

Pengaruh *Surface Roughness* pada Permukaan Cembung Sudu *Returning Savonius* Turbin Terhadap Perfoma Aerodinamika

Ananda Dafa Aulia^{1,*} Gunawan Sakti², Ade Irfansyah³

¹Politeknik Penerbangan Surabaya, Jemur Andayani I/73 Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60236

*Corresponding author. Email: dafaa6280@gmail.com

ABSTRACT

Surface Roughness dapat menunda titik pelepasan aliran udara yang memungkinkan untuk memperkecil perbedaan *pressure* pada daerah *upstream* dan *downstream*. Kita dapat melihat aerodinamika bola berpermukaan halus memiliki *pressure* yang besar pada daerah *upstream* dibanding daerah *downstream* sehingga terjadi perbedaan *pressure* yang sangat besar. Pada bola golf memiliki *dimple* yang berfungsi untuk menunda titik pelepasan aliran udara sehingga memperkecil perbedaan tekanan pada daerah *upstream* dan *downstream*. Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian untuk mengubah permukaan halus pada turbin angin Savonius menggunakan *sandpaper* no. 120, 180, 320, 800, 2000 dan 5000. Metode penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan model tubin 3D *printed* Savonius. Turbin 3D *printed* Savonius memiliki aspect ratio $AR = 0.77$, diameter blade $d = 200$ mm, tinggi $h = 154$ mm. Sandpaper yang digunakan adalah no. 120, 180, 320, 800, 2000, dan 5000. Eksperimental ini dilakukan dengan besar bilangan Reynolds number $Re = 6,26 \times 10^4$ sesuai dengan kecepatan udara $V = 5$ m/s. Pengukuran RPM, Torsi, dan Daya dilakukan pada turbin dengan menggunakan *sandpaper* dengan kekasaran yang berbeda-beda sehingga bisa diketahui nilai dari *coefficient power* dan *coefficient moment*. Dari eksperimen yang sudah dilakukan, Penerapan *sandpaper* pada turbin angin Savonius dengan variasi kekasaran menurunkan efisiensi dalam hal RPM, daya, torsi, *Coefisient power* (C_p) dan *Coefisient moment* (C_m). Kekasaran *sandpaper* pada turbin angin mempengaruhi penurunan perfoma aerodinamika sebesar 15,5% sampai 40,2%, sehingga pengaruh *sandpaper* tidak seperti pengaruh *dimple* pada aerodinamika bola golf. Penurunan performa aerodinamika terkecil terjadi pada turbin Savonius *sandpaper* no 5000 dengan *coefficient moment* 3%, dan *coefficient power* 8%.

Kata kunci : Turbin angin Savonius, *Sandpaper*, Aerodinamika

1. INTRODUCTION

Turbin angin Savonius termasuk dalam kelompok sumbu vertikal. Turbin angin Savonius dipatenkan pada tahun 1929 oleh insinyur Finlandia Sigurd Savonius. Keunggulan turbin ini adalah konstruksinya sederhana dan kuat, lebih murah, memiliki karakteristik yang baik dan tidak tergantung pada arah angin. Kerugian dari turbin angin ini adalah efisiensinya lebih rendah daripada turbin angin konvensional.

Turbin angin Savonius berputar karena aliran udara yang melewati turbin angin menyebabkan perbedaan *pressure* diantara *returning blade* dan *advancing blade*. Salah satu hal yang melemahkan efisiensi turbin angin Savonius adalah tingginya *pressure drag* pada turbin angin ini. *Pressure drag* adalah *drag* yang disebabkan oleh tekanan (yogatama,2018). *Pressure drag* terjadi karena adanya perbedaan tekanan pada daerah *upstream* dan

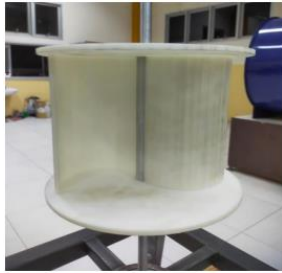
downstream lalu mengakibatkan *drag force* pada turbin besar. (Vembrianto,2021).

Penelitian ini berfokus pada peningkatan efisiensi dan perfoma aerodinamika turbin angin Savonius dengan mengurangi *pressure drag* terhadap turbin angin Savonius. Salah satu cara untuk mengurangi *pressure drag* adalah dengan memodifikasi permukaan turbin angin untuk menunda titik separasi aliran udara di permukaan turbin.. Penelitian (Adjie, 2017) menyatakan dengan menambahkan kekasaran pada permukaan akan meningkatkan *skin friction drag*, tetapi pengurangan/reduksi terhadap *pressure drag* nya jauh lebih besar, sehingga *drag* totalnya lebih kecil.

