dengan turbin air Darrieus tipe H – rotor NACA 0015 adalah untuk menciptakan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian memvariasikan kemiringan sudut sudu yang digunakan adalah mulai dari 20°, 45°, 90° dan jumlah 4 sudu terhadap frekuensi gelombang air sebesar 100%, memiliki torsi sebesar 0,66 Nm, Daya Air sebesar 0,00142 HP. Kecepatan Aliran Gelombang Air sebesar 0,0016 m³/s d. Debit Air sebesar 0,01056 m³/s. Hasil dari data pengujian turbin Darrieus tipe H – rotor menggunakan NACA 0015 yang optimal dalam kinerjanya pada kemiringan sudut sudu 90° dengan Daya Turbin sebesar 0,00362(HP), Daya Listrik sebesar 0,0164(HP), Kecepatan Turbin sebesar 4,2(rad/s), dan tingkat Efisiensi sebesar 2,61% dikarenakan pengaruh dari jarak luas penampang antar sudu yang berdekatan sehingga kinerja yang dihasilkan tidak adanya hambatan gerak saat turbin berputar terhadap gelombang air. Kemudian hasil dari data kemiringan sudut sudu 45° dengan Daya Turbin sebesar 0,00291(HP), Daya Listrik sebesar 0,016 (HP), Kecepatan turbin sebesar 3,3(rad/s), dan tingkat Efisiensi sebesar 2%. Sedangkan sebaliknya hasil yang paling rendah dari data kemiringan sudut sudu 20° dengan Daya Turbin sebesar 0,002561(HP), Daya Listrik sebesar 0,0159(HP), Kecepatan turbin sebesar 2,9(rad/s), dan tingkat Efisiensi sebesar 1,8% dikarenakan sebaliknya jarak luas penampang antar sudu yang berjauhan maka kinerja yang dihasilkan memiliki hambatan gerak saat turbin berputar terhadap aliran gelombang air.

Kata Kunci : PLTGL, Turbin Darrieus H – Rotor NACA 0015, Efisiensi

PENDAHULUAN

Pada saat ini, peningkatan kebutuhan akan energi dan peningkatan gas rumah kaca akibat penggunaan bahan bakar fosil, menyebabkan penggunaan sumber energi terbarukan memiliki potensi yang lebih besar dari sebelumnya. Salah satu sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan sepenuhnya adalah energi gelombang laut.

Energi gelombang laut pada dasarnya berasal dari angin, yang awalnya juga berasal dari energi matahari. Pada saat angin berhembus diatas permukaan lautan, gesekan menimbulkan gerakan air dan menghasilkan gelombang. Kebutuhan energi bagi kehidupan manusia adalah hal yang sangat penting.

PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut) dengan turbin air Darrieus merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari energi kinetik yang terkandung dalam gelombang laut. Turbin air Darrieus sendiri merupakan turbin air vertikal yang terdiri dari beberapa sudu atau daun yang disusun membentuk busur. Pada penelitian ini teknologi tersebut dianggap sebagai alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dunia yang terus meningkat secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Maka penulis akan membangun prototype perancangan gelombang air dengan menggunakan turbin vertikal jenis Darrieus rotor, variasi jumlah sudu, dan tingkat efisiensi yang akan digunakan untuk pengembangan, sehingga penelitian dapat mengetahui dalam peningkatan performa pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian yaitu di Laboratorium Energi Alternatif berlokasi Institut Teknologi Nasional Malang Kampus 2, setelah itu tinggal dikonversikan hasil penelitian dalam skala asli gelombang air laut.

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas adalah variasi kemiringan sudut sudu 20° , 45° , 90° .
- Variabel Terikat
 - a. Torsi sebesar 0,66 Nm
 - b. Daya Air sebesar 0,00142 HP
 - c. Kecepatan Aliran Gelombang Air sebesar $0,0016 \text{ m}^3/\text{s}$
 - d. Debit Air sebesar $633,6 \text{ l/menit} = 0,01056 \text{ m}^3/\text{s}$
- Variabel Tetap
 - a. Ukuran akuarium gelombang air $240 \times 55 \text{ cm}$.
 - b. Mesin hidrolis pembuat gelombang dengan frekuensi gelombang air Amp. 100(%), dengan kecepatan 100(%).
 - c. Tinggi Air 30cm

