

## Simulasi Numerik Pengaruh Variasi Sudut Silinder Sirkular di Depan *Returning Blade* Terhadap Performa Turbin Angin *Savonius Overlap*

Naffatsa Alza Wiyoga<sup>1\*</sup>, Priyo Agus Setiawan<sup>2</sup>, Emie Santoso<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

Email: [naffatsaalza@student.ppns.ac.id](mailto:naffatsaalza@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [priyo.as@ppns.ac.id](mailto:priyo.as@ppns.ac.id)<sup>2\*</sup>; [emie.santoso@ppns.ac.id](mailto:emie.santoso@ppns.ac.id)<sup>3\*</sup>

---

**Abstrak** - Previous experiment has been carried out on Savonius wind turbine with additional overlap ratio and variation of circular cylinder stagger angle to improve its performance. However, the experiment didn't show flow visualization around the turbine. Therefore, numerical simulation using Computational Fluid Dynamics (CFD) method must be carried out to validate the experiment result and obtain the best performance and flow visualization of overlap Savonius wind turbine. The turbine simulated has an overlap ratio of 0,3. Then, the circular cylinder is placed in front of returning blade with a distance ratio ( $S/d$ ) 1.7 and various stagger angle of  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $55^\circ$  and  $60^\circ$ . The flow velocity used is 5 m/s. Turbulence model used in this simulation is  $k$ -epsilon realizable with transient pressure based. The final result is overlap Savonius wind turbine with circular cylinder has increased its performance of 31,56 % compared with overlap Savonius wind turbine without circular cylinder. The best performance occurs at  $55^\circ$  circular cylinder stagger angle in front of returning blade with 0,4118 Coefficient of Power ( $C_p$ ) value. The flow visualization shows that  $55^\circ$  circular cylinder stagger angle is able to create the most optimum nozzle effect.

**Kata Kunci:** Computational Fluid Dynamics (CFD), overlap Savonius wind turbine, circular cylinder, stagger angle

---

### Nomenclature

TSR	: Tip speed ratio
n	: Putaran turbin (RPM)
v	: Kecepatan angin (m/s)
Ct	: Coefficient of torque
Cp	: Coefficient of power
T	: Torsi turbin (Nm)
$\rho$	: Massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )
D	: Diameter turbin (m)
d	: Diameter sudu (m)
H	: Tinggi turbin (m)
ds	: Diameter silinder (m)
N	: Jumlah putaran
NTS	: Number of time step
TSS	: Time step size (s)
$\omega$	: Kecepatan sudut turbin (rad/s)
$\theta$	: Derajat waktu langkah putaran

### 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan kedudukan porosnya, turbin angin dibedakan menjadi 2, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu

vertikal [1]. Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin *Savonius* [2]. Efisiensi turbin angin *Savonius* sangat rendah, sehingga perlu dilakukan penelitian dengan berbagai modifikasi untuk meningkatkan performanya.

Beberapa modifikasi telah ditambahkan pada penelitian terdahulu, seperti menambahkan rasio *overlap* [3][4], persamaan *myring* [5][6][7][8][9] dan penambahan *fin*. Selain itu, beberapa penelitian sebelumnya juga menempatkan *inner fan blade* [10] dan silinder sirkular atau silinder pengganggu [11] di depan sudu *returning* [12][13][14] maupun *advancing* [15][16][17] dengan variasi jarak [18][19], rasio diameter, dan sudut juga mampu menaikkan performa turbin angin *Savonius*.

