

SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN  
DENGAN EMPAT SUBU KAPASITAS  
SAVONIUS-DARRIUS NACA 0015



P. RUDY VALENTINO S.Pd, M.Eng  
05121003033

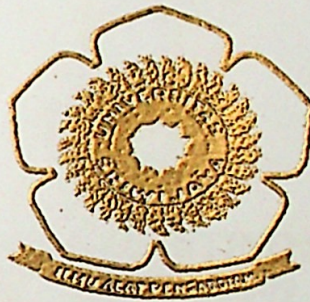
BURSA  
PABRIK  
PABRIK  
PABRIK

5  
621. 40607  
Sam  
5  
2017

## SKRIPSI

# STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN ANGIN DENGAN EMPAT SUDU GABUNGAN SAVONIUS- DARRIEUS NACA 0020

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar  
Sarjana Teknik



Oleh :  
**P. RUDY VALENTINO SAMOSIR**  
03121005009

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2017**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN ANGIN  
DENGAN EMPAT SUDU GABUNGAN  
SAVONIUS-DARRIEUS NACA 0020**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar  
Sarjana Teknik


Oleh:

**P. RUDY VALENTINO SAMOSIR**  
**03121005009**

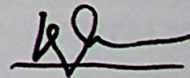
Indralaya, 13 Februari 2017

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Diperiksa dan disetujui oleh,  
Pembimbing Skripsi



**Qomarul Hadi, S. T, M.T.**  
**NIP. 19690213 199503 1 001**



**Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA**  
**NIP. 19570118 198503 1 004**

UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN

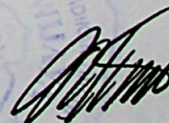
Agenda : 003/TM/AF/2017  
Diterima Tgl. : 14/2-2017  
Paraf : *Vep.*

---

## SKRIPSI

Nama : P. RUDY VALENTINO SAMOSIR  
NIM : 03121005009  
Jurusan : TEKNIK MESIN  
Bidang Studi : KONVERSI ENERGI  
Judul Skripsi : STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN  
ANGIN DENGAN EMPAT SUDU GABUNGAN  
SAVONIUS-DARRIEUS NACA 0020  
Diberikan : 21 SEPTEMBER 2016  
Selesai : 24 JANUARI 2017

Indralaya, 13 Februari 2017  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Qomarul Hadi, S.T., M.T.  
NIP. 19690213 199503 1 001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Studi Eksperimental Kinerja Turbin Angin Dengan Empat Sudu Gabungan Savonius-Darrieus NACA 0020” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Januari 2017.

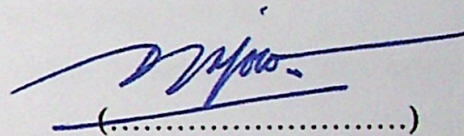
Indralaya, 24 Januari 2017

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi :

Ketua :

Ir. Dyos Santoso, M.T

NIP. 19601223 199102 1 001

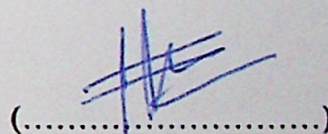


(.....)

Anggota :

1. Dr. Fajri Vidian, S.T, M.T

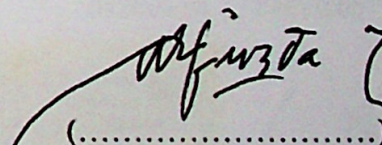
NIP. 19720716 200604 1 002



(.....)

2. Aneka Firdaus, S.T, M.T

NIP. 19750226 199903 1 001



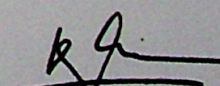
(.....)

**Menyetujui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Diperiksa dan Disetujui oleh,  
Pembimbing Skripsi**



**Oomarul Hadi, S. T, M.T.**  
NIP. 19690213 199503 1 001



**Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA**  
NIP. 19570118 198503 1 004

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : P. Rudy Valentino Samosir  
NIM : 03121005009  
Judul : Studi Eksperimental Kinerja Turbin Angin Dengan Empat Sudu  
Gabungan Savonius-Darrieus NACA 0020

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.