Metode penelitian ini menggunakan analisis dengan mengumpulkan berbagai referensi yang berkaitan dengan turbin air maupun angin. Kemudian membuat skema desain prototype akuarium gelombang air dengan turbin Darrieus tipe H – Rotor menggunakan NACA 0015. Dimensi akuarium gelombang air dengan panjang 240cm, lebar 55cm, dan tinggi air yang dibutuhkan 30cm. Sedangkan dimensi turbin dengan panjang sudu 10cm, lebar sudu 13cm, dan tebal sudu 1.3cm. Diperoleh dari perhitungan sebagai berikut :

a. Torsi

$$T = F \times r \quad (1)$$

Dimana : T adalah torsi (Nm), F adalah Gaya beban sebesar 0,112kg (N), r adalah jari – jari pulley sebesar 0.6 (m)

b. Daya Turbin

$$P_t = T \times \omega \quad (2)$$

Dimana : P_t adalah daya turbin (w), ω adalah putaran poros turbin (RPM), T adalah torsi poros yang diperoleh dari beban pemberat (Nm)

c. Daya Listrik

$$P = V \times I \quad (3)$$

Dimana : P adalah daya listrik (watt), V adalah tegangan (v), I adalah arus (a)

d. Kecepatan Aliran Gelombang Air

$$V = s/t \quad (4)$$

Dimana: V adalah kecepatan aliran gelombang air, s adalah jarak air (m), t adalah waktu (s)

e. Debit Air

$$Q = v \times A \quad (5)$$

Dimana : Q adalah debit air (m^3/s), V adalah kecepatan gelombang air (m/s), A adalah luas penampang aliran gelombang air (m^2)

f. Daya Air

$$P_a = \rho \times g \times Q \times H \quad (6)$$

Dimana : ρ adalah massa jenis air laut sebesar $1.027 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$, g adalah gravitasi sebesar $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$, Q adalah debit air = $633,6 \text{ (m}^3/\text{s)}$, H adalah tinggi gelombang sebesar 100% dikonversi menjadi 1 cm

g. Kecepatan Putar Turbin

$$n = \frac{60v}{\pi d} \text{ (rpm)} \quad (7)$$

Dimana : v adalah kecepatan gelombang air mengalir (m/s), d adalah diameter turbin (m)

h. Efisiensi

$$n_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana : n_t adalah efisiensi turbin (%), P_t adalah daya turbin, P_a adalah daya air (gelombang)

Prosedur Pengujian

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Menghidupkan computer.

3. Menghidupkan motor hidrolis pneumatic, pompa air pada control modul.
4. Pemasangan turbin Darrieus NACA 0015, pulley, beserta generator.
5. Mengatur masing – masing kemiringan sudut sudu dari 20°, 45°, 90°.
6. Mengatur besar kecilnya frekuensi gelombang air hingga 100%, dan kecepatan motor hidrolis pneumatic hingga 100%.
7. Pengambilan data dalam waktu pengujian 5 kali dalam 1 menit kemudian klik record dengan mengamati daya, arus, dan RPM yang dihasilkan pada monitor komputer yang ditampilkan saat pengujian.
8. Setelah proses pengujian dan pengambilan data sudah dilakukan, maka disave terlebih dahulu agar data pengujian tidak hilang, kemudian reset control modul dan monitor komputer kembali ke keadaan normal saat pertama pengoperasian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil yang didapatkan dengan jumlah sudu yaitu 4 dan variasi kemiringan sudut sudu yang berbeda diantaranya : 20°, 45°, dan 90° dengan material sudu dari PLA+ dari 3D print dengan bentuk sudu NACA 0015. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan pengambilan data 5 kali setiap 1 menit seperti pada tabel berikut : Data hasil pengujian turbin Darrieus tipe H – Rotor menggunakan NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 20°.

Table 1. Data Hasil Pengujian Pada Kemiringan Sudu Sudu 20°

Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
Senin, 03 Juli 2023	10.54.52	100	100	0.2	58	11.46	29
Senin, 03 Juli 2023	10.55.52	100	100	0.2	98	19.36	28
Senin, 03 Juli 2023	10.56.52	100	100	0.2	13	2.56	27
Senin, 03 Juli 2023	10.57.52	100	100	0.2	41	8.1	27
Senin, 03 Juli 2023	10.58.52	100	100	0.2	87	17.19	28
Rata – rata					59.4	11.73	27.8

A. Torsi

Perhitungan torsi menggunakan 4 sudu NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 20° serta beban 0,112 kg
Maka :

$$F = 0,112 \text{ kg} \times 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$= 1,0976 \text{ (N)}$$

