

SKRIPSI

**PEMANFAATAN PRE-SWIRL AUGMENTED PADA
TURBIN SAVONIUS DENGAN TIGA SUDU HELIX**



MULPI

03051381722090

**PROGRAM STUDI SARJANA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

SKRIPSI

**PEMANFAATAN PRE-SWIRL AUGMENTED PADA
TURBIN SAVONIUS DENGAN TIGA SUDU HELIX**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana
Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH
MULPI
03051381722090

**PROGRAM STUDI SARJANA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

PEMANFAATAN PRE-SWIRL AUGMENTED PADA TURBIN SAVONIUS DENGAN TIGA SUDU HELIX

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

MULPI

03051381722090



Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Irsyadi Yanji, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

Palembang, Oktober 2022

Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing Skripsi

Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001

JURUSAN TEKNIK MESIN : Agenda No
FAKULTAS TEKNIK Diterima
Tanggal :
UNIVERSITAS SRIWIJAYA Paraf
:

SKRIPSI

NAMA : MULPI
NIM : 03051381722090
JUDUL : PEMANFAATAN PRE-SWIRL AUGMENTED PADA
TURBIN SAVONIUS DENGAN TIGA SUDU HELIX
DIBUAT : FEBRUARI 2022
SELESAI : NOVEMBER 2022



Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

Palembang, November 2022

Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

A blue ink signature of Ir. Dyos Santoso, M.T. It includes his name and his NIP number, 196012231991021001, written below it.

Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "**Pemanfaatan Pre-Swirl Augmented Pada Turbin Savonius Dengan Tiga Sudu Helix**" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 03 November 2022.

Palembang, 03 November 2022

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Dr. Dendi Adanta, S.pd, M.T.

()

NIP. 199306052019031016

Anggota :

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

()

NIP. 197502261999031001

3. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.

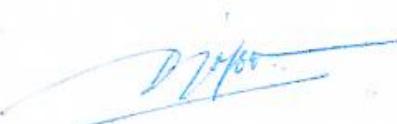
()

NIP. 196005281989031002

Palembang, November 2022

Diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing Skripsi


Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mulp*i*

NIM : 03051381722090

Judul : Pemanfaatan Pre-Swirl Augmented Pada Turbin Savonius Dengan Tiga
Sudu Helix

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasi hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasi 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, November 2022



Mulp*i*

NIM. 03051381722090

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mulp*i*

NIM : 03051381722090

Judul : Pemanfaatan Pre-Swirl Augmented Pada Turbin Savonius Dengan Tiga
Sudu Helix

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi saya, 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.

Palembang, November 2022



NIM. 03051381722090

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Sriwijaya. Penulis menyadari penyusunan proposal skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung.

Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ayah dan mama selaku orang tua yang selalu memberi dukungannya selama masa studi saya.
2. Bapak Ir. Dyos Santoso, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing dan memberikan masukan kepada saya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, MT. selaku dekan fakultas teknik Universitas Sriwijaya
4. Bapak Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
5. Bapak Amir Arifin, S.T, M.Sc selaku sekretaris jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
6. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah memberi saya ilmu dan pengetahuan selama saya berkuliahan di sini.
7. Teman-teman seperjuangan; mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, dan
8. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan karya tulis ini.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih memiliki banyak kekurangan, namun penulis berharap karya tulis ini dapat memberikan manfaat bagi rekan-rekan mahasiswa, khususnya mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

Palembang, November 2022

Penulis

Mulp*i*

NIM 03051381722090

RINGKASAN

PEMANFAATAN PRE-SWIRL AUGMENTED PADA TURBIN SAVONIUS DENGAN TIGA SUDU HELIX

Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi, November 2022

Mulpi ; Dibimbing oleh Ir. Dyos Santoso, M.T

xviii + 51 halaman, 7 tabel, 23 gambar, 1 lampiran

RINGKASAN

Pertumbuhan ekonomi yang terjadi di Indonesia akan diikuti pula dengan meningkatnya permintaan energi di semua sektor. Menipisnya cadangan energi fosil membuat pemerintah mencari sumber energi alternatif yang lain, yaitu Energi Baru Terbarukan (EBT). Potensi energi baru terbarukan di Indonesia mencapai 442 GW ekuivalen. Dari total energi tersebut, potensi energi angin bisa mencapai 60,6 GW ekuivalen. Oleh karena itu digunakan turbin angin untuk mengonversi energi angin tersebut menjadi energi listrik. Turbin angin sumbu vertikal dengan sudu savonius dipilih karena konstruksinya yang sederhana. Selain itu, torsi awal turbin yang besar memungkinkan turbin melakukan start awal tanpa daya cadangan. Dengan kecepatan angin rata-rata yang rendah di Indonesia, sekitar 3 m/s – 6 m/s, turbin ini sangat cocok digunakan di Indonesia.