Sandpaper memiliki permukaan kasar sehingga memungkinkan menunda titik separasi aliran udara. Prinsip penundaan titik separasi aliran udara berdasarkan konsep *dimple* pada aerodinamika bola golf. Hal ini juga menegaskan bahwa *sandpaper* dapat meningkatkan efisiensi turbin angin.

2.EKSPERIMENT SET UP

2.1. Turbin Savonius



Gambar 2.1 Turbin angin Savonius

Pada gambar 2.1 adalah rencana desain dari turbin Savonius yang akan dibuat. Nomenclature pada geometri turbin Savonius yaitu Tinggi blade turbin $h=154\text{mm}$, diameter blade $d=200\text{mm}$, diameter turbin $D=220\text{mm}$. Gambar 2.2 adalah salah satu contoh *sandpaper* yang akan digunakan dalam penelitian ini. *Sandpaper* yang digunakan dalam penelitian ini adalah no 120, 180, 320, 800, 2000 dan 5000. *Sandpaper* akan direkatkan pada permukaan turbin angin dan selanjutnya akan di uji dan diambil datanya.



Gambar 2.2 Sandpaper

Dapat kita lihat pada tabel 3.1 ada 6 variasi kekasaran yang akan diuji pada turbin angin savonius. Turbin savonius yang digunakan adalah turbin angin konvensional dengan diameter *blade* 200 mm. Aspect Ratio dari turbin Savonius yang digunakan adalah 0,77 cm dengan tinggi *blade* 154 mm. Objek penelitian pada eksperimen ini yaitu hasil uji dari putaran turbin Savonius meliputi daya, torsi, dan RPM pada turbin Savonius yang akan menjadi penentu nilai dari C_p (Power Coefficient) dan C_m (Moment Coefficient).

TABEL 3.1

TURBIN ANGIN SAVONIUS DENGAN SAMPEL SANDPAPER

Nama	kekasaran	Blade Diameter (D)	Aspect Ratio (D/h)	Tinggi Blade (h)
Sampel A	No 120	200	0.77	154
Sampel B	No 180	200	0.77	154
Sampel C	No 320	200	0.77	154
Sampel D	No 800	200	0.77	154
Sampel E	No 2000	200	0.77	154
Sampel F	No 5000	200	0.77	154

2.2 Klasifikasi nomor pada sandpaper

Ada beberapa standar ukuran sandpaper di dunia ini yaitu CAMI (*coated abrasives manufacturing institute*) yang berlaku di Amerika, FEPA (*Federation of European Producers of Abrasives*) yang berlaku di Eropa dan JIS (*Japanese Industrial Standard*) yang berlaku di Jepang. Dibawah ini adalah tabel yang akan menjelaskan perbedaan CAMI dan FEPA.

TABEL 1.1
MACRO GRIT SANDPAPER

Grade	CAMI	FEPA	Diameter
<i>Extra Coarse</i>	24, 30, or 36	P12, P16, P30, P36	530 to 1815 micrometers
<i>Coarse</i>	40, 50, or 60	P40, P50	330 to 425 micrometers
<i>Medium</i>	80	P60, P80	190 to 265 micrometers
<i>Fine</i>	100, or 120	P100, P120	115 to 162 micrometers

Berdasarkan tabel 1.2 diketahui bahwa *macro grit sandpaper* adalah *sandpaper* yang memiliki partikel abrasif yang besar. Grade yang termasuk dalam *macro grit sandpaper* adalah *Extra Coarse* sampai *Fine*. Tabel 1.2 menjelaskan bahwa *micro grit sandpaper* adalah *sandpaper* yang memiliki partikel abrasif yang kecil.

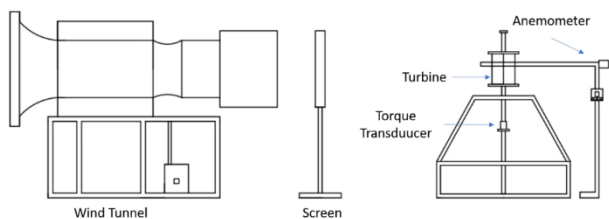
Grade yang termasuk dalam *micro grit sandpaper* adalah *Very Fine* sampai *Ultra Fine*.

TABEL 1.2
 MICRO GRIT SANDPAPER

Grade	CAMI	FEPA	Diameter
<i>Very Fine</i>	240	P240, P280, P320, P360	40.5 to 58.5 micrometers
<i>Extra Fine</i>	320, or 360	P400, P500, P600	25.8 to 36 micrometers
<i>Super Fine</i>	400,500,or 600	P800, P1000, P1200	15 to 23.0 micrometers
<i>Ultra Fine</i>	800, or 1000	P1500, P2000, P2500	8.4 to 12.6 micrometers

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan wind tunnel sebagai sumber angin untuk menggerakkan turbin angin Savonius. Terdapat torque transducer sebagai alat untuk merekam RPM, daya, dan torsi. Selanjutnya, ada anemometer sebagai alat ukur kecepatan angin.