Diketahui

$$F = 1,0976$$

$$r = 6\text{cm} = 0,6\text{m}$$

sehingga :

$$T = F \times r$$

$$T = 1,0976 \times 0,6 = 0,66 \text{ Nm}$$

B. Perhitungan Kecepatan Turbin

Diketahui

$$\pi = 3,14$$

$$n = 27,8 \text{ (rpm)}$$

Maka :

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

$$= 2 \times 3,14 \times 27,8/60$$

$$= 2,9 \text{ rad/s}$$

C. Perhitungan Daya Turbin

Diketahui

$$T = 0,66 \text{ (Nm)}$$

$$\omega = 2,9 \text{ (rpm)}$$

Maka :

$$Pt = T \times \omega$$

$$= 0,66 \times 2,9$$

$$= 1,91 \text{ watt} = 0,002561 \text{ (HP)}$$

D. Perhitungan Kecepatan Aliran

Diketahui

$$s = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$

$$t = 60 \text{ (detik)}$$

Maka :

$$v = s/t$$

$$= 0,1/60$$

$$= 0,0016 \text{ m/s}$$

E. Perhitungan Debit Air

Diketahui

$$V = 0,0016$$

$$A = 13,750 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Maka :

$$Q = V \times A$$

$$= 0,0016 \times 13,750$$

$$= 22 \text{ l/menit} = 0,036 \text{ m}^3/\text{s}$$

F. Perhitungan Daya Air

Diketahui

$$\rho = 1,027 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$g = 9,81$$

$$Q = 0,036$$

$$H = 1\text{cm}$$

Maka :

$$P_a = \rho \times g \times Q \times H$$

$$= 1,027 \times 9,81 \times 0,036 \times 1$$

$$= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)}$$

G. Perhitungan Daya Listrik

Diketahui

$$V = 0,2$$

$$I = 59,4 \text{ (mA)}$$

Perhitungan daya listrik menggunakan 4 sudu dengan kemiringan sudut sudu 20° dari rata – rata kuat arus (mA),

maka :

$$P_e = V \times I$$

$$= 0,2 \times 59,4$$

$$= 11,88 \text{ watt} = 0,0159 \text{ (HP)}$$

H. Efisiensi

Diketahui

P_t = daya turbin

$$= 1,91 \text{ (watt)} = 0,002561 \text{ (HP)}$$

P_a = daya air

$$= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)}$$

Maka :

$$n_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$

$$n_t = \frac{0,002561}{0,0048} \times 100\%$$

$$= 5,3 \%$$

Data hasil pengujian turbin Darrieus tipe H – Rotor menggunakan NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 45°.

Table 2. Data Hasil Pengujian Pada Kemiringan Sudu Sudu 45°

Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
Senin, 03 Juli 2023	11.06.55	100	100	0.2	14	0.79	34
Senin, 03 Juli 2023	11.07.55	100	100	0.2	75	14.82	35
Senin, 03 Juli 2023	11.08.55	100	100	0.2	81	18.4	31
Senin, 03 Juli 2023	11.09.55	100	100	0.2	50	9.88	31
Senin, 03 Juli 2023	11.10.55	100	100	0.2	80	15.81	31
Rata - rata					60	11.94	32.4

A. Torsi

Perhitungan torsi menggunakan 4 sudu NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 45° serta beban 0,112 kg

Maka :

$$F = 0,112 \text{ kg} \times 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$= 1,0976 \text{ (N)}$$

Diketahui

$$F = 1,0976$$

$$r = 6\text{cm} = 0,6\text{m}$$

sehingga :

$$T = F \times r$$

$$T = 1,0976 \times 0,6 = 0,66 \text{ Nm}$$

B. Perhitungan Kecepatan Turbin

Diketahui

$$\pi = 3,14$$

$$n = 32,4 \text{ (rpm)}$$

Maka :