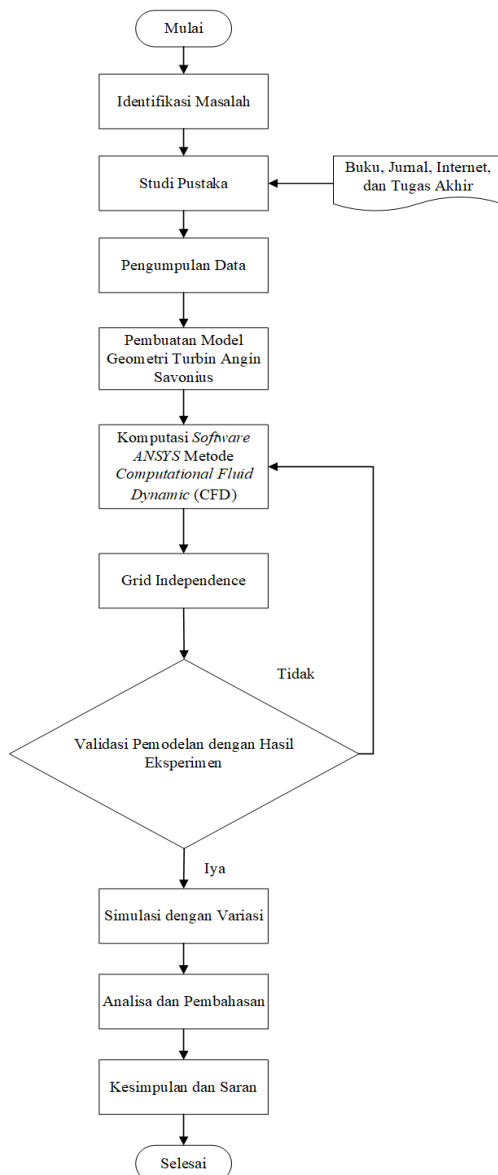
Penelitian eksperimen juga telah dilakukan sebelumnya dengan menambahkan rasio *overlap* [20][21][22] dan *fin* [23][24] serta silinder sirkular di depan *returning blade*. Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa performa turbin dengan modifikasi tersebut mampu menaikkan

performa dari turbin angin *Savonius* konvensional.

Penelitian sebelumnya dapat digunakan sebagai acuan untuk mengembangkan penelitian selanjutnya untuk mendapatkan performansi turbin angin *Savonius* yang lebih baik. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan simulasi numerik terhadap turbin angin *Savonius* dengan penambahan rasio *overlap* sebesar 0,3 dan variasi sudut *stagger* silinder sirkular di depan *returning blade*. Turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin angin *Savonius* 2 sudu [25]. Simulasi dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [26] untuk mendapatkan nilai *Coefficient of Power* (Cp) sebagai performansi dari turbin.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian ini, diperlukan beberapa langkah sebagai berikut:



Gambar 1 Langkah-langkah Pelaksanaan Penelitian

### 2.1 Dimensi Turbin Angin *Savonius* Berprofil *Overlap*

Data dimensi turbin angin *Savonius* yang akan diuji menggunakan simulasi numerik adalah sebagai berikut:

- Diameter turbin (D) : 0,4 m
- Diameter sudu (d) : 0,26 m
- Tinggi turbin (H) : 0,4 m
- Rasio *overlap* (e/D) : 0,3 dengan substitusi D = 0,4 m, maka didapat nilai e = 0,12 m
- Rasio jarak silinder (S/d) : 1,7 dengan substitusi d = 0,26 m, maka didapat nilai S = 0,442 m
- Rasio diameter silinder (ds/D) : 0,4 dengan substitusi D = 0,4 m, maka didapat nilai ds = 0,16 m

### 2.2 Persamaan TSR [27], Ct, dan Cp [28]

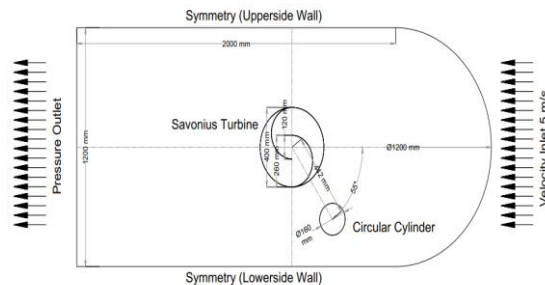
$$TSR = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot v} \quad (1)$$

$$Ct = \frac{4T}{\rho \cdot v^2 \cdot D^2 \cdot H} \quad (2)$$

$$Cp = TSR \cdot Ct \quad (3)$$

### 2.3 Skema Pengujian

Skema pengujian dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2 Skema Pengujian Turbin Angin *Savonius* Berprofil *Overlap* dengan Variasi Sudut *Stagger* Silinder Sirkular

### 2.4 Simulasi Numerik

Dalam tahap ini dilakukan simulasi numerik dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada software *Ansys Fluent* 2020.