Indralaya, 13 Februari 2017



P. Rudy Valentino Samosir  
NIM. 03121005009



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN

Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM.32 Inderalaya (OI) Telp. (0711) 580272

---

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : P. Rudy Valentino Samosir  
NIM : 03121005009  
Judul : Studi Eksperimental Kinerja Turbin Angin Dengan Empat Sudu  
Gabungan Savonius-Darrieus NACA 0020

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian 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.

Inderalaya, 13 Februari 2017  
Penulis,

P. Rudy Valentino Samosir  
NIM. 03121005009

## RIWAYAT PENULIS

Penulis bernama lengkap P. Rudy Valentino Samosir, dilahirkan di Medan, pada tanggal 18 Februari 1995 merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak German Samosir dan Ibu Lusianna Tambunan. Penulis memulai pendidikan di SD YP HKBP Latihan, Pematangsiantar pada tahun 2000 selama enam tahun. Kemudian pada tahun 2006 penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 5 Pematangsiantar.

Setelah menyelesaikan pendidikan di SMP Negeri 5 Pematangsiantar pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikannya di SMA Negeri 1 Pematngsiantar selama tiga tahun dan memilih jurusan Sains atau IPA. Setelah menamatkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas pada tahun 2012, melalui jalur undangan (tanpa test tertulis) penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Angkatan 2012.

Selama menjadi mahasiswa Universitas Sriwijaya, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan di internal maupun eksternal kampus Universitas Sriwijaya. Penuli pernah menjadi Asisten Laboratorium Konversi Energi Mesin periode 2015-2016. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi internal kampus seperti Badan Eksekutif Mahasiswa Keluarga Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM KM FT) periode 2013-2014, Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) periode 2012-2016 dan juga pernah mengikuti kompetisi tingkat nasional.

Dalam bidang implementasi ilmu, penulis pernah mengikuti kerja praktek di PT Pertamina EP Asset 2 Prabumulih Field Sumatera Selatan pada tahun 2016 dan juga ikut dalam salah satu proyek tim dosen kerjasama antara PT. Bukit Asam dengan Universitas Sriwijaya.



## HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### *MOTTO :*

- *Jika kita mau berusaha dan berdoa, maka kita pasti akan mendapatkannya.*
- *Takut akan Tuhan adalah awal dari pengetahuan.*
- *Ilmu tanpa iman adalah buta.*
- *Kecewa bisa, menyerah jangan.*

### *Skripsi ini saya persembahkan untuk :*

1. *Atas rasa syukur ku kepada Tuhan Yesus Kristus.*
2. *Kedua orang tua saya yang sudah bersusah payah untuk mengantarkan saya memperoleh pendidikan yang terbaik.*
3. *Dosen pembimbing yang telah membimbing saya.*
4. *Almamater UNSRI dan Jurusan Teknik Mesin UNSRI.*
5. *Peneliti selanjutnya yang ingin menyempurnakan penelitian ini.*
6. *Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi di Indonesia tercinta.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini berjudul **“Studi Eksperimental Kinerja Turbin Angin Dengan Empat Sudu Gabungan Savonius-Darrieus NACA 0020”**.

Skripsi ini merupakan bukti tertulis bahwa rangkaian tugas akhir telah selesai dijalankan, serta salah satu persyaratan kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

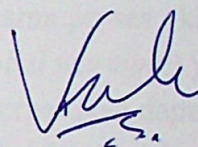
Selama penulisan Skripsi ini tentunya penulis tidak bekerja sendiri, akan tetapi mendapat bantuan serta dukungan dari banyak orang, baik secara langsung maupun tidak. Oleh karena itu, dalam kesempatan penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus
2. Kedua orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
4. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Qomarul Hadi, S. T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Ir. Dyos Santoso, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA. selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing skripsi yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.
8. Staf Pengajar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
9. Staf Administrasi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
10. Kak Novriansyah selaku asisten lab. Fenomena Dasar Jurusan Teknik Mesin.
11. Semua teman-teman *Griya Solidarity* yang telah penulis anggap sebagai saudara sendiri.

12. Semua teman-teman angkatan 2012 Teknik Mesin Unsri selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penelitian ini menjadi lebih baik. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak yang berkepentingan.

