

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN KOMBINASI
SUMBU VERTIKAL GABUNGAN SAVONIUS-DARREIEUS
DENGAN POROS KEMBAR**



RUPINDER SINGH PARMAR

03051381621097

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2020

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN KOMBINASI
SUMBU VERTIKAL GABUNGAN SAVONIUS-DARREIEUS
DENGAN POROS KEMBAR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH
RUPINDER SINGH PARMAR
03051381621097**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN KOMBINASI SUMBU VERTIKAL GABUNGAN SAVONIUS-DARRIEUS DENGAN POROS KEMBAR

SKRIPSI


Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

RUPINDER SINGH PARMAR
03051381621097

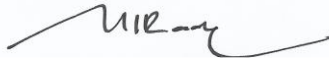
Palembang, 19 Nopember 2020

Mengetahui,
Pembimbing 1

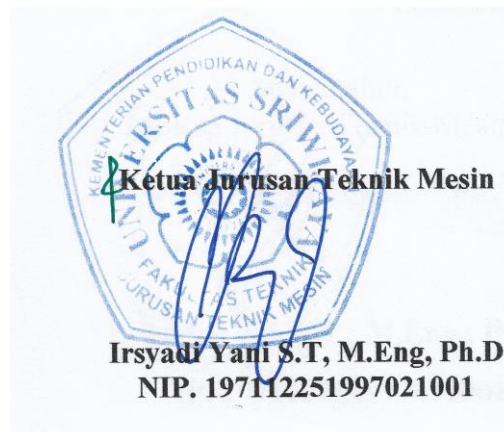


Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001

Pembimbing 2



M. Ihsan Riady, S.T., M.T
NIP. 1671051310870001



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

SKRIPSI

**NAMA : Rupinder Singh Parmar
NIM : 03051381621097
JUDUL : STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN
KOMBINASI SUMBU VERTIKAL GABUNGAN
SAVONIUS-DARRIEUS DENGAN POROS KEMBAR
DIBERIKAN : OKTOBER 2019
SELESAI : NOPEMBER 2020**

Palembang, 19 November 2020

Mengetahui,



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “**Studi Eksperimental Turbin Angin Kombinasi Sumbu Vertikal Gabungan Savonius-Darrieus Dengan Poros Kembar**” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Nopember 2020.

Palembang, 23 Desember 2020

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua:


1. **Ir. Zahri Kadir, M.T**
NIP.195908231989031001



(.....)

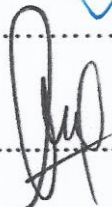
Anggota:

2. **Ir. Joni Yanto, M.T**
NIP.19570522198703100



(.....)


3. **Dr.Dendi Adanta, S.Pd, M.T**
NIP.199306052019031016



(.....)


Mengetahui

Pembimbing I



Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001

Pembimbing II



M. Ihsan Riady, S.T., M.T
NIP. 1671051310870001



Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyad Yani S.T, M.Eng, Ph.D
NIP. 197112251997021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rupinder Singh Parmar

NIM : 03051381621097

Judul : Studi Eksperimental Turbin Angin Kombinasi Sumbu Vertikal Gabungan Savonius-Darrieus dengan Poros Kembar

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 19 November 2020



Rupinder Singh Parmar

NIM. 03051381621097

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

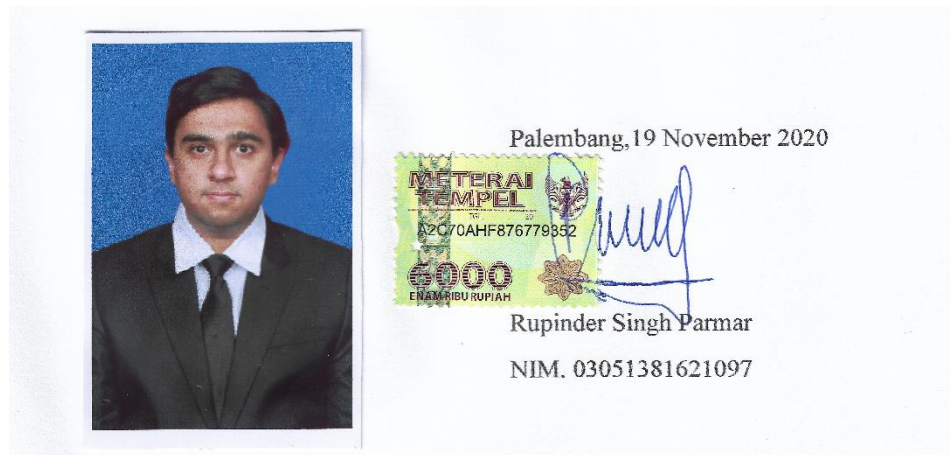
Nama : Rupinder Singh Parmar

NIM : 03051381621097

Judul : Studi Eksperimental Turbin Angin Kombinasi Sumbu Vertikal Gabungan Savonius-Darrieus dengan Poros Kembar

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, karunia, serta kasih sayang-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Studi Eksperimental Turbin Angin Kombinasi Sumbu Vertikal Gabungan Darrieus-Savonius Dengan Poros Kembar”** pada waktu yang tepat.