Pengujian ini menggunakan tiga sudu yang dipuntir 120° dengan ketinggian sudu 350 mm. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat peningkatan performansi pada turbin angin *savonius helix*. Ada dua turbin angin yang akan dibandingkan dalam penelitian ini, yaitu turbin angin *savonius helix* tanpa sudu pengarah dan turbin angin *savonius helix* dengan dua belas sudu pengarah.

Pengujian dilakukan di dalam ruangan menggunakan kipas angin dengan tiga variasi kecepatan, yaitu 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s. Data-data yang diambil dari pengujian ini adalah putaran turbin (rpm) yang diukur menggunakan tachometer, massa beban (kg) yang diukur menggunakan timbangan digital, dan massa pegas (N) yang diukur menggunakan neraca pegas. Setelah semua data terkumpul, akan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai daya (P), koefisien daya (Cp), dan *tip speed ratio* (tsr). Hasil perhitungan kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan diagram dan disertakan narasi untuk menyimpulkan data tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performansi turbin dapat dipengaruhi dari berbagai hal seperti, kecepatan angin, ketinggian dan lebar turbin, bentuk dan geometri sudu, sudu pengarah turbin. Dari hasil ketiga variasi kecepatan angin yang diuji, yaitu 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, turbin angin *savonius helix* tanpa sudu pengarah mendapat daya maksimum 0,116 watt, 0,175 watt, 0,258 watt. Pada turbin angin *savonius helix* dengan dua belas sudu pengarah didapat daya maksimum sebagai berikut; 0,133 watt, 0,211 watt, dan 0,298 watt. Dalam pengujian ini juga membandingkan nilai koefisien daya (efisiensi) dan tsr dari kedua turbin tersebut. Pada turbin angin *savonius helix* tanpa sudu pengarah koefisien daya maksimum yang didapat adalah 0,0637; 0,0617; 0,0597. Tsr maksimum dari turbin angin *savonius helix* tanpa sudu pengarah adalah 0,75918; 0,82776; 0,91269. Sedangkan pada turbin angin *savonius helix* dengan dua belas sudu pengarah, koefisien daya maksimum yang dihasilkan adalah 0,05082; 0,05076; 0,04807 dengan nilai tsr maksimum 1,20367; 1,33435; 1,50458. Walaupun turbin angin *savonius helix* dengan dua belas sudu pengarah memiliki koefisien daya yang lebih kecil , tetapi turbin ini memiliki performa yang lebih stabil karena memiliki tsr maksimum yang lebih besar.

Dengan hasil kenaikan nilai tsr yang lebih besar, dapat disimpulkan bahwa pemakaian sudu pengarah dapat membuat performansi pada turbin angin *savonius helix* menjadi lebih stabil.

Kata Kunci : Turbin Angin, Turbin Angin Savonius, Turbin Angin Sumbu Vertikal, Sudu pengarah.

SUMMARY

THE UTILIZATION OF PRE-SWIRL AUGMENTED IN SAVONIUS TURBINE WITH THREE HELICAL ROTORS

Scientific Paper in Thesis Form, November 2022

Mulpi ; Supervised by Ir. Dyos Santoso, M.T

xviii + 51 pages, 7 tables, 23 figures, 1 attachments

SUMMARY

The economic growth that happen in Indonesia will lead to the increase of energy demand in every sector. The decrease amount of fossil energy supply pushes government to seek another alternative energy, that is renewable energy. Renewable energy potential in Indonesia can reach 442 GW equivalent. From that total amount of energy, wind energy potential can reach 60,6 GW equivalent. Thus, wind turbine is used to convert that wind energy to electricity energy.