Indralaya, 13 Februari 2017



Penulis

## RINGKASAN

STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN ANGIN DENGAN EMPAT  
SUDU GABUNGAN SAVONIUS-DARRIEUS NACA 0020  
Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 24 Januari 2017

P. Rudy Valentino Samosir; Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA.

*Experimental Study On The Peformance Of Wind Turbine With Four Combined  
Blades Of Savonius-Darrieus NACA 0020*

xvii + 59 halaman, 37 gambar, 42 tabel , 15 lampiran

Energi fosil memiliki tiga kekurangan utama yaitu sumbernya di alam yang terbatas, dapat menimbulkan kerusakan lingkungan selama proses eksplorasi dan produksinya, serta menyebabkan pemanasan global (*global warming*) yang berasal dari gas hasil pembakaran energi fosil tersebut. Energi terbarukan dapat digunakan sebagai energi alternatif pengganti energi fosil dalam hal ini adalah energi angin yang dimanfaatkan menggunakan turbin angin. Salah satu jenis turbin angin adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) sesuai dengan namanya poros turbin ini dipasang vertikal. Kelebihan utama TASV yaitu mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Turbin gabungan Savonius-Darrieus merupakan penggabungan sudu Savonius dan sudu Darrieus dalam satu poros turbin yang sama dimana sudu turbin Savonius mampu memberikan torsi awal yang besar untuk menjadi penggerak awal turbin gabungan ini sementara sudu turbin Darrieus mampu meningkatkan efisiensi ketika turbin sudah berputar oleh karena gaya *drag* dari sudu Savonius. Alur penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur dari berbagai jurnal, buku dan sumber lainnya yang mendukung terhadap penelitian ini. Setelah melakukan studi literatur dari berbagai sumber, dilakukan penentuan dimensi sudu turbin serta jumlah sudunya yang kemudian dilanjutkan ke tahap desain 3 dimensi menggunakan *software design Solidworks*. Kemudian dilanjutkan proses pembuatan turbin angin, setelah selesai proses pembuatan kemudian masuk ke proses pengujian alat di dalam *wind tunnel*. Data-data yang didapat dari hasil pengujian kemudian dikaji dan dibahas dengan persamaan-persamaan yang telah diuraikan di teori dasar untuk mendapatkan nilai efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin. Kemudian hasilnya akan diolah ke dalam bentuk tabel dan grafik. Pada penelitian ini yang diuji adalah turbin gabungan Savonius-Darrieus yang memiliki dua sudu Savonius dan dua sudu Darrieus NACA 0020 *chord* 7 cm dengan variasi panjang lengan Darrieus dan pembebanan yang berbeda-beda. Pada penelitian yang telah dilakukan ini didapat hasil kinerja turbin gabungan Savonius-Darrieus NACA

0020 dengan *chord* 7 cm, yaitu pada panjang lengan Darrieus 17 cm daya maksimum yang dihasilkan sebesar 0,639 W dengan *tip speed ratio* 0,988 pada kecepatan angin 7 m/s dan efisiensi maksimum yang dicapai sebesar 3,891 %. Sedangkan untuk turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan panjang lengan Darrieus 15 cm hasilnya meningkat dimana daya maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 1,111 W dengan *tip speed ratio* 1,103 pada kecepatan angin 7 m/s dan efisiensi maksimum yang dicapai 6,193 %. Hal ini berarti, pada kondisi pengujian tersebut sudu Darrieus pada turbin gabungan Savonius-Darrieus lebih mampu meminimalisir gaya drag yang dihasilkan oleh sudu Savonius tampak dari *tip speed ratio* yang dihasilkan nilai nya lebih besar dari 1. Selanjutnya, untuk turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan panjang lengan Darrieus 13 cm daya maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 0,75 W dengan *tip speed ratio* 0,395 pada kecepatan angin 7 m/s dan efisiensi maksimum yang dicapai 4,826 %. Tampak bahwa turbin ini menghasilkan *tip speed ratio* yang kecil yaitu dibawah nilai 1 hal ini dikarenakan kinerja sudu Darrieus tidak mampu meminimalisir gaya drag yang dihasilkan oleh sudu Savonius.