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

$$= 2 \times 3,14 \times 32,4/60 = 3,3 \text{ rad/s}$$

C. Perhitungan Daya Turbin

Diketahui

$$T = 0,66 \text{ (Nm)}$$

$$\omega = 3,3 \text{ (rpm)}$$

Maka :

$$P_t = T \times \omega$$

$$= 0,66 \times 3,3$$

$$= 2,17 \text{ watt} = 0,00291 \text{ (HP)}$$

D. Perhitungan Kecepatan Aliran

Diketahui

$$s = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$

$$t = 60 \text{ (detik)}$$

Maka :

$$v = s/t$$

$$= 0,1/60$$

$$= 0,0016 \text{ m/s}$$

E. Perhitungan Debit Air

Diketahui

$$V = 0,0016 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$A = 396000 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Maka :

$$Q = V \times A$$

$$= 0,0016 \times 396000$$

$$= 22 \text{ l/menit} = 0,036 \text{ m}^3\text{/s}$$

F. Perhitungan Daya Air

Diketahui

$$\rho = 1,027 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$g = 9,81$$

$$Q = 0,036$$

$$H = 1\text{cm}$$

Maka :

$$P_a = \rho \times g \times Q \times H$$

$$= 1,027 \times 9,81 \times 0,036 \times 1$$

$$= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)}$$

G. Perhitungan Daya Listrik

Diketahui

$$V = 0,2 \text{ (v)}$$

$$I = 60 \text{ (mA)}$$

$$P_e = V \times I$$

$$= 0,2 \times 60$$

$$= 12 \text{ watt} = 0,016 \text{ (HP)}$$

H. Efisiensi

Diketahui

P_t = daya turbin

$$= 2,17 \text{ (watt)} = 0,00291 \text{ (HP)}$$

P_a = daya air

$$= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)}$$

Maka :

$$n_t = \frac{p_t}{p_a} \times 100\%$$

$$n_t = \frac{0,00291}{0,0048} \times 100\%$$

$$= 6 \%$$

Data hasil pengujian turbin Darrieus tipe H – Rotor menggunakan NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 90°.

Table 3. Data Hasil Pengujian Pada Kemiringan Sudut Sudu 90°

Tanggal	Jam	Motor Amp(%)	Motor Speed(%)	Tegangan (v)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM
Senin, 03 Juli 2023	10.00.04	100	100	0.2	61	12.05	40
Senin, 03 Juli 2023	10.01.04	100	100	0.2	26	5.2	40
Senin, 03 Juli 2023	10.02.04	100	100	0.2	73	14.42	40
Senin, 03 Juli 2023	10.03.04	100	100	0.2	95	18.77	41
Senin, 03 Juli 2023	10.04.04	100	100	0.2	52	10.27	40
Rata - rata					61,4	12,1	40,2

A. Torsi

Perhitungan torsi menggunakan 4 sudu NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 90° serta beban 0,112 kg

Maka :

$$F = 0,112 \text{ kg} \times 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$= 1,0976 \text{ (N)}$$

Diketahui

$$F = 1,0976$$

$$r = 6\text{cm} = 0,6\text{m}$$

sehingga :

$$T = F \times r$$

$$T = 1,0976 \times 0,6 = 0,66 \text{ Nm}$$

B. Perhitungan Kecepatan Turbin

Diketahui

$$\pi = 3,14$$

$$n = 40,2 \text{ (rpm)}$$

Maka :

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

$$= 2 \times 3,14 \times 40,2/60$$

$$= 4,2 \text{ rad/s}$$

C. Perhitungan Daya Turbin

Diketahui

$$T = 0,66 \text{ (Nm)}$$

$$\omega = 4,2 \text{ (rpm)}$$

Maka :

$$P_t = T \times \omega$$

$$= 0,66 \times 4,2$$

$$= 2,77 \text{ watt} = 0,00362 \text{ (HP)}$$

I. Perhitungan Kecepatan Aliran

Diketahui

$$s = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$

$$t = 60 \text{ (detik)}$$

Maka :

$$v = s/t$$

$$= 0,1/60$$

$$= 0,0016 \text{ m/s}$$

J. Perhitungan Debit Air

Diketahui

$$V = 0,0016 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$A = 396000 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Maka :

$$Q = V \times A$$

$$= 0,0016 \times 396000$$

$$= 22 \text{ l/menit} = 0,036 \text{ m}^3\text{/s}$$

K. Perhitungan Daya Air

Diketahui

$$\rho = 1,027 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$g = 9,81$$

$$Q = 0,036$$

$$H = 1\text{cm}$$

Maka :

