**SKRIPSI**

# STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL DENGAN PRE-SWIRL AUGMENTED


**FRANDIAZ AGUSTAN ERVEGA**

**03051381722096**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**


**2022**

**SKRIPSI**

# STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL DENGAN PRE-SWIRL AUGMENTED

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik**


**OLEH**
**FRANDIAZ AGUSTAN ERVEGA**
**03051381722096**

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

**2022**

# HALAMAN PENGESAHAN

# STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL DENGAN PRE-SWIRL AUGMENTED

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**Oleh:**
**Frandiaz Agustan Ervega**
**03051381722096**

Palembang, Juli 2022

Mengetahui
**Ketua Program Studi Teknik Mesin**

**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.**
**NIP. 197112251997021001**

**Pembimbing**

**Ir. Dyos Santoso, M.T.**
**196012231991021001**

| | | |
|---|---|---|
| **JURUSAN TEKNIK MESIN** | **Agenda No.** | **:** |
| **FAKULTAS TEKNIK** | **Diterima Tanggal** | **:** |
| **UNIVERSITAS SRIWIJAYA** | **Paraf** | **:** |

# SKRIPSI

| | |
|---|---|
| **NAMA** | **: Frandiaz Agustan Ervega** |
| **NIM** | **: 03051381722096** |
| **JURUSAN** | **: Teknik Mesin** |
| **JUDUL SKRIPSI** | **: Studi Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan Pre-Swirl Augmented** |

| | | |
|---|---|---|
| **DIBUAT TANGGAL** | **:** | **Februari 2022** |
| **SELESAI TANGGAL** | **:** | **Juli 2022** |

Palembang, 2022
Diperiksa dan disetujui oleh :

Mengetahui
**Ketua Program Studi Teknik Mesin**

**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.**
**NIP. 197112251997021001**

**Pembimbing**

**Ir. Dyos Santoso, M.T.**
**196012231991021001**

# HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "**Studi Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan *Pre-swirl Augmented***" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 28 Juli 2022.

Palembang, 28 Juli 2022

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua:

1. **Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.** (.....)
   **NIP. 195606041986021001**

Sekretaris:

2. **Aneka Firdaus, S.T., M.T.** (.....)
   **NIP. 197502261999031001**

Anggota:

3. **Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.** (.....)
   **NIP. 196005281989031002**

Mengetahui
**Ketua Program Studi Teknik Mesin**

**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.**
**NIP. 197112251997021001**

**Pembimbing**

**Ir. Dyos Santoso, M.T.**
**196012231991021001**

# HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Frandiaz Agustan Ervega
NIM : 03051381722096
Judul : Studi Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan *Pre-Swirl Augmented*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan saya dan 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 paksaan dari siapapun.

Palembang 1 Agustus 2022

Frandiaz Agustan Ervega
NIM.03051381722096

# HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Frandiaz Agustan Ervega

NIM : 03051381722096

Judul : Studi Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan *Pre-Swirl Augmented*

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 paksaan dari siapapun.

Palembang 1 Agustus 2022

Frandiaz Agustan Ervega
NIM.03051381722096

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat, berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Skripsi yang berjudul **"Studi Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal Dengan Pre-Swirl Augmented**".

Adapun tujuan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat mutlak untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin pada program studi Teknik mesin di Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Irsyadi Yani, S.T, M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
2. Amir Arifin, S.T, M.Eng., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Ir. Dyos Santoso, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang juga memberikan ilmu yang bermanfaat, bimbingan, nasihat, dan motivasi-motivasi agar skripsi ini dapat berjalan sesuai dengan semestinya.
4. Qumarul Hadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing saya selama menjalani perkuliahan di jurusan Teknik Mesin.
5. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membekali dengan ilmu yang bermanfaat sebelum menyusun ini.
6. Ayah dan bunda yang selalu menjadi pendukung utama dalam segala hal terutama dalam hal materil dan moral.
7. Teman-teman Teknik Mesin 2017, 2018 Kampus Palembang yang turut andil dalam membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-teman di luar kampus yang selalu mendoakan, memberi nasehat, memberi motivasi, dan menyemangati dalam proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak sekali kekurangan karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini ke depannya akan sangat membantu. Penulis juga berharap dengan diterbitkannya skripsi ini dapat menambah referensi dalam melakukan studi pada turbin angin sumbu vertikal.

Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang di kemudian hari.