**Kata Kunci** : TASV, Turbin gabungan Savonius-Darrieus, NACA 0020, kinerja, daya, efisiensi.

**Kepustakaan** : 16 (1965 – 2016)

## SUMMARY

EXPERIMENTAL STUDY ON THE PERFORMANCE OF WIND TURBINE WITH FOUR COMBINED BLADES OF SAVONIUS-DARRIEUS NACA 0020  
Scientific paper in the form of skripsi, 24 January 2017

P. Rudy Valentino Samosir; Supervised by Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA.

Studi Eksperimental Kinerja Turbin Angin Dengan Empat Sudu Gabungan Savonius-Darrieus NACA 0020

xvii + 59 pages, 37 pictures, 42 tables, 15 attachments

Fossil energy has three main weaknesses which are the source in nature are limited, can cause damage to the environment during the process of exploration and production, as well as can cause global warming from the gas it produces as the result of the combustion. Renewable energy can be used as an alternative energy to replace fossil energy, in this case wind energy can be gained using the wind turbine. Vertical axis wind turbine (VAWT) is one kind of wind turbine. VAWT has an axis or main rotor shaft which arranged vertical as it named. The main advantage of VAWT is able to leverage the wind from all directions. Combined turbine Savonius-Darrieus is the integration of Savonius blade and Darrieus blade in one axis turbine where the Savonius blade able to provide starting torque likely to be early movers of combined turbine while Darrieus blade able to improve efficiency when the turbine has been spinning since the drag force of the Savonius blade. The research began with doing literature studies from various journals, books and other resources in favor to support the research. After doing literature studies from various sources, the dimension and the number of blades is determined and then proceed to 3D design stage using software design Solidworks. Then proceed to produce of wind turbine, when its done then we continue to testing process using wind tunnel. The data obtained from the testing process is then examined and discussed by the equations described in the basic theory to get efficiency value and power generated by the turbine. Then the results will be processed into tables and charts.

In this study the object is the combined turbine Savonius-Darrieus which has two Savonius blades and two Darrieus blades NACA 0020 with Darrieus rod length variation and loading variation. Based on the testing that has been done gained the result of performance combined Savonius-Darrieus turbine NACA 0020 with 7 cm chord, which has 17 cm Darrieus rod length generate 0,639 W maximum power at tip speed ratio 0,988 at wind speed  $7 \text{ m/s}$  and 3,891 % maximum efficiency. While

for combined Savonius-Darrieus turbine which has 15 cm Darrieus rod length the result is increased which generate 1,111 W maximum power at tip speed ratio 1,103 at wind speed  $7 \text{ m/s}$  and 6,193 % maximum efficiency. This means at the test condition, Darrieus blades on combined Savonius-Darrieus turbine are able to minimize drag force that produced by Savonius blades appear on the tip speed ratio it produces which is greater than 1. Then, for combined Savonius-Darrieus turbine which has 13 cm Darrieus rod length generate 0,75 W maximum power at tip speed ratio 0,395 at wind speed  $7 \text{ m/s}$  and 4,826 % maximum efficiency. It appears that this turbine produces small tip speed ratio that is below 1 , this is because Darrieus blades aren't able to minimize drag force produced by Savonius blades.

**Keywords** : VAWT, combined turbine Savonius-Darrieus, NACA 0020, performance, power, efficiency, wind speed.

**Citations** : 16 (1965 – 2016)

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN AGENDA	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI	v
RIWAYAT PENULIS	vi
MOTTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
RINGKASAN	x
SUMMARY	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR SIMBOL	xxiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Prinsip Energi Angin	5
2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal	6
2.2.1 Turbin Darrieus	6
2.2.2 Turbin Savonius	8
2.2.3 Turbin Gabungan Savonius-Darrieus	9
2.3 Konsep <i>Lift</i> dan <i>Drag</i>	10
2.4 <i>Airfoil</i> NACA	12
2.5 Torsi dan Daya Turbin	14
2.6 <i>Aspect Ratio</i>	15
2.7 <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR)	16
2.8 Efisiensi Turbin	17



### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	18
3.2 Studi Literatur	19
3.3 Penentuan Dimensi dan Jumlah Sudu	20
3.4 Pemodelan Turbin Angin dalam 3 Dimensi	20
3.5 Pembuatan Turbin Angin	20
3.6 Pengujian dan Pengolahan Data	20
3.7 Alat yang Digunakan	20
3.7.1 Turbin Angin	20
3.7.2 <i>Tachometer</i>	22
3.7.3 <i>Stopwatch</i>	22
3.7.4 Skala <i>Digital Portable</i>	22
3.7.5 <i>Thermo-Anemometer</i>	22
3.8 Prosedur Penelitian	22