Adapun maksud dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat mutlak untuk mengikuti sidang akhir di Program Teknik Mesin Sarjana-1 pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

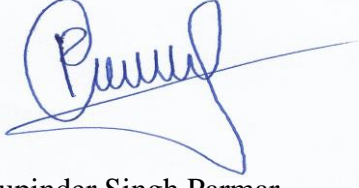
Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penulis banyak sekali mendapatkan masukan-masukan, referensi-referensi, motivasi serta dorongan dari berbagai pihak demi tercapainya proses penyusunan skripsi ini. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Yth. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.T, PhD., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya,
2. Yth. Bapak Amir Arifin, S.T., M.T, PhD. , selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Yth. Bapak Ir. Dyos Santoso, M.T, selaku Dosen Pembimbing I
4. Yth. Bapak Muhammad Ihsan Riady, S,T, M.T, selaku Dosen Pembimbing II, serta sebagai Dosen Pembimbing Akademik. Yth
5. Orang tua penulis, Bapak Gurinder Singh dan Ibu Arunjit Kour yang telah berjuang dengan sepenuh hati membesarkan, mendidik dengan penuh kasih sayang, mendoakan, dan menyemangati dalam segala hal.
6. Kakak-kakak Staff Administrasi Jurusan Teknik Mesin, terimakasih untuk bantuannya selama proses pengurusan berkas administrasi
7. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2011-2017 yang telah membantu dalam proses pembuatan skripsi.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dikarenakan terdapat banyak sekali kekurangan maupun kesalahan. Oleh karena itu penulis berharap saran-saran serta kritikan yang dapat membangun dalam penyusunan skripsi ini. Penulis juga berharap dengan diterbitkannya skripsi ini dapat menambah referensi-referensi untuk kemudian harinya.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas rahmat dan berkat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya serta semua pihak-pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini pada waktu yang tepat.

Palembang, 19 November 2020



Rupinder Singh Parmar

03051381621097

RINGKASAN

STUDI ESKPERIMENTAL TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL GABUNGAN DARRIEUS-SAVONIUS DENGAN POROS KEMBAR

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 11 November 2020

Rupinder Singh Parmar; Dibimbing oleh Ir. Dyos Santoso, M.T dan

M. Ihsan Riady, S.T, M.T

Eskperimental Study Of Savonius-Darreiuss Vertical Wind Turbine With Dual Shaft

xxv + 58 halaman, 25 tabel, 23 gambar, 2 lampiran

RINGKASAN

Indonesia merupakan negara dengan penduduk nomor empat (4) terbanyak di dunia. Akibat dari hal tersebut adalah semakin banyaknya energi yang diperlukan untuk melakukan aktifitas sehari-hari. Berdasarkan data yang dikeluarkan Kementerian ESDM pada tahun 2018 tahun 2018 sebesar 114, MTOE. Pada tahun 2018, konsumsi energi didominasi oleh energi fosil, dimana digunakan untuk transportasi sebesar 40%, kemudian industri sebesar 36%, rumah tangga sebesar 16%, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2%. Energi fosil merupakan energi yang lama untuk didaur ulang, dan hasil pembakaran dari fosil merupakan gas yang berbahaya yaitu; karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), dan timah hitam (Pb). Berdasarkan data *World Health Organization* (WHO), Indonesia di kategorikan *Interim Target 3* dengan *annual mean PM_{2.5} concentration* sebesar 15 µg/, sedangkan menurut standar *annual mean PM_{2.5} concentration* sebesar 10 µg/m³. Sehingga dibutuhkan alternatif yang tepat untuk memenuhi pasokan energi masa depan adalah energi yang ramah lingkungan yaitu energi baru terbarukan (EBT) Salah satu jenis EBT adalah angin. Angin bergerak akibat adanya perbedaan tekanan yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur, dimana angin bergerak dari daerah tekanan (temperatur) tinggi ke daerah tekanan (temperatur) rendah. Karena energi angin merupakan jenis energi kinetik, maka dibutuhkan suatu alat yang dapat mengubah energi kinetik tersebut menjadi energi mekanik. Alat tersebut adalah turbin. Turbin angin berdasarkan letak poros suatu turbin angin, maka turbin angin terklasifikasi menjadi dua; Turbin Angin Sumbu Vertikal dan Turbin Angin Sumbu Horizontal. Turbin Savonius dan Darrieus yang digunakan dalam penelitian ini