Palembang, Juni 2022

Frandiaz Agustan Ervega
NIM.03051381722096

# RINGKASAN

STUDI EKSPERIMENTAL TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL DENGAN *PRE-SWIRL AUGMENTED*

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 30 Juli 2022

Frandiaz Agustan Ervega; Dibimbing oleh Ir. Dyos Santoso, M.T

Experimental Study of Vertical Axis Wind Turbine with Pre-Swirl Augmented

xxv + 57 halaman, 3 tabel, 21 gambar, 2 lampiran

RINGKASAN

Energi angin merupakan salah satu energi yang berpotensi besar menjadi sumber utama energi terbarukan. Dengan bantuan sistem, energi angin dapat dimanfaatkan untuk merubah energi gerak menjadi energi listrik yang mana angin digunakan sebagai medianya. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan pembangkit listrik yang bebas emisi yang tidak berdampak buruk terhadap lingkungan. Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Dari sisi kebijakan, untuk mengatasi ketersediaan energi indonesia melalui PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Di Indonesia potensi energi angin yang telah diidentifikasi sekitar 978 MW. kekuatan energi angin yang ada didarat memiliki potensi energi yang terbatas, dengan kecepatan angin rata-rata antara 3 sampai 7 meter per detik. Daerah Sidrap dan Joneponto di Sulawesi Selatan memiliki potensi energi terbesar yang menghasilkan energi listrik dari angin hingga lebih dari 200 MW. berdasarkan analisis dan pemetaan potensi energi angin yang telah dilakukan oleh kementerian ESDM, wilayah dengan potensi energi angin yang cukup besar antara lain, Sukabumi (170 MW), Garut (150 MW), Lebak (150 MW), Pandeglang (150 MW), serta Lombok (100 MW). Studi eksperimental ini dilakukan pada suatu turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari stator dan rotor konsentris. Rotor terletak di bagian dalam turbin dan digerakkan untuk

berputar oleh aliran dari stator di sekitar pusat turbin. Ada dua pelat ujung di bagian atas dan bawah turbin untuk mengurangi kehilangan energi karena vortisitas ujung. Stator mengelilingi rotor di daerah luar turbin, membelokkan dan mempercepat aliran arus bebas sebelum menabrak rotor. Jumlah sudu gerak rotor adalah 5, sedangkan jumlah sudu pengarah stator bervariasi mulai dari nol (tanpa sudu pengarah), enam dan 12. Profil sudu yang digunakan baik untuk sudu pengarah pada stator maupun sudu gerak pada rotor adalah jenis airfoil pelat melengkung modifikasi cp-100-050-gn yang relatif sederhana. Pada dasarnya tujuan utama penelitian ini merupakan pembuktian konsep bahwa penggunaan stator sebagai sudu pengarah (*pre-swirl augmented*) pada turbin angin sumbu vertikal dapat meningkatkan performansi turbin tersebut secara signifikan. Secara teoritis di ketahui bahwa kecepatan angin memiliki eksponen 3 yang diterapkan pada rumus untuk daya yang dapat diekstraksi oleh turbin angin. Ini berarti bahwa peningkatan kecil dalam kecepatan angin akan menghasilkan peningkatan daya yang besar. Pengujian dilakukan pada kecepatan angin rata-rata 4 m per detik. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa penggunaan stator dengan 6 sudu pengarah memberikan peningkatan koefisien daya sebesar 52%, sedangkan penggunaan stator dengan 12 sudu pengarah memberikan peningkatan sedikit lebih besar yaitu 58%. Demikian pula halnya dengan kemampuan starting, nampak bahwa waktu yang diperlukan oleh turbin yang menggunakan stator dengan 12 sudu pengarah untuk mencapai kecepatan maksimum dalam kondisi tanpa beban juga lebih singkat dari pada turbin yang menggunakan stator dengan 6 sudu pengarah.

**Kata Kunci** : Turbin angin sumbu vertikal, *pre-swirl augmented*, *cambered plate airfoil*, koefisien daya, *starting capability*.

**Referensi** : 21 (2004-2019)

# SUMMARY

EXPERIMENTAL STUDY OF VERTICAL AXIS WIND TURBINE WITH PRE-SWIRL AUGMENTED

Scientific papers in the form of Thesis, 30 July 2020

Frandiaz Agustan Ervega; supervised by Ir. Dyos Santoso, M.T

Studi Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal Dengan Pre-Swirl Augmented