Vertical axis wind turbine with savonius rotor is chosen because of its simple construction. Besides, its initial big torque allow it to start without backup power. With wind velocity that is averagely low in Indonesia, around 3 m/s – 6 m/s, this turbine is perfectly suitable used in Indonesia.

This experiment utilize three rotors that are twisted 120° with 350 mm height. The purpose of this experiment is to find an increase in helical savonius wind turbine performance. There are two wind turbines that will be compared in this experiment, that are helical savonius wind turbine without guide vane (stator) and helical savonius wind turbine with twelve guide vane.

The experiment is done in a room using a big fan with three wind velocity varieties, that are 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s. Data that is taken from this experiment are turbine revolution (rpm) which is measured by tachometer, load mass (kg) which is measured by digital kitchen scale, and spring load (N) which is measured by spring balance. After all data is collected, calculation will be done to obtain a value of power (P), power coefficient (Cp), and tip speed ratio (tsr). The result is presented in table and diagram form with narration to interpret that result. The result shows that turbine performance can be affected by many things like, wind velocity, height and width of the turbine, shape and geometry of rotor, and turbine's guide vane.

From the result of three wind velocity varieties that are tested, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, helical savonius wind turbine without guide vane gets maximum power as follows, 0,116 watt, 0,175 watt, and 0,258 watt. On the other hand, helical savonius wind turbine with twelve guide vane reaches maximum power as follows; 0,133 watt, 0,211 watt, and 0,298 watt. This experiment compare the value of power coefficient and tsr from those two wind turbines as well. First, maximum power coefficient that is obtained by helical savonius wind turbine without guide vane are 0,0637; 0,0617; 0,0597. Maximum tsr value of this turbine are 0,75918; 0,82776; 0,91269. On the other hand, helical savonius wind turbine with twelve guide vane generate value of power coefficient as follows; 0,05082; 0,05076; 0,04807 with maximum tsr value as follows; 1,20367; 1,33435; 1,50458. Even though helical savonius wind turbine with twelve guide vane has lower power coefficient, but it has steadier performance because it has bigger maximum tsr value than helical savonius wind turbine without guide vane.

With the increase of tsr value, it can be concluded that the utilization of guide vane (stator) can make helical savonius wind turbine performance steadier than before.

Keywords : Wind Turbine, Savonius Wind Turbine, Vertical axis Wind Turbine, Guide Vane.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	viii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	3
2.2. Energi Angin.....	4
2.3. Turbin Angin.....	5
2.5. Turbin Angin Savonius.....	7
2.6. Jumlah Sudu.....	9
2.7. Geometri Sudu.....	10
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1. Studi Literatur.....	14
3.2. Perancangan.....	14
3.3. Pengujian.....	15
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1. Hasil.....	17
4.2. Pembahasan.....	24
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1. Kesimpulan.....	37
5.2. Saran.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Geometri <i>deflector</i> yang digunakan.....	4
Gambar 2.2 Tipe-tipe Turbin Angin.....	6
Gambar 2.3. Sudu Savonius.....	8
Gambar 2.4 Macam-macam Konfigurasi Turbin Savonius.....	10
Gambar 3.1 Tahapan-Tahapan Penelitian.....	12
Gambar 3.2 Profil Sudu cp-100-050-gn.....	13
Gambar 3.3 Gambar Skematik Alat.....	14
Gambar 4.1 Grafik Starting Turbin Savonius.....	24
Gambar 4.2 Hubungan Daya Terhadap rpm Pada Kecepatan Angin 3 m/s.....	25
Gambar 4.3 Hubungan Daya Terhadap <i>tsr</i> Pada Kecepatan Angin 3 m/s.....	25
Gambar 4.4 Hubungan Cp Terhadap <i>tsr</i> Pada Kecepatan Angin 3 m/s.....	26
Gambar 4.5 Hubungan Daya Terhadap rpm Pada Kecepatan Angin 3,5 m/s.....	27
Gambar 4.6 Hubungan Daya Terhadap <i>tsr</i> Pada Kecepatan Angin 3,5 m/s.....	27
Gambar 4.7 Hubungan Cp Terhadap <i>tsr</i> Pada Kecepatan Angin 3,5 m/s.....	28
Gambar 4.8 Hubungan Daya Terhadap rpm Pada Kecepatan Angin 4 m/s.....	29
Gambar 4.9 Hubungan Daya Terhadap <i>tsr</i> Pada Kecepatan Angin 4 m/s.....	29
Gambar 4.10 Hubungan Cp Terhadap <i>tsr</i> Pada Kecepatan Angin 4 m/s.....	30
Gambar 4.11 Hubungan Daya Terhadap rpm Pada Turbin <i>Savonius Helix</i> Tanpa <i>Guide Vane</i>	31
Gambar 4.12 Hubungan Daya Terhadap <i>tsr</i> Pada Turbin <i>Savonius Helix</i> Tanpa <i>Guide Vane</i>	32
Gambar 4.13 Hubungan Cp Terhadap <i>tsr</i> Pada Turbin <i>Savonius Helix</i> Tanpa <i>Guide Vane</i>	32
Gambar 4.14 Hubungan Daya Terhadap rpm Pada Turbin <i>Savonius Helix</i> Dengan 12 <i>Guide Vane</i>	33
Gambar 4.15 Hubungan Daya Terhadap <i>tsr</i> Pada Turbin <i>Savonius Helix</i> Dengan 12 <i>Guide Vane</i>	34