Gambar 3.1 Ekperimental penempatan turbin angin sumbu tegak

Gambar 3.1 menjelaskan penempatan turbin angin Savonius pada saat pengujian. Berikut ini adalah prosedur pengujian RPM, daya dan torsi :

1. Siapkan turbin angin Savonius yang akan diuji.
2. Letakan turbin angin diatas shaft yang menyambung ke torque transducer.
3. Hidupkan wind tunnel dan atur lever yang ada pada wind tunnel sesuai dengan kecepatan angin yang dibutuhkan yaitu 5 m/s.

4. Hidupkan magnetic brake dan atur kekuatan listrik yang dibutuhkan untuk menghambat putaran turbin sehingga torsi dapat terbaca pada torque transducer.
5. Sambungkan torque transducer ke laptop melalui kabel data type C.
6. Buka aplikasi datum untuk menjalankan perekaman data.
7. Setelah direkam data akan disimpan pada file berbentuk CSV.
8. Data yang sudah direkam, selanjutnya akan dirapihkan dan dimasukkan ke dalam tabel.
9. Data dalam tabel akan diolah untuk menentukan *coefficient moment* dan *coefficient power*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. RPM, Torsi (Nm), dan Daya (watt)

TABEL 4.1
 HASIL PENGUKURAN RPM MAXIMUM

RPM (Max)	
Konvensional	443,54
120	431,76
180	429,89
320	433,23
800	431,59
2000	435,69
5000	437,41

Tabel 4.1 menjelaskan RPM yang di dihasilkan oleh masing masing turbin angin Savonius konvensional dan *sandpaper* tanpa dipengaruhi *magnetic brake*. RPM tertinggi dihasilkan oleh turbin angin Savonius konvensional sebesar 443,54 dan RPM terkecil dihasilkan oleh turbin angin Savonius *sandpaper* 180 sebesar 429,89. Data diatas menunjukkan kekasaran *sandpaper* tidak mampu untuk menaikkan RPM.

TABEL 4.2
 HASIL PENGUKURAN TORSI TERBESAR

Torque (Nm) λ (0,1)					
120	180	320	800	2000	5000
0,008135	0,007825	0,006876	0,007302	0,006622	0,008113

Tabel 4.2 menunjukkan data pengukuran torsi terbesar dari 6 variasi *sandpaper*. Torsi terbesar didapatkan pada pengukuran TSR 0,1. *Sandpaper* 120 pada TSR 0,1

memiliki torsi sebesar 0,008135 Nm dan merupakan torsi terbesar dari keenam variasi *sandpaper* yang diuji.

TABEL 4.2
HASIL PENGUKURAN TORSI TERKECIL

Torque (Nm) λ (0,9)					
120	180	320	800	2000	5000
0,003466	0,002616	0,000214	-0,00052	-0,0007	0,002626

Tabel 4.9 menunjukkan data pengukuran torsi terkecil dari 6 variasi *sandpaper*. Torsi terkecil didapatkan pada pengukuran TSR 0,9. *Sandpaper* 2000 pada TSR 0,9 memiliki torsi sebesar -0,0007 Nm dan merupakan torsi terkecil dari keenam variasi *sandpaper* yang diuji.

TABEL 4.3
HASIL PENGUKURAN DAYA TERBESAR

Daya (Watt)					
120 λ (0,8)	180 λ (0,8)	320 λ (0,5)	800 λ (0,6)	2000 λ (0,5)	5000 λ (0,6)
0,18608	0,165084	0,110559	0,114431	0,120143	0,141168

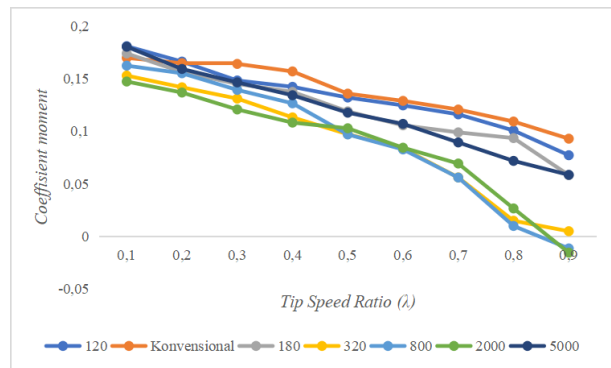
Tabel 4.3 menunjukkan data pengukuran daya maksimal dari 6 variasi *sandpaper*. Daya terbesar didapatkan pada *sandpaper* 120 TSR 0,8. *Sandpaper* 120 pada TSR 0,8 memiliki daya sebesar 0,18608 watt dan merupakan daya terbesar dari keenam variasi *sandpaper* yang diuji.