- Pembuatan Domain**  
 Pembuatan model 3D turbin angin *Savonius* sesuai skema dan mengatur kondisi batas (*boundary condition*) yang meliputi domain statis dan domain putar.
- Proses Meshing**  
 Proses ini sangat berperan dalam berjalannya simulasi. Dalam simulasi ini struktur yang digunakan adalah

unstructured mesh dengan metode *meshing quadrilateral* [29].

C. *Setup Simulasi Numerik*

*Setup* dilakukan sebagai pengaturan awal sehingga *software* dapat melakukan *running* sesuai kondisi yang diinginkan. Selain itu *setup* dilakukan agar dapat menghasilkan nilai *Coefficient of Torque* (Ct) yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

2.5 Perhitungan NTS (Number of Timestep) dan TSS (Time Step Size)

$$NTS = N \frac{360}{\theta} \quad (4)$$

$$TSS = \frac{N}{0,15915 \omega . NTS} \quad (5)$$

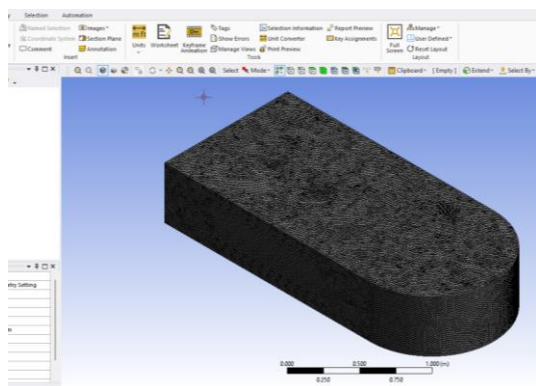
[30]

Tabel 1 Nilai NTS dan TSS untuk Simulasi

TSR	v (m/s)	D (m)	w (rad/s)	w (RPM)	NTS	TSS
0,4	5	0,4	10	95,49	3438	0,0175
0,6	5	0,4	15	143,24	5157	0,0116
0,8	5	0,4	20	190,99	6875	0,0087
1	5	0,4	25	238,73	8594	0,0070
1,2	5	0,4	30	286,48	10313	0,0058
1,4	5	0,4	35	334,23	12032	0,0050
1,5	5	0,4	37,5	358,10	12892	0,0047

2.6 Validasi

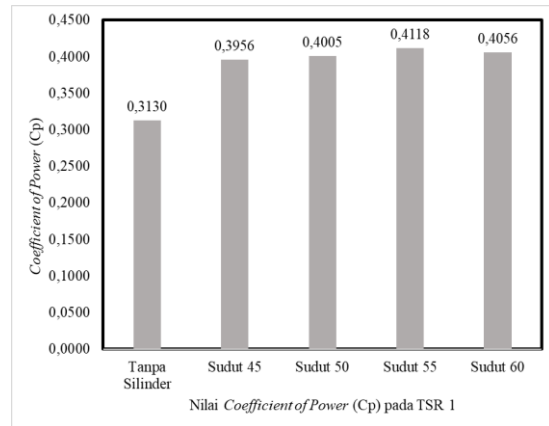
Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil antara simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan eksperimen sebelumnya. Simulasi dilakukan pada 3 variasi TSR, yaitu; TSR 0,47; TSR 0,8; TSR 0,96 dengan menggunakan *mesh 2* (*element size* 0,0175 m). Pola kurva Ct-TSR dan Cp-TSR dari pengujian eksperimen dan simulasi dijadikan dasar acuan untuk proses validasi. Hasil simulasi dapat dikatakan valid apabila bentuk *trend line* kurva Ct-TSR dan Cp-TSR hasil simulasi sudah mendekati dan mirip dengan hasil eksperimen.