Gambar 4.16 Hubungan Cp Terhadap tsr Pada Turbin *Savonius Helix* Dengan 12
Guide Vane.....34

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Daya Angin untuk masing-masing Kecepatan.....	16
Tabel 4.2. Pengujian Turbin <i>Savonius Helix</i> Tanpa <i>Guide Vane</i> dengan Kecepatan Angin 3 m/s.....	19
Tabel 4.3. Pengujian Turbin <i>Savonius Helix</i> Tanpa <i>Guide Vane</i> dengan Kecepatan Angin 3,5 m/s.....	19
Tabel 4.4. Pengujian Turbin <i>Savonius Helix</i> Tanpa <i>Guide Vane</i> dengan Kecepatan Angin 4 m/s	20
Tabel 4.5. Pengujian Turbin <i>Savonius Helix</i> dengan 12 <i>Guide Vane</i> dengan Kecepatan Angin 3 m/s	22
Tabel 4.6. Pengujian Turbin <i>Savonius Helix</i> dengan 12 <i>Guide Vane</i> dengan Kecepatan Angin 3,5 m/s	23
Tabel 4.7. Pengujian Turbin <i>Savonius Helix</i> dengan 12 <i>Guide Vane</i> dengan Kecepatan Angin 4 m/s.....	23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Components and Assembly Drawing.....41

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia sedang menunjukkan pertumbuhan ekonomi ditahun ini. Data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa ekonomi Indonesia tumbuh 3,51% (“Data Badan Pusat Statistik; Pertumbuhan Ekonomi Indonesia,” n.d.). Menurut data publikasi Bappenas, visi Indonesia 2045 memperkirakan bahwa ekonomi Indonesia akan tumbuh 5,7% di tahun 2045 (Bappenas, 2019). Hal ini menjadi pertimbangan bagi pemerintah untuk membuat skenario permintaan energi Indonesia dalam jangka Panjang. Ini dikarenakan secara statistik menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi yang meningkat akan diikuti dengan naiknya permintaan energi juga.

Energi fosil masih menjadi penyuplai terbesar energi di Indonesia, tapi energi ini tidak bisa diperbarui. Ini ditunjukkan dari data *Indonesia Energy Outlook* bahwa produksi minyak bumi selama sepuluh tahun terakhir mengalami penurunan, dari 346 juta barel di tahun 2009 menjadi 283 juta barel di tahun 2018 (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Menipisnya cadangan energi fosil membuat pemerintah mencari alternatif energi lain. Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi salah satu alternatifnya. Ini dikarenakan potensi energi baru terbarukan di Indonesia sangat besar. Total potensi energi terbarukan di Indonesia bisa mencapai 442 GW ekuivalen. Dari total potensi energi tersebut, potensi energi angin bisa mencapai 60,6 GW (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Potensi angin ini bisa kita manfaatkan untuk pembangkit listrik menggunakan turbin angin.

Turbin angin adalah alat yang mengubah energi kinetik pada angin menjadi energi mekanik yang menggerakkan poros. Poros ini terhubung ke generator yang menghasilkan listrik (James F. Manwell, dkk, 2010). Energi listrik ini bisa digunakan untuk menyuplai kebutuhan rumah tangga sehari-hari.