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil	25
4.1.1 Pengujian Turbin Gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm	25
4.1.2 Pengujian Turbin Gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm	31
4.1.3 Pengujian Turbin Gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm	34
4.1.4 Pengujian Turbin Savonius	38
4.1.5 Pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm	41
4.1.6 Pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm	44
4.1.7 Pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm	47
4.2 Pembahasan	55
4.2.1 Analisa Pengujian Tanpa Beban	55
4.2.2 Analisa Efisiensi dan Daya Turbin dengan Variasi Panjang Lengan Darrieus	55
4.2.3 Analisa Pengaruh Panjang Lengan Darrieus Terhadap Peformansi Turbin Gabungan Savonius-Darrieus	57

### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59

DAFTAR PUSTAKA	60
----------------	----

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Turbin Darrieus jenis <i>Eggbeater-bladed</i>	6
Gambar 2.2 Turbin Darrieus jenis <i>Straight-bladed</i>	7
Gambar 2.3 Diagram kecepatan pada sudu turbin Darrieus	7
Gambar 2.4 Turbin Savonius	8
Gambar 2.5 Sistem kerja sudu turbin Savonius	9
Gambar 2.6 Turbin gabungan Savonius-Darrieus	10
Gambar 2.7 Nilai <i>coefficient drag</i> berbagai bentuk benda	12
Gambar 2.8 Profil <i>airfoil</i> NACA	13
Gambar 2.9 NACA <i>airfoil</i> 0020	13
Gambar 2.10 Pengukuran torsi <i>brake drum</i>	14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2 Desain turbin angin gabungan Savonius-Darrieus	21
Gambar 3.3 Sudu Darrieus NACA 0020 dan Sudu Savonius	22
Gambar 3.4 Desain pengujian turbin angin di dalam <i>wind tunnel</i> WT-40 <i>subsonic</i>	23
Gambar 4.1 Turbin Gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm	25
Gambar 4.2 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm	30
Gambar 4.3 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm	30
Gambar 4.4 Turbin Gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm	31

Gambar 4.5 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm	34
Gambar 4.6 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm	34
Gambar 4.7 Turbin Gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm	34
Gambar 4.8 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm	37
Gambar 4.9 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm	37
Gambar 4.10 Turbin Savonius	38
Gambar 4.11 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Savonius	40
Gambar 4.12 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Savonius	41
Gambar 4.13 Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm	41
Gambar 4.14 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm	43
Gambar 4.15 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm	44
Gambar 4.16 Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm	44
Gambar 4.17 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm	47
Gambar 4.18 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm	47
Gambar 4.19 Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm	47

Gambar 4.20 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm	50
Gambar 4.21 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm	50
Gambar 4.22 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan variasi panjang lengan Darrieus	51
Gambar 4.23 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan variasi panjang lengan Darrieus	52
Gambar 4.22 Grafik koefisien torsi ( $C_T$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Darrieus dengan variasi panjang lengan Darrieus	53
Gambar 4.23 Grafik koefisien daya ( $C_P$ ) vs <i>tip speed ratio</i> ( $\lambda$ ) turbin Darrieus dengan variasi panjang lengan Darrieus	54

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm pada V angin $5,01$ $m/s$ dan suhu $29^{\circ}C$	28
Tabel 4.2 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm pada V angin $6,03$ $m/s$ dan suhu $32,6^{\circ}C$	28
Tabel 4.3 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm pada V angin $7$ $m/s$ dan suhu $32,4^{\circ}C$	28
Tabel 4.4 Hasil perhitungan pada V angin $5,01$ $m/s$ dan suhu $29^{\circ}C$	29
Tabel 4.5 Hasil perhitungan pada V angin $6,03$ $m/s$ dan suhu $32,6^{\circ}C$	29
Tabel 4.6 Hasil perhitungan pada V angin $7$ $m/s$ dan suhu $32,4^{\circ}C$	29
Tabel 4.7 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm pada V angin $5,01$ $m/s$ dan suhu $30,8^{\circ}C$	31
Tabel 4.8 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm pada V angin $6,03$ $m/s$ dan suhu $31^{\circ}C$	32
Tabel 4.9 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm pada V angin $7$ $m/s$ dan suhu $30,7^{\circ}C$	32
Tabel 4.10 Hasil perhitungan pada V angin $5,01$ $m/s$ dan suhu $30,8^{\circ}C$	32
Tabel 4.11 Hasil perhitungan pada V angin $6,03$ $m/s$ dan suhu $31^{\circ}C$	33

