

Studi Numerik Pengaruh Variasi Rasio Diameter Silinder Pengganggu di Depan *Returning Blade* Terhadap *Coefficient of Power (CP)* Turbin Angin *Savonius* Penambahan *Fin*

Ryandika Aditya Pramanta^{1*}, Priyo Agus Setiawan.², Nopem Ariwiyono.³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: ryandika.aditya@student.ppns.ac.id^{1*}; priyo.as@ppns.ac.id^{2*}; nopem@ppns.ac.id^{3*}

Abstrak – Experimental research on savonius wind turbine with additional fins and various circular cylinders have been carried out as an effort to improve the turbine performance. Further research is needed to validate experimental studies. Based on the problems above, numerical studies using 3-dimensional Computational Fluid Dynamics (CFD) method is needed to determine coefficient of torque values. The turbine has the same diameter and height of 0.4 meters with additional fins. The various diameter of circular cylinder used are $ds/D = 0.1$; $ds/D = 0.2$; $ds/D = 0.3$; and $ds/D = 0.4$. Then the cylinder is placed at a distance of $X = 34$ cm and $Y = 10$ cm. The final result is the turbine can reach the highest increase of 5.4% in its performance with $ds/D = 0.4$ with 0.389 coefficient of power (C_p).

Kata Kunci: Numerik, Coefficient of power (C_p), Coefficient of torque (C_t), fin, circular cylinder, rasio diameter.

Nomenclature

| | |
|----------|---|
| TSR | : Tip speed ratio |
| n | : Putaran turbin (RPM) |
| v | : Kecepatan angin (m/s) |
| C_t | : Coefficient of torque |
| C_p | : Coefficient of power |
| T | : Torsi turbin (Nm) |
| ρ | : Massa jenis udara (kg/m^3) |
| D | : Diameter turbin (m) |
| H | : Tinggi turbin (m) |
| N | : Jumlah putaran |
| NTS | : Number of time step |
| TSS | : Time step size (s) |
| ω | : Kecepatan sudut turbin (rad/s) |
| θ | : Derajat waktu langkah putaran |

1. PENDAHULUAN

Penelitian kali ini menggunakan turbin Vertical Wind Axis Turbine (VAWT), VAWT dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu turbin angin *savonius* dan *darrieus*, turbin angin *savonius* memiliki bentuk sudu huruf “S” yang salah satu sisinya memiliki bentuk cekung (*advancing Blade*) dan berbentuk cembung (*returning Balde*) sehingga turbin angin *savonius* memiliki kelebihan utama yaitu dapat menerima angin dari berbagai arah [1].

Upaya memodifikasi turbin terus dilakukan agar peningkatan performa turbin dapat terus berkembang, seperti penelitian dengan cara menambahkan jumlah *fin* yang telah dilakukan [2], mendapatkan performa terbaik dengan jumlah sudu 2. Selain itu variasi seperti menambahkan overlap [3], dan myring [4][5]. Selain memodifikasi turbin, penambahan silinder pengganggu mampu meningkatkan performa turbin [6][7][8]. Tidak hanya menambahkan silinder pengganggu saja, namun memvariasikan jarak silinder, diameter silinder, dan sudut *stagger* juga dilakukan untuk meningkatkan performa turbin [9][10][11].

Pada penelitian lain dilakukan penelitian eksperimen dengan variasi sudut *stagger* dan menggunakan *savonius myring* $n=1$ dan $n=2$, didapatkan nilai *coefficient of power* (C_p) tertinggi pada sudut 60° dan $ds/D = 0,3$ dengan hasil 0,1515 pada TSR 0,516 [12].

Selain penelitian eksperimen hal yang sama dilakukan dengan metode numerik, yaitu variasi sudut dan variasi sudut *stagger* di depan *advancing blade* dengan *savonius myring* $n=1$ dan $n=2$, di dapatkan nilai tertinggi pada $ds/D = 0,4$ dengan sudut 60° , peningkatan *coefficient of power* (C_p) terhadap *savonius* tanpa *stagger* sebesar 35,86% [13].

Penelitian numerik juga di lakukan pada *savonius myring* $n=1$ dan $n=2$ dengan variasi sudut *stagger* dan diameter *stagger* pada sisi *returning*

blade, didapatkan peningkatan *coefficient of power* (C_p) sebesar 19,9007% pada $ds/D = 0,4$ dengan sudut 60° [5].