merupakan jenis turbin angin sumbu vertikal. Pada penelitian ini, penulis memanfaatkan kombinasi dari turbin Savonius dan turbin Darrieus. Pada dasarnya penelitian kombinasi turbin angin sumbu vertikal memanfaatkan daya yang dihasilkan oleh turbin savonius sebagai *starter*, setelah itu daya yang dihasilkan oleh turbin savonius diabaikan karena di gabungkan dengan daya yang dihasilkan oleh turbin Darrieus. Akan tetapi, dipenelitian penulis kali ini, penulis menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius dan turbin angin Darrieus secara terpisah dengan menggunakan poros kembar beserta *One Way Bearing (OWB)*. Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil pengujian, Turbin Savonius-Darrieus dengan poros tunggal atau *combined Savonius-Darrieus with single shaft(CSD-Ss)* menghasilkan daya yang lebih rendah, dikarenakan daya yang dihasilkan digunakan untuk mempercepat turbin Savonius sesaat setelah *self-starting*. Pada saat kecepatan angin 2,95 m/s daya yang dibangkitkan adalah sebesar 0,315W, pada saat kecepatan angin 3,71 m/s menghasilkan daya sebesar 0,656 W, dan pada kecepatan angin 4,38 m/s menghasilkan daya sebesar 1,167 W. Pada saat kombinasi Savonius-Darrieus dengan poros kembar atau *combine Savonius-Darrieus with Dual Shaft (CSD-Ds)* menghasilkan penambahan daya dikarenakan daya yang dibangkitkan oleh turbin Savonius juga dimanfaatkan, dan daya Darrieus dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Pada saat kecepatan angin 2,95 m/s daya yang dibangkitkan sebesar 0,419W, pada saat kecepatan angin 3,71 m/s, daya yang dibangkitkan sebesar 1,130 W, dan pada saat kecepatan angin 4,38 m/s daya yang dibangkitkan sebesar 1,604 W. Kenaikan daya pada kecepatan angin 2,95 m/s adalah 32.348 %, pada kecepatan angin 3,71 m/s sebesar 29.358 % dan pada 4,38 m/s sebesar 38.392 %.

Kata Kunci : Turbin Angin, Kombinasi, Turbin Darrieus, Turbin Savonius, dan One Way Bearing.

SUMMARY

ESKPERIMENTAL STUDY OF DARRIEUS-SAVONIUS VERTICAL WIND TURBINE WITH DUAL SHAFT

Scientific papers in the form of Thesis, Novemberr XIst, 2020

Rupinder Singh Pamar; Supervised by Ir. Dyos Santoso, M.T and

M. Ihsan Riady, S.T, M.T

Studi Eskperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal Gabungan Savonius-Darrieus Dengan Poros Kembar

xxv + 58 pages, 25 tables, 23 pictures, 2 attachments.

SUMMARY

Indonesia is a country with the fourth (4) largest population in the world. The result of this is the more energy needed to carry out daily activities. Based on data released by the Ministry of Energy and Mineral Resources in 2018 2018 amounting to 114, MTOE. In 2018, energy consumption was dominated by fossil energy, which was used for transportation by 40%, then industry by 36%, households by 16%, commercial and other sectors, respectively 6% and 2%. Fossil energy is energy that takes a long time to be recycled, and the combustion products of fossil are dangerous gases, namely; carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO₂), hydrocarbons (HC), carbon dioxide (CO₂), and lead (Pb). Based on data from the World Health Organization (WHO), Indonesia is categorized as Interim Target 3 with an annual mean PM_{2.5} concentration of 15 µg /, while according to standards, the annual mean PM_{2.5} concentration is 10 µg / m³. So that the right alternative is needed to meet the future energy supply is environmentally friendly energy, namely renewable energy (EBT). One type of EBT is wind. Wind moves due to pressure differences caused by regulated differences, where the wind moves from an area of high pressure (temperature) to an area of low pressure (temperature). Because wind energy is a type of kinetic energy, a device that can convert this kinetic energy into mechanical energy is needed. The tool is a turbine. Wind turbines based on the location of the axis of a wind turbine, wind turbines are classified into two; Vertical Axis Wind Turbine and Horizontal Axis Wind Turbine. The Savonius and Darrieus turbines used in this study are a type of vertical axis