xxv + 57 pages, 3 tables, 21 pictures, 2 attachments

Summary

Wind energy is one of the energies with great potential to become the primary renewable energy source. Using a system, wind energy can convert kinetic energy into electrical energy where the wind is used as the medium. Moreover, wind power plants are emission-free power plants that do not have a negative impact on the environment. The reduced production of fossil energy, especially oil, and the global commitment to reducing greenhouse gas emissions, has prompted the government to continuously increase the role of new and renewable energy to maintain energy security and independence. From a policy perspective, to address Indonesia's energy availability through PP no. 79 of 2014 concerning the National Energy Policy, the target for the new and renewable energy mix in 2025 is at least 23% and 31% in 2050. In Indonesia, the identified wind energy potential is around 978 MW. Wind energy power on land has limited energy potential, with wind speeds averaging between 3 and 7 meters per second. The Sidrap and Joneponto areas in South Sulawesi have the most significant energy potential, generating electricity from wind up to more than 200 MW. Based on the analysis and mapping of wind energy potential that has been carried out by the Ministry of Energy and Mineral Resources, areas with significant wind energy potential include Sukabumi (170 MW), Garut (150 MW), Lebak (150 MW), Pandeglang (150 MW), and Lombok (100 MW).

This experimental study was carried out on a vertical axis wind turbine with pre-swirl augmented consisting of a concentric stator and rotor. The rotor is located in the inner region the turbine and is driven to spin by the flow from the stator around the center of the turbine. The stator surrounds the rotor in the outer region of the turbine, turns and accelerates the free-stream flow before it strikes the rotor. The number of rotor blades is five pieces, while the number of stator guide blades varies from zero (without guide blades), six and 12 pieces. The profile of the blades used for both the guide blades and the moving blades is a type of cambered plate airfoil modified cp-100-050-gn, which is relatively simple. Basically, this research's main objective is to prove that using a stator as a guide blade (pre-swirl augmented) on a vertical axis wind turbine can significantly improve the turbine performance. Theoretically, it is known that the wind speed has an exponent of 3 applied to the formula for the power that a wind turbine can extract. That means that a slight increase in wind speed will result in a large increase in power. The test was carried out at an average wind speed of 4 m per second. The test results show that using a stator with six guide blades increases the power coefficient by 52% while using a stator with 12 guide blades gives a slightly larger increase of 58%. Likewise, with the starting ability, it appears that the time required by the turbine, which uses a stator with 12 guide blades, to reach the maximum speed under no-load conditions is also shorter than that of a turbine using a stator with six guide blades.

**Keywords** : Vertical axis wind turbine, pre-swirl augmented, cambered plate airfoil, power coefficient, starting capability.

**Citation** : 21 (2004-2019)

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... 1
HALAMAN PENGESAHAN ..... iv
HALAMAN PERSETUJUAN ..... viii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ..... x
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS ..... xii
KATA PENGANTAR ..... xiv
RINGKASAN ..... xvi
SUMMARY ..... xviii
DAFTAR ISI ..... xxi
DAFTAR GAMBAR ..... xxiii
DAFTAR TABEL ..... xxiv
DAFTAR LAMPIRAN ..... xxv
**BAB 1 PENDAHULUAN** ..... 1
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 7
1.3 Batasan Masalah ..... 7
1.4 Tujuan Penelitian ..... 8
1.5 Manfaat penelitian ..... 8
**BAB 2 LANDASAN TEORI** ..... 9
2.1 Energi Angin ..... 9
2.2 Turbin Angin ..... 10
2.3.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) ..... 11
2.3.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) ..... 13
2.3 Turbin Angin Savonius ..... 15
2.4 Turbin Angin Darrieus ..... 17
2.5 Teori Betz ..... 18
2.6 Turbin Angin Sumbu Vertikal Pre-swirl Augmented ..... 23
2.7 Airfoil ..... 27
2.7.1 Airfoil cp-160-050-gn ..... 29
2.8 Jumlah sudu ..... 29

2.9 Parameter Turbin Angin ..... 31
**BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN** ..... 35
3.1 Metode Penelitian ..... 35
3.2 Diagram Alir Penelitian ..... 35
3.3 Kondisi Batas Pengujian ..... 36
3.4 Rancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal ..... 37
3.1.1 Diemensi Utama Rotor ..... 38
3.1.2 Dimensi Utama Stator ..... 39
3.1.3 Sudu gerak dan sudu pengarah ..... 39
3.2 Variasi Pengujian ..... 40
3.3 Alat Ukur ..... 41
**BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN** ..... 43
4.1 Hasil ..... 43
4.1.1 Potensi Energi Angin ..... 43
4.1.2 Hasil Pengujian Turbin Angin dengan 12 sudu stator ..... 43
4.2 Pembahasan ..... 46
**BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN** ..... 51
5.1 Kesimpulan ..... 51
5.2 Saran ..... 52
**DAFTAR PUSTAKA** ..... 53
**LAMPIRAN** ..... 56