$$P_a = \rho \times g \times Q \times H$$

$$= 1,027 \times 9,81 \times 0,036 \times 1$$

$$= 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)}$$

L. Perhitungan Daya Listrik

Diketahui

$$V = 0,2 \text{ (v)}$$

$$I = 60 \text{ (mA)}$$

$$P_e = V \times I$$

$$= 0,2 \times 60$$

$$= 12 \text{ watt} = 0,016 \text{ (HP)}$$

M. Efisiensi

Diketahui

$$P_t = \text{daya turbin}$$

$$= 2,77 \text{ (watt)} = 0,00362 \text{ (HP)}$$

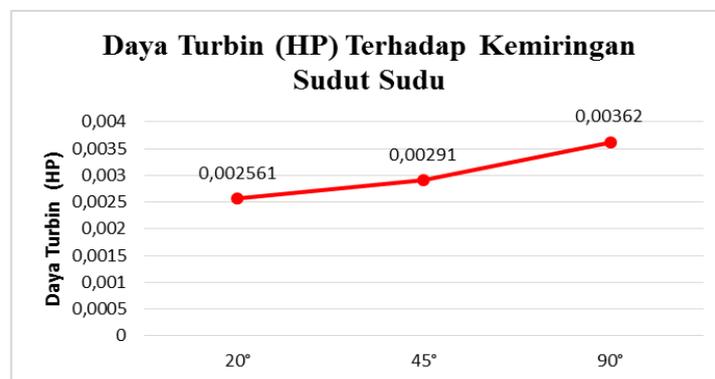
$$P_a = \text{daya air} \\ = 0,36 \text{ watt} = 0,0048 \text{ (HP)}$$

Maka :

$$n_t = \frac{p_t}{p_a} \times 100\%$$

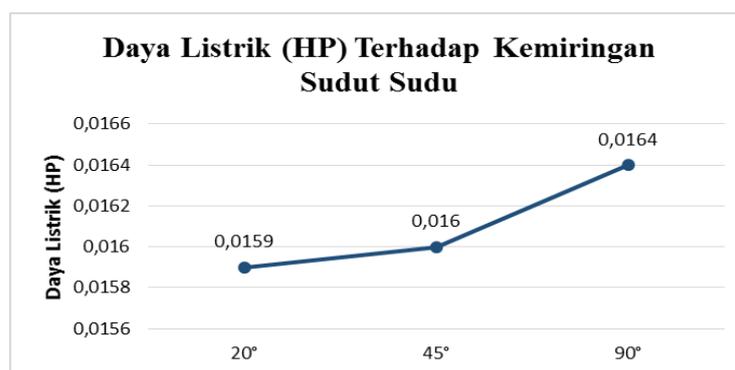
$$n_t = \frac{0,00362}{0,0048} \times 100\% = 7,69\%$$

Pada tabel diatas bahwa karakteristik dari kemiringan sudut sudu yang digunakan dapat mempengaruhi kecepatan putaran turbin. Turbin yang menggunakan jumlah sudu 4 NACA 0015 dengan kemiringan sudut sudu 20°, 45°, 90° masing – masing memiliki rata – rata arus mA, serta daya rata – rata mW, dan rata – rata RPM. Saat pengujian dilakukan 5 kali pengujian dalam waktu 1 menit. Untuk mengetahui data tersebut alat yang digunakan adalah monitor komputer yang terhubung dalam kontrol modul seperti RPM sebagai mengukur kecepatan putaran per menit pada turbin, P sebagai mengukur power atau daya yang dihasilkan (mW), I sebagai mengukur kuat arus (ampere) yang dihasilkan (mA), v sebagai mengukur tegangan (voltage) dari generator yang dihasilkan pada putaran turbin, dengan besarnya motor gelombang air dan motor kecepatan naik turunnya hidrolis yang konstan masing – masing sebesar 100%. Yang mana dari nilai masing – masing ditampilkan ke dalam LCD kontrol modul kemudian terhubung ke monitor komputer.



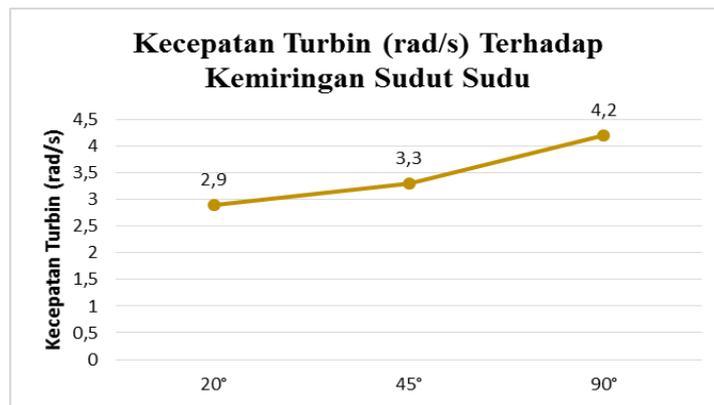
Grafik 1. Pengaruh Daya Turbin Terhadap Kemiringan Sudu Sudu