wind turbine. In this study, the authors utilized a combination of the Savonius turbine and the Darrieus turbine. Basically, the research on the combination of vertical axis wind turbines utilizes the power generated by the Savonius turbine as a starter, after which the power generated by the Savonius turbine is ignored because it is combined with the power generated by the Darrieus turbine. However, in the author's research this time, the authors calculated the power generated by the Savonius wind turbine and the Darrieus wind turbine separately using twin shafts and One Way Bearing (OWB). Based on the data obtained from the test results, the Savonius-Darrieus turbine with a single shaft or combined Savonius-Darrieus with a single shaft (CSD-Ss) produces lower power, because the power generated is used to accelerate the Savonius turbine immediately after self-starting. When the wind speed is 2.95 m / s, the power generated is 0.315W, when the wind speed is 3.71 m / s it produces 0.656 W of power, and at 4.38 m / s wind speed it produces 1.167 W. When the Savonius-Darrieus combination with twin shafts or the Savonius-Darrieus with Dual Shaft (CSD-Ds) combination produces additional power because the power generated by the Savonius turbine is also utilized, and the Darrieus power can be maximally utilized. When the wind speed is 2.95 m / s, the power generated is 0.419W, when the wind speed is 3.71 m / s, the power generated is 1.130 W, and when the wind speed is 4.38 the power generated is 1.604 W. The increase in power at the wind speed of 2.95 m / s is 32.348%, at the wind speed of 3.71 is 29.358% and at 4.38 m / s is 38.392%

Key Words : Wind Turbine, Combination, Darrieus Turbine, Savonius Turbine and One Way Bearing.

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Persetujuan.....	vii
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	ix
Halaman Pernyataan Integritas	xi
Kata Pengantar	xiii
Ringkasan.....	xv
Summary	xvii
Daftar Isi.....	xix
Daftar Gambar.....	xxi
Daftar Tabel	xxv
Daftar Lampiran	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Studi Literatur	3
1.3 Rumusan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Energi Angin.....	7
2.2 Turbin Angin.....	8
2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal	9
2.3.1 Turbin Savonius	10
2.3.2 Turbin Darrieus tipe H.....	12
2.4 Teori Beltz.....	14
2.5 Turbin Angin Gabungan Savonius-Darrieus.....	14
2.6 Airfoil.....	15
2.6.1 Eppeler 377-il	16
2.6.2 NACA 0018	17

2.7	Analisis Performa Turbin Savonius-Darrieus	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Diagram Alir Penelitian	21
3.2	Kondisi Batas Pengujian	22
3.3	Perancangan Turbin	22
3.4	Variasi Pengujian	25
3.5	Alat Ukur.....	25
3.6	Turbin Angin Kombinasi Savonius-Darrieus.....	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Hasil	27
4.1.1	Potensi Energi Angin	28
4.1.2	Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius <i>stand alone</i>	30
4.1.3	Hasil Pengujian Turbin Angin Darrieus <i>stand alone</i>	33
4.1.4	Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius-Darrieus Poros Tunggal..	35
4.1.5	Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius-Darrieus Poros Kembar..	40
4.2	Diskusi.....	40
4.2.1	Turbin Savonius <i>stand alone</i>	41
4.2.2	Turbin Darrieus <i>stand alone</i>	42
4.2.3	Turbin Savonius-Darrieus Poros Tunggal.....	44
4.2.4	Pengaruh Savonius-Darrieus Poros Kembar	48
4.2.5	Perbandingan Jenis Turbin	46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Turbin Angin Savonius dan Darrieus.....	2
Gambar 2.1 Proses Sirkulasi Angin	7
Gambar 2.2 Perbandingan TSR dengan RPC Turbin Angin	9
Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	9
Gambar 2.4 Jenis turbin angin Savonius.....	10
Gambar 2.5 Prinsip turbin angin Savonius	11
Gambar 2.6 Sistematika pada Turbin Darrieus	13
Gambar 2.7 Kombinasi turbin angin Savonius-Darrieus	15
Gambar 2.8 Sistematika Airfoil	16
Gambar 2.9 Profil NACA 0018	17
Gambar 2.10 Profil Airfoil e377-il	17
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	21
Gambar 3.2 Skematik Turbin Savonius-Darrieus	24
Gambar 3.3 Kombinasi Turbin Savonius-Darrieus.....	26
Gambar 4.1 Potensi Daya Angin terhadap kecepatan angin.....	27
Gambar 4.2 Hubungan P_T terhadap Loads pada turbin Savonius Stand Alone	40
Gambar 4.3 Hubungan C_P terhadap TSR pada turbin Savonius Stand Alone ...	40
Gambar 4.4 Hubungan P_T terhadap Loads pada turbin Darrieus Stand Alone .	41
Gambar 4.5 Hubungan C_P dengan TSR pada turbin Darrieus Stand Alone	42
Gambar 4.6 Hubungan antara P_T dengan Loads (F) pada turbin CDS-Ss	43
Gambar 4.7 Hubungan antara C_P dengan TSR pada turbin CDS-Ss.....	43
Gambar 4.8 Hubungan antara P_T dengan Loads (F) pada CDS-Ds pada kecepatan angin 2,95 m/s	44
Gambar 4.9 Hubungan antara P_T dengan Loads (F) pada CDS-Ds pada kecepatan angin 3,71 m/s	45
Gambar 4.10 Hubungan antara P_T dengan Loads (F) pada CDS-Ds pada kecepatan angin 4,38 m/s	45
Gambar 4.11 Hubungan antara P_T dengan Loads (F) pada turbin angin Savonius-Darrieus dengan poros kembar (CDS-Ds)	46