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Karakteristik Starting Turbin Darrieus (Solo) Dan Kombinasi Turbin Darieus Dan Savonius .....5
Gambar 2.1Turbin Angin Sumbu Horizontal.....12
Gambar 2.2 Variasi Jumlah Blade Pada .....12
Gambar 2.3 Macam–Macam Desain .....13
Gambar 2.4 Skematik Rotor Turbin Angin Savonius .....16
Gambar 2.5 Turbin Angin Darrieus .....17
Gambar 2.6 analisis kinerja ideal turbin angin.....19
Gambar 2.7 sketsa kecepatan aliran rata-rata dan profil tekanan pada turbin...20
Gambar 2.8 Koefisien Daya Pada Turbin Pada Variasi Tipe.....22
Gambar 2.9 Hubungan Kecepatan Aliran Terhadap Thrust.....22
Gambar 2.10 Skematik Turbin Angin Sumbu Vertikal Pre-Swirl Augmented.24
Gambar 2.11 Ilustrasi Grafis Dari Posisi Relatif Antara Sudu Stator Dan Sudu Rotor.....25
Gambar 2.12 Ilustrasi Dari Pre-Swirl Angin Masuk Yang Diperoleh Dari Sudu Stator .....26
Gambar 2.13 Skematik Airfoil .....27
Gambar 2.14 Bentuk Airfoil.....29
Gambar 2.15 TASV Dengan 3 Sudu Rotor Dan 8 Sudu Stator .....30
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....36
Gambar 3.2 Skematik Dan Tampak Atas Alat Pengujian .....38
Gambar 3.3 profil airfoil pelat melengkung.....40
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Torsi Terhadap ω.....46
Gambar 4.2 Grafik Hubungan CP Terhadap TSR.....47
Gambar 4.3 Grafik Hubungan PT Terhadap TSR.....48
Gambar 4.4 Grafik Hubungan PT Terhadap N .....49
Gambar 4.6 Starting Karakteristik Dari Variasi Jumlah Rotor .....50

# DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengujian Turbin Angin Dengan Variasi Stator 0 .....36
Tabel 4.2 Pengujian Turbin Angin Dengan Variasi Stator 6 .....36
Table 4.3 Pengujian Turbin Angin Dengan Variasi Stator 12 .....37

# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 .....49
Lampiran 2 .....50

# BAB 1
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi yang meningkat setiap tahunnya dapat memicu permasalahan seperti berkurangnya sumber energi fosil. Sumber energi fosil merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui yang saat ini penggunaannya masih menjadi sumber energi yang paling sering digunakan untuk mengoperasikan mesin-mesin penghasil energi listrik. Penggunaan sumber energi fosil yang berlebihan dapat memicu terjadinya efek rumah kaca. Dampak dari penggunaan energi fosil terhadap lingkungan baik skala regional maupun global berupa pencemaran udara dan pemanasan global yang pada akhirnya menjadi penyebab utama terjadinya perubahan iklim. [1].

Energi angin merupakan salah satu energi yang berpotensi besar menjadi sumber utama energi terbarukan. Dengan bantuan sistem, energi angin dapat dimanfaatkan untuk merubah energi gerak menjadi energi listrik yang mana angin digunakan sebagai medianya. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan pembangkit listrik yang bebas emisi yang tidak berdampak buruk terhadap lingkungan. Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Dari sisi kebijakan, untuk mengatasi ketersediaan energi indonesia melalui PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. [2]

Di Indonesia potensi energi angin yang telah diidentifikasi sekitar 978 MW. kekuatan energi angin yang ada didarat memiliki potensi energi yang terbatas, dengan kecepatan angin rata-rata antara 3 m/s sampai 7 m/s. Daerah Sidrap dan Joneponto di Sulawesi selatan memiliki potensi energi terbesar yang

menghasilkan energi listrik dari angin hingga lebis dari 200 MW. berdasarkan analisi dan pemetaan potensi energi angin yang telah dilakukan oleh kementerian ESDM, wilayah dengan potensi energi angin yang cukup besar antara lain, Sukabumi (170 MW), Garut (150 MW), Lebak (150 MW), Pandeglang (150 MW), serta Lombok (100 MW). [2]

Peningkatan kesadaran akan pentingnya menjaga lingkungan dari dampak negatif dari sumber energi tidak terbarukan atau energi fosil telah menjadi alasan akan meningkatnya permintaan untuk teknologi energi terbarukan. Namun sayangnya, energi yang tersedia memiliki kecepatan angin yang bervariasi. Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang berpotensi besar karena simpel dan memiliki desain yang sederhana. Pada saat ini, efisiensi dan daya output yang relatif rendah yang dihasilkan turbin angin sumbu vertikal membuat turbin angin tersebut menjadi tidak menarik sebagai pilihan dikarenakan pada pembiayan pemeliharaan turbin itu sendiri. Namun, turbin angin sumbu vertikal dapat dengan mudah diletakkan pada atap rumah atau strukur bangunan yang ada sehinggan dapat meminimalkan biaya instalasi.