Dengan kecepatan angin yang tergolong rendah, sekitar 3-6m/s, turbin angin Savonius cocok dikembangkan di Indonesia. Itu dikarenakan torsi awal turbin Savonius yang tinggi, sehingga memungkinkan turbin ini melakukan start awal tanpa daya cadangan (Aboujaoude dkk., 2022)(Gavaldà dkk., 1991; Islam dkk., 1995).

Turbin savonius memiliki berbagai macam konfigurasi. Ada yang beroperasi tanpa suku pengarah (*guide vane*) dan ada juga yang beroperasi menggunakan suku pengarah. Dalam skripsi ini, penulis membandingkan performansi dari turbin savonius yang beroperasi tanpa suku pengarah dan yang beroperasi menggunakan suku pengarah.

1.2. Rumusan Masalah

Perbandingan performansi antara turbin savonius dengan dan tanpa menggunakan suku pengarah (*guide vane*) Pre-Swirl Augmented (Zha, 2016).

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melihat peningkatan performansi yang terjadi pada turbin savonius yang menggunakan suku pengarah dan melihat pengaruh jumlah suku pengarah yang digunakan pada turbin savonius.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Sebagai referensi belajar khususnya yang berkaitan dengan turbin savonius.
2. Dapat menjadi rujukan dalam pemilihan suku pada turbin angin savonius.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboujaoude, H., Beaumont, F., Murer, S., Polidori, G., Bogard, F., 2022. Aerodynamic performance enhancement of a Savonius wind turbine using an axisymmetric deflector. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 220. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104882>
- Akwa, J.V., Vielmo, H.A., Petry, A.P., 2012. A review on the performance of Savonius wind turbines. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 3054–3064. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.056>
- Bappenas, 2019. Berdaulat, Maju, Adil dan Makmur.
- Damak, A., Driss, Z., Abid, M.S., 2018. Optimization of the helical Savonius rotor through wind tunnel experiments. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 174, 80–93. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.12.022>
- Data Badan Pusat Statistik; Pertumbuhan Ekonomi Indonesia [WWW Document], n.d. URL <https://www.bps.go.id/news/2021/11/05/435/ekonomi-indonesia-tumbuh-3-51-persen.html> (accessed 2.22.22).
- Gavaldà, J., Massons, J., Diaz, F., 1991. Drag and Lift Coefficients of the Savonius Wind Machine. *Wind Eng.* 15, 240–246.
- Islam, A.K.M.S., Islam, M.Q., Razzaque, M.M., Ashraf, R., 1995. Static Torque and Drag Characteristics of an S-Shaped Savonius Rotor and Prediction of Dynamic Characteristics. *Wind Eng.* 19, 363–370.
- James F. Manwell, Jon G. McGowan, A.L.R., 2010. *Wind Energy Explained Theory, Design and Application*, 2nd ed. Willey.
- Kothe, L.B., Möller, S.V., Petry, A.P., 2020. Numerical and experimental study of a helical Savonius wind turbine and a comparison with a two-stage Savonius turbine. *Renew. Energy* 148, 627–638. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.151>

- Ross, I., Altman, A., 2011. Wind tunnel blockage corrections: Review and application to Savonius vertical-axis wind turbines. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 99, 523–538. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2011.02.002>
- Saha, U.K., Thotla, S., Maity, D., 2008. Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 96, 1359–1375. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.03.005>
- Savonius, S.J., 1930. Wind Rotor.
- Sonawane, C.R., Sasar, Y., Shaikh, M., Kokande, Y., Mustafa, M., Pandey, A., 2021. Numerical simulation of Savonius rotors used for low wind speed application. *Mater. Today Proc.* 49, 1610–1616. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.420>
- Soo, K., Ik, J., Pan, J., Ryu, K., 2014. Effects of end plates with various shapes and sizes on helical Savonius wind turbines. *Renew. Energy* 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.035>
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019. Indonesia Energy Out Look 2019. *J. Chem. Inf. Model.* 53, 1689–1699.
- Weiss, S.B., 2010. Vertical Axis Wind Turbine with Continuous Blade Angle Adjustment by.
- Zha, 2016. (12) United States Patent 2.