Tabel 4.12 Hasil perhitungan pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $30,7^\circ\text{C}$	33
Tabel 4.13 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{\text{Darrieus}} = 13 \text{ cm}$ pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $30,8^\circ\text{C}$	35
Tabel 4.14 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{\text{Darrieus}} = 13 \text{ cm}$ pada V angin $6,03 \text{ m/s}$ dan suhu $30,5^\circ\text{C}$	35
Tabel 4.15 Hasil pengujian Turbin gabungan Savonius-Darrieus dengan $L_{\text{Darrieus}} = 13 \text{ cm}$ pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $30,8^\circ\text{C}$	36
Tabel 4.16 Hasil perhitungan pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $30,8^\circ\text{C}$	36
Tabel 4.17 Hasil perhitungan pada V angin $6,03 \text{ m/s}$ dan suhu $30,5^\circ\text{C}$	36
Tabel 4.18 Hasil perhitungan pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $30,8^\circ\text{C}$	37
Tabel 4.19 Hasil pengujian Turbin Savonius pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $28,2^\circ\text{C}$	38
Tabel 4.20 Hasil pengujian Turbin Savonius pada V angin $6,03 \text{ m/s}$ dan suhu $28,5^\circ\text{C}$	39
Tabel 4.21 Hasil pengujian Turbin Savonius pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $28,9^\circ\text{C}$	39
Tabel 4.22 Hasil perhitungan pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $28,2^\circ\text{C}$	39
Tabel 4.23 Hasil perhitungan pada V angin $6,03 \text{ m/s}$ dan suhu $28,5^\circ\text{C}$	40
Tabel 4.24 Hasil perhitungan pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $28,9^\circ\text{C}$	40
Tabel 4.25 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{\text{Darrieus}} = 17 \text{ cm}$ pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $30,5^\circ\text{C}$	42

Tabel 4.26 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm pada V angin $6,03 \text{ m/s}$ dan suhu $30,7^{\circ}\text{C}$	42
Tabel 4.27 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 17$ cm pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $32,8^{\circ}\text{C}$	42
Tabel 4.28 Hasil perhitungan pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $30,5^{\circ}\text{C}$	42
Tabel 4.29 Hasil perhitungan pada V angin $6,03 \text{ m/s}$ dan suhu $30,7^{\circ}\text{C}$	43
Tabel 4.30 Hasil perhitungan pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $32,8^{\circ}\text{C}$	43
Tabel 4.31 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $28,5^{\circ}\text{C}$	45
Tabel 4.32 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm pada V angin $6,03 \text{ m/s}$ dan suhu $28,5^{\circ}\text{C}$	45
Tabel 4.33 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 15$ cm pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $28,7^{\circ}\text{C}$	45
Tabel 4.34 Hasil perhitungan pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $28,5^{\circ}\text{C}$	46
Tabel 4.35 Hasil perhitungan pada V angin $6,03 \text{ m/s}$ dan suhu $28,5^{\circ}\text{C}$	46
Tabel 4.36 Hasil perhitungan pada V angin $7 \text{ m/s}$ dan suhu $28,7^{\circ}\text{C}$	46
Tabel 4.37 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm pada V angin $5,01 \text{ m/s}$ dan suhu $29,8^{\circ}\text{C}$	48

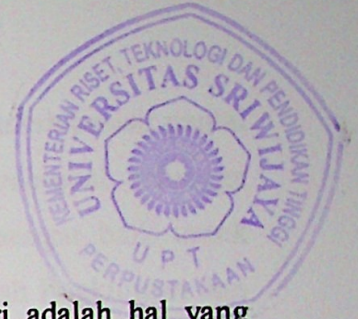
Tabel 4.38 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm pada $V$ angin $6,03$ $m/s$ dan suhu $30,6^{\circ}C$	48
Tabel 4.39 Hasil pengujian Turbin Darrieus dengan $L_{Darrieus} = 13$ cm pada $V$ angin $7$ $m/s$ dan suhu $30,5^{\circ}C$	48
Tabel 4.40 Hasil perhitungan pada $V$ angin $5,01$ $m/s$ dan suhu $29,8^{\circ}C$	49
Tabel 4.41 Hasil perhitungan pada $V$ angin $6,03$ $m/s$ dan suhu $30,6^{\circ}C$	49
Tabel 4.42 Hasil perhitungan pada $V$ angin $7$ $m/s$ dan suhu $30,5^{\circ}C$	49