Gambar 4.12 Hubungan antara P_T dengan Loads (F) pada turbin Savonius Stand Alone, Darrieus Stand Alone, CDS-Ss, dan CDS-Ds pada kecepatan angin 4,38 m/s	48
Gambar 4.13 Hubungan P_T terhadap Loads (F) pada turbin CDS-Ss dan CDS-DS	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengujian Turbin Angin Savonius <i>stand alone</i> $V_a = 2,95$ m/s.....	29
Tabel 4.2 Pengujian Turbin Angin Savonius <i>stand alone</i> $V_a = 3,71$ m/s.....	29
Tabel 4.3 Pengujian Turbin Angin Savonius <i>stand alone</i> $V_a = 4,38$ m/s.....	30
Tabel 4.4 Data Turbin Angin Darrieus <i>stand alone</i> $V_a = 2,95$ m/s	31
Tabel 4.5 Data Turbin Angin Darrieus <i>stand alone</i> $V_a = 3,71$ m/s	32
Tabel 4.6 Data Turbin Angin Darrieus <i>stand alone</i> $V_a = 4,38$ m/s	32
Tabel 4.7 Data Turbin Angin CDS-Ss pada $V_a = 2,95$ m/s	34
Tabel 4.8 Data Turbin Angin CDS-Ss pada $V_a = 3,71$ m/s	35
Tabel 4.9 Data Turbin Angin CDS-Ss pada $V_a = 4,38$ m/s	35
Tabel 4.10 Data Turbin Angin CDS-Ds pada $V_a = 2,95$ m/s	38
Tabel 4.11 Data Turbin Angin CDS-Ds pada $V_a = 3,71$ m/s.....	39
Tabel 4.12 Data Turbin Angin Savonius-Darrieus CDS-Ds $V_a = 4,38$ m/s	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Thermophysical properties of air</i>	57
Lampiran 2 Foto-foto Alat Penelitian.....	58

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki jumlah penduduk sekitar 267 juta jiwa pada tahun 2019 [1]. Konsekuensinya, energi yang diperlukan juga meningkat. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), penggunaan energi pada tahun 2018 sebesar 114, MTOE, [2].

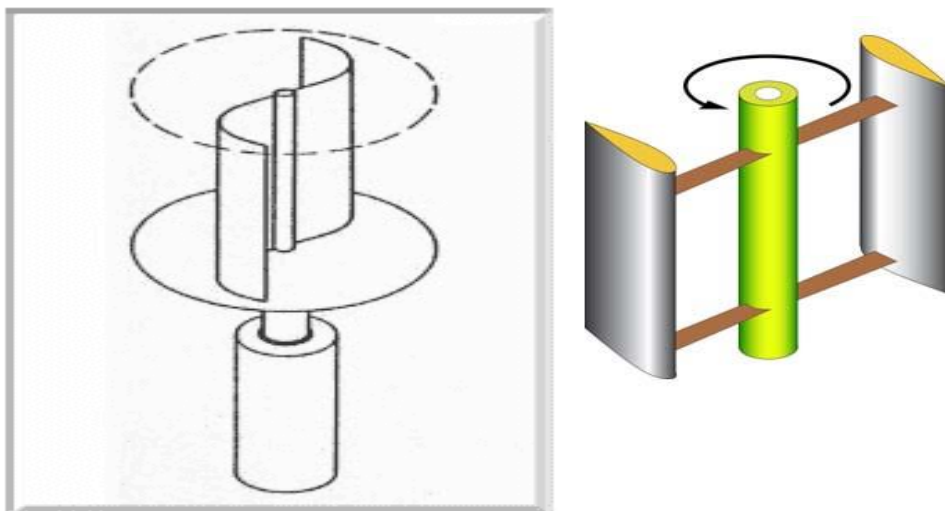
Di tahun 2018, konsumsi energi didominasi oleh energi fosil, dimana transportasi 40%, kemudian industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2% [2]. Seperti yang diketahui, hasil pembakaran energi fosil adalah gas yang berbahaya seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), dan timah hitam (Pb) [3]. Berdasarkan data *World Health Organization* (WHO), Indonesia di kategorikan *Interim Target 3* dengan *annual mean PM_{2.5} concentration* sebesar 15 µg/m³ [4], sedangkan menurut standar *annual mean PM_{2.5} concentration* sebesar 10 µg/m³. Sehingga alternatif yang tepat untuk memenuhi pasokan energi masa depan adalah energi yang ramah lingkungan atau energi baru terbarukan (EBT) [5].

Energi baru terbarukan (EBT) adalah energi yang berasal dari sumber daya terbarukan, dimana energi ini tidak menghasilkan emisi gas buang [6]. Jenis-jenis EBT sendiri antara lain; panas bumi, angin, air, surya (matahari), dan biomassa [6].