Secara historis dalam efektivitas biaya maupun kinerja turbin angin sumbu vertikal (TASV) kalah jika dibandingan dengan turbin angin sumbu horizontal (TASH). Meskipun demikian beberapa keuntungan dari turbin tersebut seperti *compactness* dan instalasi yang sederhana. Turbin angin sumbu vertikal banyak ditinggalkan demi *output* daya yang lebih tinggi dan biaya yang lebih rendah.

Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan pre-swirl augmented terbentuk dari susunan sudu stator tetap *(pre-swirl)* dan sudu rotor bergerak. Sudu stator berfungsi untuk memberikan percepatan aliran fluida ke dalam susunan sudu rotor yang terhubung ke generator. Pada sebuah artikel yang ditulis oleh Dr. Gecheng Zha. Artikel tersebut berisi informasi mengenai jumlah sudu, stator dan rotor, dan efeknya pada koefisien daya pada turbin.

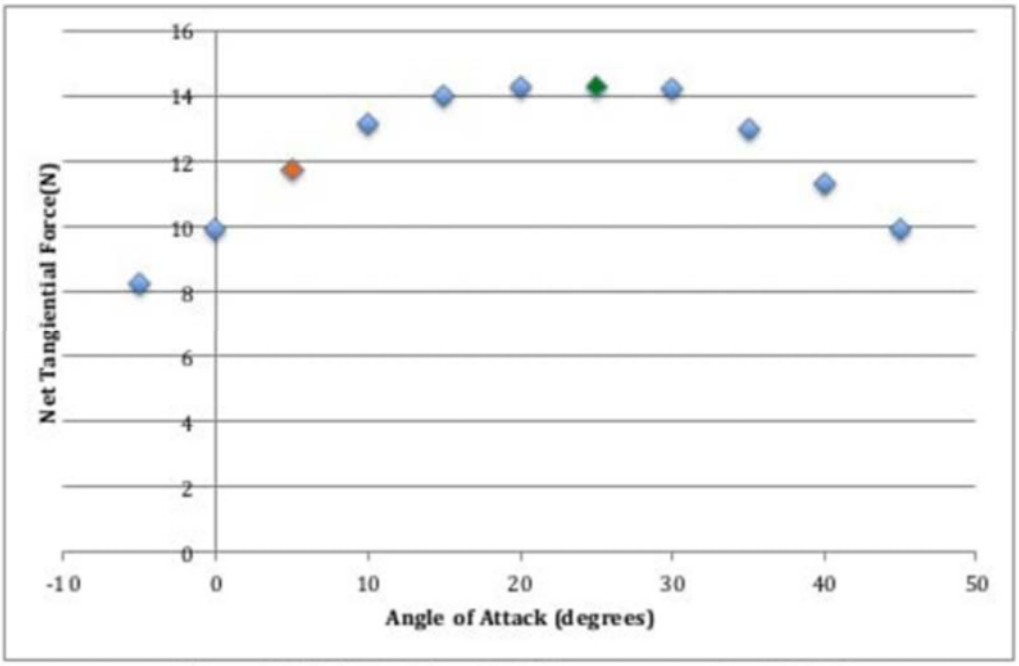
[3] Pada akhir 2012, laboratorium nasional Sandia melakukan proyek untuk menguji kelayakan arsitektur turbin angin sumbu vertikal (TASV) untuk penyebaran skala besar di lingkungan lepas pantai. Tujuan utama pada proyek ini untuk mengurangi hambatan terbesar pada pengembangan angin dilepas pantai *high cost of energy (COE)* sebesar 20% atau lebih melalui penerapan

teknologi rotor pada turbin angin sumbu vertikal. Adapun capaian pada proyek penelitian ini yang pertama, mengembangkan desain rotor yang murah serta mudah diproduksi. Kedua, menunjukkan potensi pengurangan *COE* lebih dari 20% pada sistem turbin angin sumbu vertikal. Ketiga, Mengembangkan spesialisasi teknik manufaktur, metode uji sertifikasi, serta rencana komersil untuk rotor TASV lepas pantai. Keempat, menguji terowongan angin dan tangki gelombang angin gabungan, *proof of concpet subscale,* generator turbin angin lepas pantai yang mengambang di air menggunakan rotor TASV.