Dari grafik diatas dapat dikatakan pengaruh dari daya turbin dengan variasi kemiringan sudut sudu yang digunakan yaitu 20° memiliki nilai yang paling kecil sebesar 0,002561(HP), untuk sudut sudu 45° memiliki nilai yang lebih besar sebesar 0,00291(HP), dan sudut sudu 90° memiliki nilai paling besar sebesar 0,00362(HP).



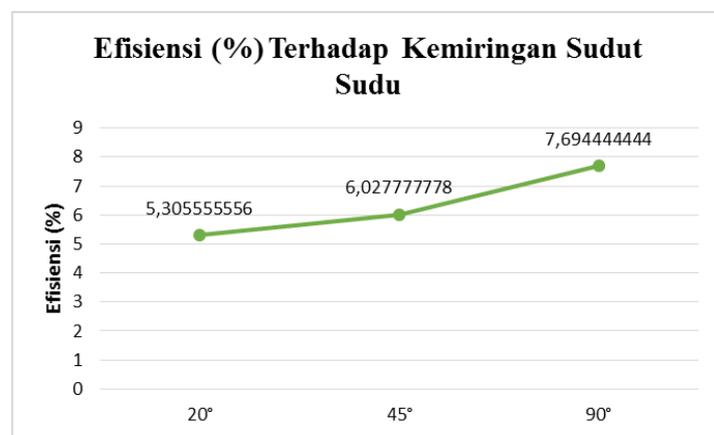
Grafik 2. Pengaruh Daya Listrik Terhadap Kemiringan Sudu Sudu

Dari grafik diatas dapat dikatakan pengaruh dari daya listrik dengan variasi kemiringan sudut sudu yang digunakan yaitu 20° memiliki nilai yang paling kecil sebesar 0,0159(HP), untuk sudut sudu 45° memiliki nilai yang lebih besar sebesar 0,016(HP), dan sudut sudu 90° memiliki nilai paling besar sebesar 0,0164(HP).



Grafik 3. Pengaruh Kecepatan Turbin Terhadap Kemiringan Sudut Sudu

Pada grafik diatas bahwa pengaruh dari variasi kemiringan sudut sudu terhadap kecepatan turbin dengan sudut sudu 20° sebesar 2,9 rad/s, untuk sudut sudu 45° sebesar 3,3, dan sudut sudu 90° sebesar 4,2 rad/s. Pada grafik sudut sudu 90° mengalami peningkatan yang signifikan dikarenakan dari data yang diperoleh tersebut.



Grafik 4. Pengaruh Efisiensi Terhadap Kemiringan Sudut Sudu

Dari grafik diatas bahwa pengaruh variasi kemiringan sudut sudu dapat mempengaruhi tingkat efisiensi yang dihasilkan pada sudut sudu 20° sebesar 5,3%, untuk sudut sudu 45° sebesar 6%, dan sudut sudu 90° sebesar 7,69%. Untuk kemiringan sudut sudu yang paling besar adalah 90° dikarenakan mengalami peningkatan efisiensi dari data yang diperoleh.