## DAFTAR SIMBOL

Lambang	Keterangan	Satuan
$P_{angin}$	Daya angin	W
V	Kecepatang angin	$m/s$
A	Luas penampang yang dilewati angin	$m^2$
$\rho$	Massa jenis udara	$kg/m^3$
$C_l$	Koefisien <i>lift</i>	-
$C_d$	Koefisien <i>drag</i>	-
$F_l$	Gaya <i>lift</i>	N
$F_d$	Gaya <i>drag</i>	N
T	Torsi	Nm
$F_1$	Besar beban yang dipasangkan pada ujung tali 1	N
$F_2$	Besar beban yang dipasangkan pada ujung tali 2	N
$P_{turbin}$	Daya turbin	W
$\omega$	Kecepatan sudut	$rad/s$
n	Putaran poros turbin	rpm
$R_d$	Jari-jari <i>brake drum / pulley</i>	m
$\lambda$	<i>Tip speed ratio</i>	-
$V_{sudu}$	Kecepatan Sudu	$m/s$
$C_p$	Koefisien daya turbin	-
$C_T$	Koefisien torsi turbin	-
$\eta_T$	Efisiensi turbin	%

# BAB 1 PENDAHULUAN



## 1. Latar Belakang

Kebutuhan terhadap energi dalam aktivitas sehari-hari adalah hal yang mutlak bagi seluruh umat manusia. Minyak bumi, gas alam dan batu bara adalah contoh dari sumber energi yang paling banyak dimanfaatkan di bumi ini. Dalam pemanfaatannya minyak bumi, gas alam dan batu bara dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya (listrik, mekanik, dll) sesuai kebutuhan manusia sehari-hari. Namun, energi fosil ini memiliki tiga kekurangan utama yaitu sumbernya di alam yang terbatas, dapat menimbulkan kerusakan lingkungan selama proses eksplorasi dan produksinya, serta menyebabkan pemanasan global (*global warming*) yang berasal dari gas hasil pembakaran energi fosil tersebut.

Meningkatnya pertumbuhan penduduk, menjamurnya kawasan-kawasan industri dan polusi udara yang semakin meningkat di Indonesia menjadi tantangan tersendiri, dimana kita dituntut untuk dapat memenuhi kebutuhan energi nasional dengan cara mencari sumber energi yang banyak terdapat di alam namun tetap ramah lingkungan. Energi terbarukan merupakan jawaban dari permasalahan tersebut yang dalam hal ini adalah energi angin yang dimanfaatkan menggunakan turbin angin.

Salah satu jenis turbin angin adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). TASV memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama TASV yaitu mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV terdiri dari beberapa jenis turbin angin, diantaranya adalah kombinasi turbin angin Darrieus dengan turbin angin Savonius (turbin gabungan Savonius-Darrieus). Jenis ini memiliki kemampuan *self-starting* yang bagus, sehingga hanya membutuhkan angin dengan kecepatan rendah untuk dapat memutar rotor dari turbin angin ini. Selain itu, torsi yang dihasilkan turbin angin jenis savonius relatif tinggi (Menet, 2004).

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki banyak daerah pesisir pantai dimana angin yang berhembus kencang namun arahnya berubah-ubah sehingga turbin gabungan Savonius-Darrieus memiliki prospek yang sangat baik untuk diaplikasikan sebagai sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya. Oleh karena uraian di atas maka penulis membuat skripsi yang berjudul **“STUDI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN ANGIN DENGAN EMPAT SUDU GABUNGAN SAVONIUS-DARRIEUS NACA 0020”**.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Dalam penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat turbin angin gabungan Savonius-Darrieus.
2. Melakukan pengujian untuk mendapatkan besar daya turbin serta efisiensi yang dihasilkan dengan pembebanan dan panjang lengan turbin yang berbeda-beda.
3. Mengetahui pengaruh antara panjang lengan turbin dengan daya dihasilkan.