[4] Departemen Teknik Mesin di Universitas Dalhousie memiliki proyek pada tahun 2005 mengenai TASV dengan konsentrasi pada beberapa masalah TASV yang tidak dapat berputar sendiri atau self-starting. Artinya turbin baru bisa berputar sendiri jika dibawa pada kecepatan operasional tertentu. Pada proyek ini membahasa berbagai *pitch* sudu (pasif dan aktif) namun karena peningkatan kompleksitas, tingkat kegagalan, pemeliharaan yang diperlukan, serta bagian yang diperlukan menjadi lebih rumit. Sejak tahun 2005, Turbin Angin Sumbu Vertikal telah banyak dikembangkan tetapi sekali lagi turbin ini memiliki efisiensi yang rendah. Publikasi penelitian ini juga berguna untuk menentuka metode perbaikan apa yang layak untuk diteliti lebih lanjut. Hasilnya, pada penelitian ini menunjukkan bahwa manfaat kontrol *pitch* sudu aktif dinegasikan oleh tingkat kegagalan yang tinggi, persyaratan pemeliharaan, dan biaya produksi secara keseluruhan, singga menunjukkan bahwa pengadaat sudu stator lebih sesuai untuk desain ini.

[5] Melakukan penelitian dengan menggunakan desain turbin angin sumbu vertikal yang sudah dipatentkan oleh dr. Gecheng Zha. Penelitian ini menggunakan stator *pre-swirl* dengan menggunakan variasi orientasi sudut $6^o$ dan $25^o$. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa penambahan stator *pre-swirl* dalam desain turbin angin sumbu vertical dapat meningkatkan efisiensi yang diperoleh secara eksperimental, pada penelitian ini juga dilakukan optimasi lebih lanjut dengan menggunakan prinsip mekanika fluida dan analisi komputasi sehingga hasilnya output daya dan efisiensi turbin angin sumbu vertical meningkat sebesar 57,15% jika dibandingkat dengan desain dasar. Juga pada penelitian ini ditentukan bahwa

efisiensi aerodinamis dari desain turbin angin yang dioptimalkan adalah 22,25%, yang menunjukkan bahwa turbin tersebut dapat mengungguli turbin angin berukuran serupa yang ada saat ini di pasaran, baik dalam efisiensi dan biaya per unit daya ($8,42 per Watt).



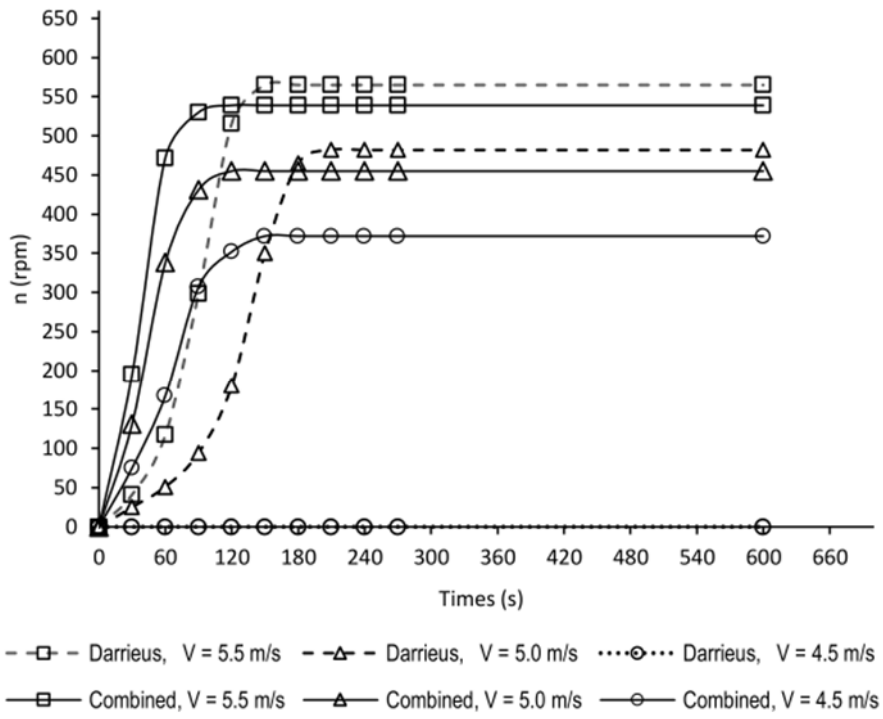

Gambar 1.1 Gaya tangensial terhadap sudut serang

Titik data berwarna jingga menunjukkan titik data sudut serang awal, dan titik data berwarna hijau menunjukkan sudut serang yang ideal. Menggunakan sudut serang yang dioptimalkan ini, ditentukan bahwa koefisien daya turbin dapat ditingkatkan dengan memutar sudu-sudu airfoil rotor. Hasil ini juga membuktikan bahwa sudut serang pada sudu turbin angin mempengaruhi gaya tangensial yang dihasilkan pada turbin angin.