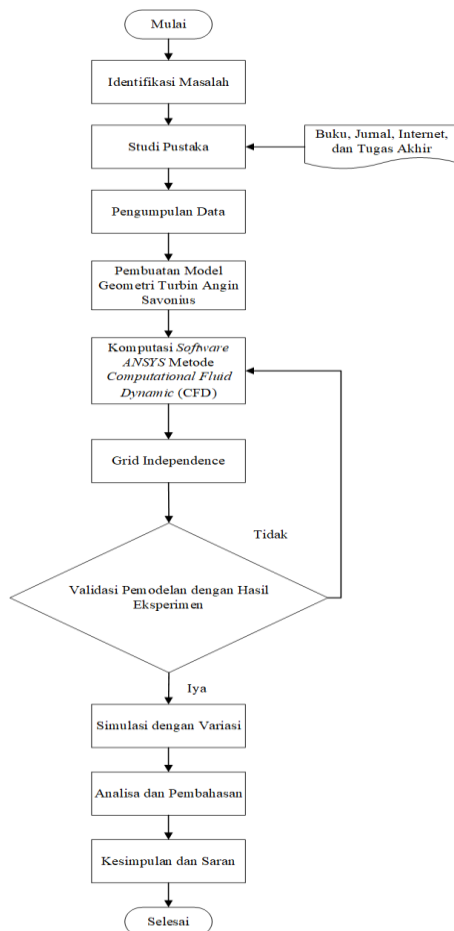
Studi lain juga melakukan studi eksperimental di mana silinder pengganggu dengan variasi diameter $X/D = 0,5$ dan $Y/D = 0,7$ ditambahkan ke sisi depan *advancing* didapatkan hasil *coefficient of power* (C_p) tertinggi (ds/D) variasi rasio diameter 0,4 dengan nilai 0,25 pada TSR 0,73[14].

Penelitian metode numerik juga dilakukan pada turbin air savonius menggunakan variasi jarak silinder pengganggu pada sisi depan *advancing* blade. Di dapatkan nilai *coefficient of power* (C_p) tertinggi pada $X/D = 0,5$ dengan nilai 0,250 pada TSR 0,9 [15]

Berdasarkan penelitian di atas, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan turbin savonius penambahan fin pada masing – masing sudu [16], dan variasi diameter silinder pengganggu di depan *returning blade*[17]. Simulasi menggunakan bantuan software *Computational Fluids Dynamic* (CFD) untuk mengetahui nilai *coefficient of power* (C_p) [18].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Urutan langkah-langkah pengumpulan data pada penelitian ini dapat digambarkan dalam flowchart sebagai berikut:

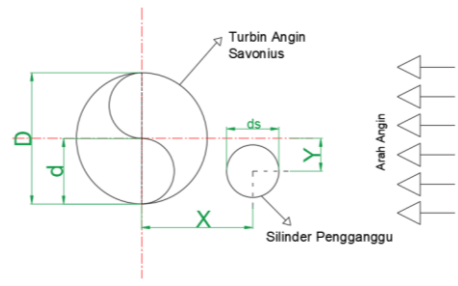


Gambar 1 Langkah – Langkah Pelaksanaan Penelitian

2.1. Skema Pengujian

Tahap ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam tugas akhir. Data yang diperlukan berupa dimensi turbin angin *Savonius*, silinder pengganggu, dan data pengujian turbin angin *Savonius* sebagai berikut[19]:

| | |
|--------------------------|-------------|
| Diameter turbin (D) | : 0,4 meter |
| Diameter sudu turbin (d) | : 0,2 meter |
| Tinggi turbin (H) | : 0,4 meter |
| Jumlah fin setiap sudu | : 1 fin |
| Tinggi fin | : 0,2 meter |



Gambar 2 Skema Penempatan Silinder Pengganggu

Keterangan :

D :Diameter turbin angin savonius (40 cm)

d :Diameter sudu turbin angin Savonius (20 cm)

ds :Diameter silinder pengganggu (4 cm; 8 cm; 12 cm; 16 cm)

X :Jarak horisontal antara pusat silinder pengganggu dengan sumbu X turbin (34 cm)

Y :Jarak vertikal antara pusat silinder pengganggu dengan sumbu Y turbin (10 cm)

2.2. Simulasi Numerik

A. Pembuatan Domain 3D

Pembuatan pemodelan geometri turbin angin *Savonius* menggunakan software *Autodesk Inventor* yang kemudian di import pada *ANSYS Space Claim* untuk mempermudah *meshing* dan mengatur kondisi batas (*boundary condition*) yang disesuaikan dengan kondisi saat dilakukan pengujian.