### **1.3. Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini, dibatasi dengan permasalahan sebagai berikut:

1. Menggunakan turbin angin sumbu vertikal jenis gabungan Savonius-Darrieus dengan jumlah sudu Savonius dua buah dan sudu Darrieus NACA 0020 dua buah.
2. Pengujian dilakukan di dalam *wind tunnel* WT-40 Subsonic.
3. Pada pengujian letak sudu sejajar antara sudu Savonius dengan sudu Darrieus.
4. Kecepatan udara yang digunakan adalah  $5,01 \text{ m/s}$  ;  $6,03 \text{ m/s}$  ;  $7 \text{ m/s}$ .
5. Parameter pengujian dilakukan dengan mengubah besar pembebanan dan variasi panjang lengan sudu Darrieus.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat model turbin dan melakukan pengujian.
2. Menganalisis besarnya daya angin dan daya turbin yang dihasilkan, kemudian mengubahnya ke bentuk grafik.
3. Mengkaji nilai efisiensi maksimum dari turbin gabungan Savonius-Darrieus.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah kiranya penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan atau referensi dalam mendesain turbin angin gabungan Savonius-Darrieus yang memiliki efisiensi tinggi dengan memperhatikan parameter-parameter kerjanya. Pada penelitian ini juga, hasil penelitian dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- ABB Group. (2011). *Wind Power Plants*. Tehnical Application Papers. No. 13.
- Ali. (2013). *Experimental Comparison Study for Savonius Wind Turbine of Two & Three Blades at Low Wind Speed*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol. 3. Issue. 5. pp.2978-2986.
- Atmadi, Fitroh. (2008). *Pengembangan Metode Parameter Awal Rotor Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius*. Jurnal Teknologi Dirgantara. Vol. 6, No.1. LAPAN.
- Daryanto. (2011). *Teknik Konversi Energi*. PT. Sarana Tutorial Nurani Sejahtera. Bandung, Indonesia.
- El-Wakil. (1985). *Powerplant Technology*. McGraw-Hill Book Company .Singapore.
- Farid. *Optimasi Daya Turbin Angin Savonius dengan Variasi Celah dan Perubahan Jumlah Sudu*. Pada prosiding SNST ke-5 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, Indonesia.
- Gavalda, Massons and Diaz. (1989). *Experimental Study On Self-Adapting Darrieus-Savonius Wind Machine*. Journal of Solar and Wind Technology. Vol. 7, No. 4, Issue 4, pp.457-461.
- Gupta, Biswas and Sharma. (2008). *Comparative study of a three-bucket Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius-three-bladed Darrieus rotor*. Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology (NIT), India.
- Hoerner. (1965). *Fluid-Dynamic Drag: Practical Information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance*. Hoerner Fluid Dynamics. United States of America.
- Irsyad. (2016). *Penggunaan Bentuk Sudu Setengah Silinder Elliptik untuk Meningkatkan Efisiensi Turbin Savonius*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Vol. 10, No. 2.
- Kalmikov and Dykes. (2011). *Wind Power Fundamentals*. Massachusetts Institute of Technology, Mechanical Engineering Departement, Boston, United States of America.

- Menet. (2004). *A double-step Savonius rotor for local production of electricity : a design study*. ENSIAME / Groupe de Recherche Energies et Environnement (GREEN) Universite de Valenciennes, France.
- Pritchard. (2011). *Fox and McDonald's Introduction To Fluid Mechanics 8th edition*. John Wiley and Sons, Inc. United States of America.
- Pudjanarso, Astu dan Nursuhud. (2012). *Mesin Konversi Energi Edisi 3*. C.V. Andi Offset. Yogyakarta, Indonesia.
- Setiaji, Sarwono dan Hantoro. (2011). *Studi Numerik dan Eksperimental Peformansi Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai dengan Variasi Seri Airfoil dan Panjang Chrord*. Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Istitut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia.
- Takao, Kuma, Maeda, Kamada, Oki and Minoda. (2009). *A Straight-bladed Vertical Axis Wind Turbine with a Directed Guide Vane Row, Effect of Guide Van Geometry on the Performance*. Journal of Thermal Science. Vol. 18, No. 1.