Angin merupakan sumber energi yang dimiliki oleh seluruh negara di dunia (melimpah) [7]. Angin bergerak akibat adanya perbedaan tekanan yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur, dimana angin bergerak dari daerah tekanan (temperatur) tinggi ke daerah tekanan (temperatur) rendah [8]. Potensi energi angin Indonesia

diperkirakan mencapai 60 GW dengan rata-rata kecepatan angin sekitar 3,5 m/s sampai 4,5 m/s [9], namun baru dimanfaatkan sebesar 3,1 MW [10].

Turbin angin adalah alat yang dapat digunakan untuk memanfaatkan energi angin. Berdasarkan letak posisi sumbu, turbin angin terklarifikasikan menjadi dua jenis, yaitu; TASH atau turbin angin sumbu horizontal dan TASV atau turbin angin sumbu vertikal. TASV yang sering digunakan adalah Turbin Savonius dan Turbin Darrieus. Konsep rotor Savonius didasarkan sama dengan prinsip yang dilakukan oleh Flettner, yaitu dengan memotong silinder menjadi dua bagian di sepanjang sudu dan kemudian pindah ke dua semi-silinder permukaan menyemping di sepanjang sudu, sehingga sudu Savonius menyerupai huruf S [11]. Turbin Darrieus memiliki dua atau tiga sudu melengkung dengan menggunakan profil airfoil konstanta panjang *chord*. Biasanya, kedua ujung sudu turbin Darrieus dihubungkan dengan poros vertikal.[11]



Gambar 1.1 Turbin Angin Savonius dan Darrieus

Kelebihan dari turbin Savonius adalah dapat beroperasi pada kecepatan angin yang rendah yaitu pada saat nilai TSR turbin diantara 0,5 sampai 1,5, dimana dia dapat melakukan *self-starting*. Kekurangan turbin Savonius adalah memiliki nilai koefisien daya yang rendah, maksimum 20% (lihat Gambar 2.6). Untuk turbin Darrieus memiliki kelebihan tidak membutuhkan sudu pengarah karena dapat menyerap energi angin dari segala arah. Namun, turbin Darrieus tidak mampu melakukan *self-starting* pada kecepatan angin rendah [12]. Ini sebab beberapa studi sebelumnya menyusulkan kombinasi turbin Savonius dan turbin Darrieus sebagai

pembangkit listrik mandiri. Diduga, pada kecepatan angin rendah self-starting dapat dibantu oleh turbin Savonius, dan pada saat kecepatan angin tinggi energi angin dapat diserap maksimal oleh turbin Darrieus. Dengan demikian kombinasi turbin Savonius dan Darrieus merupakan usulan yang tepat sebagai konverter energi angin menjadi energi listrik.

1.2 Studi Literatur

Gavalda, dkk. (1990) [13] mengkaji *self-adapting* kombinasi turbin Savonius-Darrieus untuk mengetahui nilai sudut serang relatif maksimumnya. Kedua turbin masing-masing memiliki dua sudu, dimana sudu turbin Darrieus menggunakan konsep *airfoil* NACA 0012. Dari hasil, terdapat pengaruh sudut serang relatif terhadap daya yang dihasilkan. C_t maksimum terjadi di sudut serang relatif 130° .

Gupta, dkk. (2008) [14] mengkaji kombinasi turbin Darrieus-Savonius, dimana kedua turbin masing-masing memiliki 3 sudu. Tipe turbin Darrieus yang digunakan adalah *eggbeater* (pengocok telur). Pengujian ini dilakukan di *subsonic wind tunnel* yang memiliki ukuran 30 cm x 30 cm. Dari hasil, rotor dengan *overlap* memiliki efisiensi lebih stabil dan besar dibanding tanpa *overlap*. Sudu kombinasi turbin Darrieus-Savonius tanpa overlap memiliki C_p maksimum sebesar 0,3579, dan TSR sebesar 0,4950. Pada overlap 16,2%, nilai C_p maksimum adalah 0,4380, dimana *range* TSR dari 0,66 hingga 0,732. Pada overlap 20%, nilai C_p maksimum sebesar 0,466, dimana *range* TSR 0,6696 sampai 0,69.

Prakoso, dkk. (2016) [15] mengkaji kombinasi turbin Darrieus tipe H dengan turbin Savonius 2 sudu. Dari hasil disimpulkan bahwa turbin Darrieus tanpa Savonius menghasilkan performa lebih baik yaitu 2,31 W dibandingkan dengan kombinasi sebesar 1,9 W (-17,75%). Diduga kombinasi menghasilkan performa yang buruk karena posisi turbin Savonius berada ditengah (tidak bertingkat) sehingga turbin Savonius tidak memberikan kontribusi terhadap daya yang dihasilkan.