[6]Penemuan konsep *pre-swirl* pada Turbin Angin Sumbu Vertikal awalnya diperkenalkan oleh Dr. Gecheng Zha dan desain turbin ini telah dipatentkan pada tahun 2011. Turbin angin sumbu vertikal ini dibentuk dari susunan sudu stator tetap (*pre-swirl)* berfungsi untuk memberikan percepatan aliran fluida ke dalam susunan sudu rotor yang terhubung pada generator

untuk menjalankan pembangkit listrik. Sudu stator dirancang untuk membelokkan udara ke arah rotasi sudu rotor yang optimal dan mempercepat aliran udara sebelum membentur sudu rotor. Setiap sudu stator dioerientasikan pada sudut stagger yang cukup sehingga kecepatan relatif tidak melebihi sudut stall sudu rotor tersebut. Pemberian sudu stator dirancang untuk mendefleksi aliran udara ke arah rotasi sudu rotor yang optimal serta mempercepat aliran udara sebelum membentur sudu rotor. Sehingga sudu-sudu rotor mengeluarkan daya dengan memutar aliran dengan sudut besar guna merotasi generator. Oleh karena itu, tujuan dari penemuan Dr. Zha ini memberikan desain turbin angin yang memiliki bilah stator (*pre-swirl*) dan rotor dari formasi geometris yang memberikan efisiensi yang lebih besar jika dibandingkan turbin angin sumbu vertikal konvensional. Pada konfigurasi dasar pada penemuan dari Dr. Zha ini menggunakan paling sedikit tiga sudu stator dan paling sedikit dua sudu rotor. Diungkapkan bahwa jumlah sudu stator dan rotor dapat ditingkatkan dalam jumlah dan ukuran tergantung pada kebutuhan dan jenis generator yang akan digerakkan dan energi mekanik terkait yang akan diperoleh.

[7] Mengkaji kombinasi turbin Savonius-Darrieus, dimana turbin angin Savonius berfungsi sebagai *starting device*. Kombinasi turbin ini menggunakan masing-masing 2 sudu. Profil sudu turbin Savonius menggunakan airfoil E378 il yang sudah dimodifikasi, dengan 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.




Gambar 1.2 Karakteristik starting turbin Darrieus (solo) dan kombinasi turbin Darieus dan Savonius [7]

Dari hasil, pengujian, pada kecepatan angin 5,5 m/s untuk mencapai kecepatan 539 rpm, Darrieus tanpa kombinasi membutuhkan waktu sebesar 150 detik sedangkan, kombinasi turbin Savonius-Darrieus membutuhkan waktu kurang dari 90 detik. Kombinasi Savonius-Darrieus dapat meningkatkan self-starting sebesar 60%. Namun, dari sisi daya yang diperoleh, kombinasi Savonius-Darrieus menghasilkan daya sebesar 2,375 W dibandingkan dengan turbin Darrieus tanpa kombinasi sebesar 3,136 W. Penurunan daya tersebut terjadi karena pada saat kecepatan tinggi, daya yang dihasilkan turbin Darrieus dihubungkan ke turbin Savonius untuk mempercepat putaran turbin.

Berdasarkan kondisi di atas, kombinasi turbin Savonius-Darrieus mempunyai keuntungan pada *self-starting*, namun memberikan dampak kurang baik terhadap daya karena pada putaran tinggi turbin Savonius justru menghambat putaran turbin Darrieus. Untuk mengatasi masalah ini, connector turbin Savonius dengan mengusulakan sudu turbin Darrieus menggunakan *one*

*way bearing* (OWB). Sehingga, turbin Savonius dimanfaatkan sebagai self-starting turbin Darrieus, meskipun kedua turbin berada pada satu poros.

## 1.2 Rumusan Masalah

Secara teori daya angin sebanding dengan kecepatan angin pangkat tiga, dengan penambahan *pre-swirl* guna mempercepat aliran udara serta memusatkan aliran udara pada rotor untuk berotasi maka daya angin dapat meningkat sehingga nilai koefisien daya turbin juga meningkat. Disamping itu, jumlah sudu pengarah juga merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh pada performansi turbin angin sumbu vertikal.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapaun beberapa batasan masalah yang ditetapkan pada penelitian ini antara lain :

1. Pengujian dilakukan pada ruangan terbuka menggunakan turbin angin sumbu vertikal dengan rotor berdiameter 0,32 m dan tinggi 0,352 m, pada kecepatan angin 4 m/s.
2. Rotor menggunakan 5 sudu gerak dengan profil airfoil cp-160-50-gm *(modified)*, dengan panjang *chord* 0,12 m dan tebal 0,008 m.
3. Stator menggunakan sudu pengarah dengan profil airfoil cp-160-50-gm *(modified)* dengan panjangan *chord* 0,060 m dan tebal 0,008 m.
4. Variasi jumlah sudu pengarah adalah 0, 6 dan 12.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utuma dari penelitian ini pada dasarnya merupakan pembuktian konsep bahwa penggunaan sudu pengarah sebagai *pre-swirl augmented* pada turbin angin sumbu verikal dapat meningkatkan perfomansi turbin tersebut. disamping itu penelitian ini juga mengkaji pengaruh jumlah sudu pengarah terhadap performansi turbin tersebut.