Gambar 3 Hasil Meshing

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah keseluruhan variasi selesai disimulasikan, selanjutnya dilakukan analisis nilai *Coefficient of Power* (Cp). Nilai Cp pada setiap variasi sudut *stagger* silinder sirkular di depan *returning blade* memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Peningkatan performa terbaik dari turbin angin *Savonius* berprofil *overlap* dengan variasi sudut *stagger* silinder sirkular terjadi pada variasi sudut 55° dengan nilai Cp sebesar 0,4118. Berikut merupakan grafik Cp terhadap fungsi TSR pada nilai TSR 1 untuk keseluruhan variasi:



Gambar 4 Grafik Nilai Cp terhadap Nilai TSR 1 untuk Keseluruhan Variasi

4. KESIMPULAN

Tabel 2 Persentase Nilai *Coefficient of Power* (Cp) pada Setiap Variasi

Hasil Nilai <i>Coefficient of Power</i> (Cp) pada Setiap Variasi				
Variasi	TSR	Cp	Persentase (%)	Keterangan
Tanpa Silinder	1	0,3130	0,00	-
Sudut 45	1	0,3956	26,39	Naik
Sudut 50	1	0,4005	27,96	Naik
Sudut 55	1	0,4118	31,56	Naik
Sudut 60	1	0,4056	29,60	Naik

Berdasarkan penelitian dan simulasi CFD yang telah dilakukan terkait pengaruh variasi sudut *stagger* silinder sirkular di depan *returning blade* terhadap performa turbin angin *Savonius* berprofil *overlap*, disimpulkan bahwa:

1. Hasil nilai *Coefficient of Torque* (Ct) dan *Coefficient of Power* (Cp) antara simulasi dan eksperimen dapat dikatakan valid karena bentuk *trend line* dari grafik Ct-TSR dan Cp-TSR antara hasil simulasi dan eksperimen menunjukkan keselarasan.
2. Nilai *Coefficient of Power* (Cp) terbaik terdapat pada variasi sudut 55° pada *Tip Speed Ratio* (TSR) 1 dengan nilai Cp sebesar 0,4118 pada *Tip Speed Ratio* (TSR) 1.
3. Dari tabel 2 dapat disimpulkan bahwa turbin angin *Savonius* berprofil *overlap* dengan variasi sudut *stagger* silinder sirkular sebesar 55° mengalami kenaikan