Liang, dkk. (2017). [16] mengkaji rasio jari-jari turbin Savonius dengan turbin Darrieus. Kombinasi turbin Savonius-Darrieus menggunakan masing-masing 2 sudu, dimana sudu turbin Darrieus menggunakan profil NACA 0012. Dari hasil, ada pengaruh perbandingan jari-jari turbin Savonius dengan turbin Darrieus. Rasio jari-jari turbin Savonius dengan turbin Darrieus sebesar 0,25 adalah yang optimum

Akbar, dkk. (2018) [17] melakukan kombinasi turbin Darrieus-Savonius, dimana konfigurasi sudu turbin Savonius adalah dua tingkat. Dari hasil, *coefficient of performance* (C_p) kombinasi turbin Darrieus-Savonius meningkat 75% dibanding konfigurasi tunggalnya.

Hasrofiddi, dkk. (2019) [18] mengkaji kombinasi turbin Darrieus-Savonius dengan konfigurasi turbin Savonius 2 tingkat, dimana posisi 2 tingkat turbin Savonius sejajar dengan turbin Darrieus. Dari hasil, C_p maksimum ($C_p=0,33$) terjadi pada kecepatan angin 2,8 m/s dengan *tip speed ratio* (TSR) sebesar 1,13, dimana daya yang dihasilkan sebesar 25 W.

Pallotta, dkk. (2020) [19] mengkaji performa dan medan aliran kombinasi turbin angin Savonius-Darrieus dengan menggunakan terowongan angin dan *Particle Image Velocimetry* (PIV). Terowongan angin yang digunakan berdiameter 1 m, dimana variasi kecepatan angin dari 10 sampai 20 m/s Turbin Darrieus menggunakan profil NACA 4418 dengan 3 buah sudu, dan turbin Savonius menggunakan 2 sudu. Dari hasil, sistem kombinasi turbin Savonius-Darrieus memiliki kondisi operasi lebih luas dibandingkan dengan kedua turbin tersebut beroperasi masing-masing.

Santoso, dkk. (2020) [20] mengkaji kombinasi turbin Savonius-Darrieus, dimana turbin Savonius berfungsi sebagai *self-starting*. Kombinasi turbin tersebut menggunakan masing-masing 2 sudu. Profil sudu turbin Savonius adalah airfoil E-378 il yang telah dimodifikasi, dimana diameter dan tinggi masing-masing 20 cm dan 24 cm. Sedangkan, turbin Darrieus menggunakan profil NACA 0018 dengan diameter 50 cm dan tinggi 40 cm. Dari hasil, pengujian, pada kecepatan angin 5,5 m/s untuk mencapai kecepatan 539 rpm, *Darrieus stand alone* membutuhkan waktu

sebesar 150 s, sedangkan kombinasi turbin Savonius-Darrieus membutuhkan waktu kurang dari 90 s. Kombinasi Savonius-Darrieus dapat meningkatkan *self-starting* sebesar 60%. Namun, dari sisi daya yang dihasilkan, kombinasi Savonius-Darrieus memiliki daya sebesar 2,375 W dibandingkan dengan turbin Darrieus *stand alone* sebesar 3,136 W. Penurunan daya tersebut terjadi karena pada saat kecepatan tinggi, daya yang dihasilkan turbin Darrieus ditransmisi ke turbin Savonius untuk mempercepat putaran turbin.

Berdasarkan latar belakang di atas, kombinasi turbin Savonius-Darrieus mempunyai keuntungan di *self-starting*, namun memberikan dampak negatif terhadap daya karena pada putaran tinggi turbin Savonius menghambat putaran turbin Darrieus. Untuk mengatasi hal ini, *connector* turbin Savonius dengan Darrieus menggunakan *one way bearing* (OWB) diusulkan. Sehingga, turbin Savonius dimanfaatkan sebagai *self-starting* turbin Darrieus, meskipun kedua turbin berada pada satu poros.

1.3 Rumusan Masalah

Apakah kombinasi turbin Savonius-Darrieus menggunakan *connector one way bearing* memberikan keuntungan di *self-starting* dan peningkatan daya yang dihasilkan pada kombinasi poros kembar.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Studi kelayakan *one way bearing* sebagai *connector* kombinasi turbin Savonius-Darrieus.
2. Analisis daya kombinasi turbin Savonius-Darrieus menggunakan poros kembar.

3. Untuk mengetahui dampak pemanfaatan daya yang dibangkitkan oleh turbin Savonius pada poros kembar.
4. Untuk mengidentifikasi daya yang dibangkitkan oleh turbin angin poros tunggal dengan menggunakan poros kembar.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan setelah diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat menjadi referensi kajian kombinasi turbin Savonius-Darrieus.
2. Hasil penelitian dapat digunakan pembangkit listrik tenaga angin untuk daerah terpencil.