1. Untuk mendapatkan besarnya koefisien daya pada turbin
2. Mendapatkan karakteristik *starting* pada turbin.

## 1.5 Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam pemblajaran, pendesainan dan pengembangan turbin angin terutama turbin angin sumbu vertikal *pre-swirl augmented*.

# DAFTAR PUSTAKA


[1] A. Meiviana, D. R. Sulistiowati, and M. H. Soejachmoen, *Bumi Makin Panas: Ancaman Perubahan Iklim Di Indonesia*. 2004.

[2] KESDM, *Indonesia Energy Outlook*. 2019.

[3] H. J. Sutherland, D. E. Berg, and T. D. Ashwill, "A Retrospective of VAWT Technology," *Security*, no. January. pp. 1–64, 2012.

[4] J. Decoste, D. Mckay, B. Robinson, S. Whitehead, and S. Wright, "MECH 4010 Design Project Vertical Axis Wind Turbine," Dec. 2005.

[5] S. Boyajian, C. Pecora, and C. Sullivan, "Pre-Swirl Augmented Vertical Axis Wind Turbine."

[6] G. Zha and D. Bertrand, "VERTICAL AXIS WIND TURBINE," US 10 , 024 , 302 B2, 2018 [Online]. Available: https://patentimages.storage.googleapis.com/a5/6d/b3/eb2ccdc0d73e67/US9284943.pdf

[7] 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, no. 1, May 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1500/1/012041.

[8] Bono and G. Suwoto, "PEMBUATAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL DENGAN VARIASI JUMLAH SUDU DAN SISTEM BUKA-TUTUP SIRIP," *EKSERGI J. Tek. Energi*, vol. 14, no. 2, pp. 31–35, 2018.

[9] M. Suprapto, "ANALISIS TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL DENGAN 4, 6 DAN 8 SUDU," *J. Tek. Mesin UNISKA*, vol. 02, no. 01, 2016.

[10] S. T. Anh, *No Titleתמונת מצב: ענף הקיווי*, vol. 66. 2012.

[11] Daryanto, “Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu,” *Balai Pptagg – Upt-Lagg*, no. April. p. 32, 2007.

[12] Y. I. Nakhoda and C. Saleh, “PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SUMBU VERTIKAL UNTUK PENERANGAN RUMAH TANGGA DI DAERAH PESISIR PANTAI,” *Inst. Teknol. Nas. Malang*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, 2017.

[13] M. Latif, “Eisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah,” 2013.

[14] M. H. Ali, “Experimental Comparison Study for Savonius Wind Turbine of Two & Three Blades At Low Wind Speed,” *Int. J. Mod. Eng. Res.*, vol. 3, no. 5, pp. 2978–2986, Sep. 2013.

[15] C. Buana, M. Y. Yunus, M. R. Pratama, and M. S. Nurfaizi, “UJI EXPERIMENTAL MODEL TURBIN HYBRID SAVONIUS BERTINGKAT DAN DARRIEUS TIPE H ROTOR.” pp. 182–190, 2017.

[16] T. M. Letcher, *Wind Energy Engineering*. 2017.

[17] P. Mohan Kumar, K. Sivalingam, T.-C. Lim, S. Ramakrishna, and H. Wei, “Review on the Evolution of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine: Large Wind Turbines,” *Clean Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 205–223, Aug. 2019, doi: 10.3390/cleantechnol1010014.

[18] Y. a. Çengel, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, EIGHTH EDI. New York: McGraw-Hill Education, 2004.

[19] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, and E. Bossanyi, *WiND ENERGY Handbook*. Baffins Lane, Chichester West Sussex, PO19 1UD, England: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2001.

[20] M. Musaruddin, A. Rachman, and M. Hasbi, “Penjelasan Ekspansi Aliran Yang Menyebabkan the Betz Limit Dengan Menggunakan Model Disk Theory,” *Univ. Haluoleo*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2015.

[21] M. Chakraborty, “A Computational Study on two horizontally close sequential airfoils to determine conjoined pressure distribution and aerodynamic influences on each other,” no. May, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.5041.4562.