B. Meshing

Langkah *meshing* adalah langkah yang paling sering gagal. Pembuatan *grid* melibatkan pembagian geometri yang dihasilkan menjadi sub-elemen sehingga parameter yang ditentukan dapat diterapkan ke masing-masing sub-elemen ini[1]

2.3. Persamaan TSR, C_t , dan C_p

Berikut ini adalah persamaan dari TSR, C_t , dan C_p [20] :

$$TSR = \frac{\omega \cdot D}{2v} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \quad (2)$$

$$Cp = \frac{P}{\frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2} \quad (3)$$

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

2.4. Perhitungan NTS dan TSS

Hasil dari perhitungan *time step size* (TSS) dan *number of time step* (NTS) sebagai berikut [21]:

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

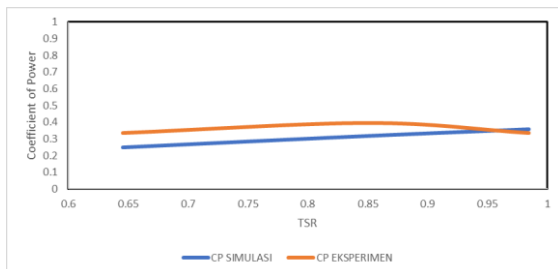
$$TSS = \frac{N}{0,15915 \omega \times \text{Number Of Time Step}} \quad (5)$$

Tabel 1 Hasil Perhitungan NTS dan TSS

| TSR | NTS | TSS (s) |
|-----|-------|---------|
| 0,4 | 3437 | 0,01745 |
| 0,6 | 5156 | 0,01164 |
| 0,8 | 6875 | 0,00873 |
| 1 | 8594 | 0,00698 |
| 1,2 | 10313 | 0,00582 |

2.5. Validasi Model

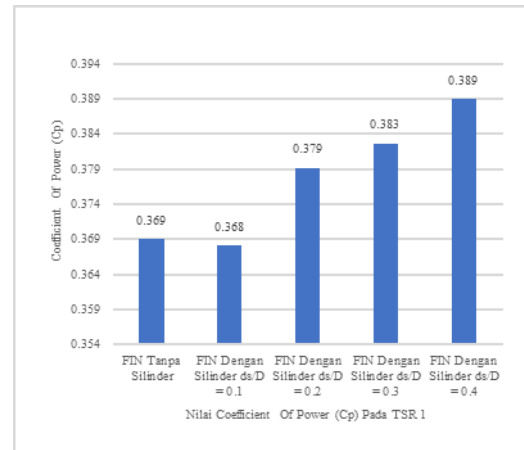
Validasi dilakukan untuk mengetahui hasil dari simulasi dan hasil eksperimen apakah sudah sesuai atau belum. Validasi model dilakukan pada turbin angin dengan nilai terbaik, yaitu turbin *savonius* dengan penambahan *fin* dan silinder pengganggu di depan *returning blade* dengan rasio 0,4.



Gambar 3 Grafik perbandingan nilai Cp – TSR simulasi dengan eksperimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua variasi dilakukan, Langkah selanjutnya adalah membandingkan karakteristik nilai *coefficient of power* (Cp) pada semua variasi. Performa tertinggi pada variasi rasio diameter silinder pengganggu pada turbin *savonius* penambahan *fin*, terdapat pada variasi ds/D = 0,4. Berikut adalah grafik *coefficient of power* (Cp) terhadap TSR:



Gambar 4 Grafik Nilai *Coefficient Of Power* (Cp) terhadap TSR pada berbagai Variasi Rasio Diameter ds/D

4. KESIMPULAN

Table 1 Hasil Nilai Cp Turbin Savonius

| Hasil Nilai coefficient of power (Cp) pada setiap variasi | | | | |
|---|------|-------|----------------|------------|
| Variasi | TSR | Cp | Prosentase (%) | Keterangan |
| Fin Tanpa Silinder | 1.00 | 0.369 | 0 | - |
| ds/D 0,1 | 1.00 | 0.368 | -0.25 | Turun |
| ds/D 0,2 | 1.00 | 0.379 | 2.75 | Naik |
| ds/D 0,3 | 1.00 | 0.383 | 3.70 | Naik |
| ds/D 0,4 | 1.00 | 0.389 | 5.40 | Naik |