Menjadi solusi alternatif penyediaan energi pada tempat yang membutuhkan energi listrik yang tidak terlalu besar

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. B. Kusnandar, “Inilah Proyeksi Jumlah Penduduk Indonesia 2020,” *Databoks*, p. 1, 2020, [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2020/01/02/inilah-proyeksi-jumlah-penduduk-indonesia-2020>.
- [2] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, “Indonesia Energy Outlook 2019,” Jakarta, 2019.
- [3] F. Jansen and S. Sengkey, “Konsentrasi Polusi Udara dari Kendaraan Bermotor pada Ruas Jalan Sam Ratulangi Manado,” pp. 1–13, 2013.
- [4] B. Emissions *et al.*, *UNEP promotes environmentally sound practices globally and in its own activities . This publication is printed on 100 per cent chlorine free paper from sustainably managed forests . Our distribution policy aims to reduce UNEP ’ s carbon footprint .*, vol. 8, no. October. 2019.
- [5] Sukamto, “Karakteristik Turbin Angin Vertical Axis Profil NACA 0018 dengan 3 Blade Berbantuan Guide Vane,” *Karakteristik Turbin Angin Vert. Axis Profil NACA 0018 dengan 3 Bl. Berbantuan Guid. Vane*, pp. 1–8, 2011.
- [6] F. Kurnianto and F. Ilmillah, “Makalah Energi Terbarukan (Renewable Energy),” no. 15110107, 2015.
- [7] S. H. Pamuji, I. B. Alit, J. T. Mesin, F. Teknik, U. Mataram, and T. S. Ratio, “UJI PERFORMANCE TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL PERFORMANCE TEST VERTICAL AXIS WIND TURBINE SAVONIUS TYPE WITH VARIATION POSITION ANGLE.”
- [8] S. B. W and T. A. Adlie, “Unjuk Kerja Turbin Angin Lengkung L . Savonius Dua Tingkat Empat Sudu,” pp. 4–7, 2014.
- [9] Hicary, Suwandi, and A. Qurthobi, “Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Pada Turbin Angin Savonius Di Dalam Proses Pengisian Akumulator,” vol. 3, no. 3, pp. 4911–4918, 2016.
- [10] L. Hakim, A. Rijano, and M. Muzaki, “Analisis Regresi Kecepatan Angin Terhadap Daya Turbin Angin Jenis VAWT Tipe Darrieus-Savonius,” vol. 01, no. 02, pp. 15–20, 2018.

- [11] S. Eriksson, H. Bernhoff, and M. Leijon, "Evaluation of different turbine concepts for wind power," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, doi: 10.1016/j.rser.2006.05.017.
- [12] L. Hakim, A. Rijanto, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. I. Majapahit, "Studi Experimental Kinerja Turbin Angin Darrieus- Savonius (Ds) Pada Kecepatan Angin Rendah," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI 2018*, 2018, pp. 73–78.
- [13] J. Gavaldà, J. Massons, and F. Díaz, "Experimental study on a self-adapting Darrieus-Savonius wind machine," *Sol. Wind Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 457–461, 1990, doi: 10.1016/0741-983X(90)90030-6.
- [14] R. Gupta, A. Biswas, and K. K. Sharma, "Comparative study of a three-bucket Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius-three-bladed Darrieus rotor," *Renew. Energy*, vol. 33, no. 9, pp. 1974–1981, 2008, doi: 10.1016/j.renene.2007.12.008.
- [15] I. P. Prakoso, P. Hartono, and U. Lesmanah, "PERENCANAAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H DENGAN PENAMBAHAN 2 BLADE TIPE SAVONIUS UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK," 2016.
- [16] X. Liang, S. Fu, B. Ou, C. Wu, C. Y. H. Chao, and K. Pi, "A computational study of the effects of the radius ratio and attachment angle on the performance of a Darrieus-Savonius combined wind turbine," *Renew. Energy*, vol. 113, pp. 329–334, 2017, doi: 10.1016/j.renene.2017.04.071.
- [17] F. M. Akbar *et al.*, "Pengujian Kinerja Turbin Angin Kombinasi Darrieus – ,," pp. 173–178, 2018.
- [18] Hasrofiddi, I. K. Bachtiar, and A. H. Yunianto, "PERANCANGAN TURBIN ANGIN TIPE HYBRID SAVONIUS DARRIEUS SUMBU VERTIKAL," vol. 2019, pp. 1–10, 2019.
- [19] A. Pallotta, D. Pietrogiaconi, and G. P. Romano, "HYBRI – A combined Savonius-Darrieus wind turbine: Performances and flow fields," *Energy*, vol. 191, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116433.
- [20] D. Santoso, M. I. Riady, Z. Abidin, J. Yanto, and M. I. Dzaky, "Effect of the Utilizing Savonius Machine as Auxiliary Starting Device on the

Performance of Darrieus Machine,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1500, p. 012041, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1500/1/012041.