performa terbaik dengan persentase kenaikan sebesar 31,56 %. Dari kenaikan ini dapat disimpulkan bahwa turbin angin *Savonius overlap* dengan adanya silinder sirkular di depan *returning blade* dengan sudut 55° mampu meningkatkan performa dari turbin angin *Savonius overlap* tanpa silinder sirkular. Silinder sirkular dengan variasi sudut di depan *returning blade* menyebabkan aliran akan berbelok ke arah *returning blade* setelah melewati silinder. Hal ini menyebabkan terbentuknya efek *nozzle* pada sisi *returning* yang menyebabkan kecepatan pada sisi tersebut meningkat. Ketika kecepatan pada sisi *returning* meningkat maka gaya *drag* (*drag force*) pada sisi tersebut juga meningkat sehingga menyebabkan selisih gaya *drag* (*nett drag*) antara sisi *returning* dan *advancing* mengalami peningkatan. Dengan meningkatnya *nett drag* maka performa yang dihasilkan mengalami peningkatan.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam menyelesaikan penelitian ini, penulis dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan aman, selamat, lancar, dan barokah.
2. Orang tua dan keluarga penulis yang telah membimbing, membiayai pendidikan, memberikan nasihat, semangat, kasih sayang, hingga doa restu sehingga penulis bisa sampai di titik ini.
3. Bapak Dr. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sekaligus menjadi Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan sehingga membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Ibu Ir. Emie Santoso, M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sekaligus menjadi Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Permesinan Kapal angkatan 2019, teman-teman seperjuangan kelas D4 ME A 2019, dan tim Turbin *Savonius* yang saling mendukung selama perkuliahan dan pengerjaan penelitian.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Lillahulhaq, "Studi Numerik Pada Rotor Turbin Savonius dan Icewind dengan Perbandingan Metode Fluid Structure Interaction (FSI) dan Statis," *Master Thesis*, 2019.
- [2] M. Latif, "Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 3, 2013, doi: 10.17529/jre.v10i3.1030.
- [3] R. Tania, R. L. Florin, I. V. D. Adriana, M. Roxana, A. Ancuta, dan D. Florin, "Experimental investigation on the influence of Overlap Ratio on Savonius Turbines Performance," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 8, no. 3, hal. 1791–1799, 2018, doi: 10.20508/ijrer.v8i3.7764.g7480.
- [4] P. A. Setiawan, R. Indarti, N. Ariwiyono, T. Yuwono, dan W. A. Widodo, "An Experimental Study of Overlap Ratio Effect to Savonius water Current Turbine by using Myring Equation for  $n=1$ ," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1764, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012198.
- [5] P. A. Setiawan, M. Santoso, R. Indarti, N. Ariwiyono, T. Yuwono, dan W. A. Widodo, "An Experimental Study of the Savonius Water Current Turbine by means of Myring Equation for  $n = 1$ ," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1764, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012194.
- [6] A. Ardianto, P. A. Setiawan, dan N. Ariwiyono, "Analisa Pengaruh Sudut Stagger di Depan Advancing Blade Terhadap Performa Turbin Air Savonius Myring Blade  $n=1$  &  $n=2$ ," *Proceeding Conf. Mar. Eng. its Appl.*, vol. 3, 2020.
- [7] W. F. Prasetya, P. A. Setiawan, dan P. Sidi, "ANALISA VARIASI SUDUT DAN DIAMETER STAGGER PENGHALANG PADA SISI RETURNING BLADE TERHADAP KINERJA TURBIN AIR SAVONIUS DENGAN PERSAMAAN MYRING  $n = 1$  DAN  $n = 2$ ".
- [8] F. S. Fathoni, P. A. Setiawan, dan D. D. K. R. A., "Kajian Numerik Pengaruh Variasi Sudut Stagger Dan Diameter Silinder Sirkular Di Sisi Advancing Blade Terhadap Kinerja Turbin Air Savonius Bersudu Kombinasi Myring  $N = 1$  Dan  $N = 2$ ," *Conf. Mar. Eng. its Appl.*, vol. 3, hal. 4–9, 2020.
- [9] O. H. Yuqa *dkk.*, "STUDI NUMERIK PENGARUH VARIASI SUDUT STAGGER SILINDER Sirkular PADA SISI ADVANCING BLADE TERHADAP PERFORMA TURBIN