Berdasarkan penelitian kinerja kincir angin *savonius* dengan mengubah diameter silinder pengganggu di depan *returning blade* dapat disimpulkan bahwa

1. Hasil validasi nilai *coefficient of power* (Cp) Dari gambar 3 tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi numerik tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian yang telah dilakukan. Hal ini bisa dibuktikan bentuk *trendline* dari grafik Cp – TSR mendekati sama dengan grafik eksperimen.
2. Hasil simulasi nilai *coefficient of power* (Cp), bahwa turbin angin Savonius fin dengan penambahan silinder pengganggu mendapatkan kinerja lebih tinggi daripada turbin angin Savonius fin tanpa silinder,
3. Nilai *coefficient of power* (Cp) terbaik antara turbin angin Savonius fin dengan penambahan variasi diameter silinder pengganggu dan turbin angin Savonius fin tanpa silinder bisa disimpulkan bahwa turbin angin Savonius fin variasi diameter silinder pengganggu ds/D pada 0,4 mendapatkan kenaikan sebesar 5,4 % dari turbin angin Savonius fin tanpa silinder sebesar 0,389 pada TSR 1,0.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Priyo Agus Setiawan, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing I
2. Bapak Nopem Ariwiyono, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing II
3. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, motivasi, kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis
4. Kerabat dan sahabat seperjuangan Teknik Permesinan Kapal-PPNS

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad Falah Dias Sunandi, "Numerical Study of Savonius Wind Turbine With Variation of the Number of Blade and Wind Velocity," 2016.
- [2] J. Jamal, "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Performansi Kincir Angin Vertikal Savonius Tipe-U," *Politek. Negeri Ujung Pandang*, vol. 6, no. 1, pp. 64–68, 2018.
- [3] P. A. Setiawan, R. Indarti, N. Ariwiyono, T. Yuwono, and 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.
- [4] P. A. Setiawan, M. Santoso, R. Indarti, N. Ariwiyono, T. Yuwono, and 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.
- [5] W. F. Prasetya, P. A. Setiawan, and P. Sidi, "ANALISA VARIASI SUDUT DAN DIAMETER STAGGER PENGHALANG PADA SISI RETURNING BLADE TERHADAP KINERJA TURBIN AIR SAVONIUS DENGAN PERSAMAAN MYRING $n = 1$ DAN $n = 2$ ".
- [6] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and 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.
- [7] P. Setiawan, T. Yuwono, and 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, p. 41, 2019.
- [8] A. Subekti *et al.*, "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.
- [9] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and 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, pp. 151–159, 2019.
- [10] P. A. Setiawan, T. Yuwono, and 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.
- [11] M. Lawrence and T. Yogi, "Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius dengan Penempatan Silinder Sirkular di Depan Returning Blade Turbin Pada," vol. 9, no. 2, pp. 1–6, 2020.
- [12] A. Ardianto, P. A. Setiawan, and 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.
- [13] F. S. Fathoni, P. A. Setiawan, and 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 $N = 2$," pp. 4–9.
- [14] D. Falahudin, P. A. Setiawan, and 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," pp. 0–5.
- [15] P. A. Setiawan, T. Yuwono, W. A. Widodo, E. Julianto, and 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, pp. 978–985, 2019, doi: 10.20508/ijrer.v9i2.8890.g7662.
- [16] B. Anggara, I. Widiastuti, and H. Saputro, "Numerical study of Savonius wind turbine with additional fin blade using computational fluid dynamic," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 434, no. 1, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/434/1/012172.

- [17] R. DEWI, “Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Di Depan Returning Blade Turbin Angin Savonius Terhadap Performa Turbin,” *J. Tek. Its*, vol. 5, no. 2, pp. 599–603, 2016.
- [18] T. R. Taha, *An Introduction to Parallel Computational Fluid Dynamics*, vol. 6, no. 4. 2005. doi: 10.1109/mcc.1998.736434.
- [19] M. N. Hilmi, “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Rasio Diameter Silinder Pengganggu di Depan Returning Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penambahan Fin,” 2022.
- [20] E. Hau, *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics 2nd edition*, 2nd editio. Krailing, Germany: Springer, 2005.
- [21] D. Satrio, I. Ketut Aria Pria Utama, and 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, pp. 3399–3409, 2018, doi: 10.15282/jmes.12.1.2018.9.0303.