KESIMPULAN

1. Hasil dari data pengujian turbin Darrieus tipe H – rotor menggunakan NACA 0015 yang paling optimal dalam kinerjanya pada kemiringan sudut sudu 90° memiliki Daya Turbin sebesar 0,00362(HP), dan Daya Listrik (mW) sebesar 0,0164(HP), untuk kemiringan sudut sudu 45° memiliki Daya Turbin sebesar 0,00291(HP), dan Daya Listrik (mW) sebesar 0,016(HP), sedangkan untuk kemiringan sudut sudu 20° memiliki Daya Turbin sebesar 0,002561(HP), dan Daya Listrik (mW) sebesar 0,0159(HP).
2. Arus yang dihasilkan paling optimal dalam kinerjanya pada kemiringan sudut sudu 90° memiliki Arus (mA) sebesar 61.4, untuk kemiringan sudut sudu 45° memiliki Arus (mA) sebesar 60, sedangkan untuk kemiringan sudut sudu 20° memiliki Arus (mA) sebesar 59.4.
3. Perbedaan kecepatan turbin yang optimal dalam kinerjanya pada kemiringan sudut sudu 90° dengan kecepatan turbin (RPM) sebesar 4,2(rad/s), untuk kemiringan sudut sudu 45° memiliki kecepatan turbin (RPM) sebesar 3,3(rad/s), sedangkan untuk kemiringan sudut sudu 20° memiliki kecepatan turbin (RPM) sebesar 2,9(rad/s).
4. Optimalisasi nilai kinerja turbin tersebut memiliki tingkat efisiensi yang paling besar sebesar 7,69% pada kemiringan sudut sudu 90°, dikarenakan luas penampang antar jarak sudu yang berdekatan sehingga kinerja yang dihasilkan tidak adanya hambatan gerak saat turbin berputar terhadap aliran gelombang air. Untuk tingkat efisiensi lebih rendah sebesar 6% juga sama masih tetapi sedikit saat menerima hambatan gerak saat turbin berputar pada kemiringan sudut sudu 45°, sedangkan paling rendah sebesar 5,3% pada kemiringan sudut sudu 20°, dikarenakan

jika sebaliknya jarak luas penampang antar sudu yang berjauhan maka kinerja yang dihasilkan memiliki hambatan gerak saat turbin berputar terhadap aliran gelombang air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Daryanto dkk, 2018.** Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL).
- [2] **Emilia Putri Octauria, 2021.** Pengaruh Sudut Omni Directional Guide Vanes Terhadap Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus.
- [3] **Energi, Kementerian.** "Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral." Retrieved from Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi: <https://ebtke.esdm.go.id> (2021).
- [4] **Hoerner, Stefan. et al.** "Characteristics of the fluid–structure interaction within Darrieus water turbines with highly flexible blades." *Journal of Fluids and Structures* 88 (2019): 13-30.
- [5] **Iqswanda P. A., 2020.** Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex.
- [6] **Loupattv, G. (2013).** Characteristic of wave energy and current velocity of coastal area at Maluku Province. *Jurnal Barekeng*, 7(1), 19-22.
- [7] **M. Abdul Kadir, 2019.** Pengaruh Sudut Kemiringan Dan Lebar Sudu Terhadap Kinerja Turbin Darrieus Dengan Profil NACA 0021.
- [8] **Mahmud, Svahir, Limbran Sampebatu, and Suendy Ciavadi Kwang.** "Mechanical power efficiency of modified turbine blades." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1801. No. 1. AIP Publishing, 2017.
- [9] **Mohamed, M. H., A. M. Ali, and A. A. Hafiz.** "CFD analysis for H-rotor Darrieus turbine as a low speed wind energy converter." *Engineering Science and Technology, an International Journal* 18.1 (2015): 1-13.
- [10] **Patel, Mr Bhavesh, and Vishal Kevat.** "Performance prediction of straight bladed Darrieus wind turbine by single streamtube model." *International Journal of Advanced Engineering Technology* 14 (2013): 2.
- [11] **Rouway, Marwane, et al.** "3D printing: Rapid manufacturing of a new small-scale tidal turbine blade." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 115.1-2 (2021): 61-76.
- [12] **Sahim, Kaprawi, Dvos Santoso, and Dewi Puspitasari.** "Investigations on the effect of radius rotor in combined Darrieus-Savonius wind turbine." *International Journal of Rotating Machinery* 2018 (2018): 1-7.
- [13] **Setvawan, Eko Yohanes, et al.** "Simulation model of vertical water wheel performance flow." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 725. No. 1. IOP Publishing, 2020.
- [14] **Siddiqui, Ali Shan, et al.** "Experimental study to assess the performance of combined Savonius Darrieus vertical axis wind turbine at different arrangements." *2018 IEEE 21st International Multi-Topic Conference (INMIC)*. IEEE, 2018.
- [15] **Stefan Hoerner, 2019.** Characteristics of the Fluid-Structure Interaction within Darrieus Water Turbines with Highly Flexible.
- [16] **Wiiava, R. K., & Kurniawan, I. (2021).** Study Experimental Darrieus Type-H Water Turbines Using NACA 2415 Standard Hydrofoil Blade. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(2), 109-123.
- [17] **Yulianto, R. (2020).** Analysis Of The Effect Of Variation On Number Of Blades And Angles Of Attack On The Performance Of The Darrieus Water Turbine. *Sainteknologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 18(2), 68-78.