- AIR SAVONIUS TIPE Dalam melakukan penelitian ini diperlukan beberapa langkah diantaranya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :,” *Proceeding Conf. Mar. Eng. its Appl.*, hal. 2–7, 2019.
- [10] P. Setiawan dan T. Yuwono, “The Effect of Inner Fan Blade Angle to The Ventilation Rate of The Turbine Ventilator,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 3, hal. 227–233, 2018, doi: 10.21776/ub.jrm.2018.009.03.10.
- [11] A. Subekti *dkk.*, “A numerical study of the effect of a single cylinder and plate deflector toward the Savonius wind turbine performance,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1477, no. 5, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1477/5/052010.
- [12] P. A. Setiawan, A. W. Husodo, F. Hamzah, T. Yuwono, dan W. A. Widodo, “Performance Analysis of Savonius Turbine Disturbed by Cylinder in Front of Returning with Variation of Distance to Perpendicular Fluid Flow,” *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 11, no. 10, hal. 761–766, 2022, doi: 10.18178/ijmerr.11.10.761-766.
- [13] P. A. Setiawan, T. Yuwono, dan W. A. Widodo, “Flow visualization analysis on the vertical axis Savonius water turbine by placing a cylinder in front of returning by varying stagger angle,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1764, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012203.
- [14] P. A. Setiawan, T. Yuwono, dan W. A. Widodo, “Numerical Study of the Stagger Angle Effect of a Circular Cylinder Installed in front of Returning Blade Toward the Vertical Axis Savonius Water Turbine Performance,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1179, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1179/1/012107.
- [15] P. A. Setiawan, T. Yuwono, dan W. A. Widodo, “Effect of a circular cylinder in front of advancing blade on the savonius water turbine by using transient simulation,” *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 19, no. 1, hal. 151–159, 2019.
- [16] P. Setiawan, T. Yuwono, dan W. Widodo, “Flow Analysis of a Circular Cylinder on the Savonius Hydrokinetic Turbine Performance Placed the Side of Advancing Blade,” *Int. J. Mech. Mechatronics Eng. IJMME-IJENS*, vol. 19, no. 06, hal. 41, 2019.
- [17] P. A. Setiawan, T. Yuwono, W. A. Widodo, E. Julianto, dan M. Santoso, “Numerical study of a circular cylinder effect on the vertical axis savonius water turbine performance at the side of the advancing blade with horizontal distance variations,” *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 9, no. 2, hal. 978–985, 2019, doi: 10.20508/ijrer.v9i2.8890.g7662.
- [18] D. Falahudin, P. A. Setiawan, dan A. Indartono, “Kajian Ekperimen Pengaruh Pemasangan Silinder Sirkular Bervariasi Diameter dengan Posisi  $X / D = 0.5$  dan  $Y / D = 0.7$  pada Sisi Advancing Blade Terhadap Performa Turbin Air Savonius,” *Conf. Mar. Eng. its Appl.*, vol. 3, hal. 0–5, 2020.
- [19] D. Purnanto, S. Soim, dan P. A. Setiawan, “Kajian Eksperimen Pengaruh Pemasangan Silinder Sirkular Dengan Diameter Silinder 16 Cm Dan Jarak 20 Cm Pada Sisi Advancing Blade Turbin Air Savonius,” no. v, hal. 1–3.
- [20] H. A. Wicaksono, “Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu di depan Returning Blade Turbin Angin Savonius terhadap Performa Turbin,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.its.ac.id/76098/>
- [21] W. A. Pratama, “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Rasio Diameter Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Overlap Ratio,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2022, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.20156.
- [22] M. Y. A. Sectio, “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Jarak Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Performa Turbin Angin Savonius dengan Penambahan Overlap Ratio,” 2022.
- [23] M. N. Hilmi, “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Rasio Diameter Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius dengan Penambahan Fin,” 2022.
- [24] F. N. Putra, “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Jarak Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius dengan Penambahan Fin,” 2022.
- [25] J. Jamal, “Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Performansi Kincir Angin Vertikal Savonius Tipe-U,” *Politek. Negeri Ujung Pandang*, vol. 6, no. 1, hal. 64–68, 2018.
- [26] H. K. Versteeg dan W. Malalasekera, *An Introduction to Parallel Computational Fluid Dynamics*, vol. 6, no. 4. 2007. doi: 10.1109/mcc.1998.736434.
- [27] A. R. Fachrudin, “Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu

- Vertikal Tipe Darrieus-H Naca 3412 Dengan Sudut Pitch 00,” *Info-Teknik*, vol. 19, no. 2, hal. 195, 2018, doi: 10.20527/jit.v19i2.153.
- [28] E. Hau, “Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics 2nd Edition,” *Spectrum*, 2006.
- [29] W. Wardhana dan E. N. Fridayana, “Aerodynamic Performance Analysis of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Darrieus Type H-Rotor using Computational Fluid Dynamics (CFD) Approach,” no. Senta 2018, hal. 5–11, 2020, doi: 10.5220/0008542700050011.
- [30] D. Satrio, I. K. A. P. Utama, dan Mukhtasor, “The Influence of Time Step Setting on the CFD Simulation Result of Vertical Axis Tidal Current Turbine,” *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 12, no. 1, hal. 3401, 2018.