TABEL 4.4
HASIL PENGUKURAN DAYA TERKECIL

Daya (Watt)					
120 λ (0,1)	180 λ (0,1)	320 λ (0,9)	800 λ (0,9)	2000 λ (0,9)	5000 λ (0,1)
0,04866	0,034912	0,009408	-0,0235	-0,03127	0,046655

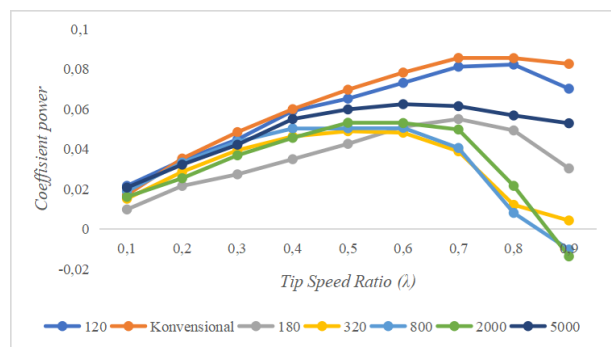
Tabel 4.4 menunjukkan data pengukuran daya minimal dari 6 variasi *sandpaper*. Daya terkecil didapatkan pada *sandpaper* 2000 TSR 0,9. *Sandpaper* 2000 pada TSR 0,9 memiliki daya sebesar -0,03127 watt dan merupakan daya terkecil dari keenam variasi *sandpaper* yang diuji.

4.2. *Coeffisient moment dan coeffisient power*



Gambar 4.1 Grafik *coeffisient moment* turbin angin Savonius *sandpaper* dan konvensional

Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan *coeffisient moment* dalam bentuk grafik pada tiap tiap *Tip Speed Ratio* (TSR). Terjadi kenaikan dan penurunan *coeffisient moment* antara turbin angin Savonius konvensional dengan turbin angin Savonius *sandpaper*. Grafik tersebut juga menggambarkan pengaruh *sandpaper* pada returning blade surface. Grafik tersebut juga membuktikan *coeffisient moment* mengalami penurunan seiring dengan naiknya TSR. Pada *coeffisient moment* turbin angin *sandpaper* 5000 terjadi penurunan jika dibandingkan dengan *coeffisient moment* turbin angin Savonius konvensional. Pada TSR 0,2 terjadi penurunan terkecil sebesar 3% dan pada TSR 0,9 terjadi penurunan terbesar sebesar 37%.



Gambar 4.2 Grafik *coeffisient power* turbin angin Savonius *sandpaper* dan konvensional

Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan *coeffisient power* dalam bentuk grafik pada tiap tiap *Tip Speed Ratio* (TSR). Terjadi kenaikan dan penurunan *coeffisient power* antara turbin angin Savonius konvensional dengan turbin angin Savonius *sandpaper*. Grafik tersebut juga menggambarkan pengaruh *sandpaper* pada returning blade surface. Grafik tersebut juga membuktikan *coeffisient power* mengalami kenaikan dan penurunan seiring dengan naiknya TSR. *Coeffisient power* turbin angin *sandpaper* 5000 pada TSR 0,6 adalah

0,062408518, jika dibandingkan dengan turbin angin Savonius konvensional terjadi penurunan sebesar 20%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan mengenai pengaruh variasi kekasaran *sandpaper* pada performa aerodinamika turbin angin Savonius, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekasaran permukaan turbin angin mempengaruhi penurunan performa aerodinamika sebesar 15,5% sampai 40,2%, sehingga pengaruh *sandpaper* tidak seperti pengaruh *dimple* pada aerodinamika bola golf.
2. Pengaruh performa aerodinamika turbin angin savonius yang memiliki kekasaran optimal dilihat dari semakin kecilnya penurunan *coefficient power* dan *coefficient moment*.
3. Penurunan performa aerodinamika terkecil terjadi pada turbin Savonius *sandpaper* no 5000 dengan *coefficient moment* 3%, dan *coefficient power* 8%.

REFERENCES

- [1] Adjie, R. W. (2017). *Pengembangan Eksperimen Pengaruh Cekungan (Dimple) Yang Diterapkan Pada Plat Datar Terhadap Aliran Fluida*.
- [2] Angkasa, A. A., & Dr. Adhika Widyaparaga, S. T., M. Biomed. Sc. (2019). *Studi Eksperimen Pengaruh Kekasaran Permukaan Tembaga Terhadap Heat Transfer Coefficient Dan Critical Heat Flux Pada Fenomena Pool Boiling*.
- [3] Antoni, P., Pol, M., & García Almiñana, D. (2015). *Numerical Study Of Flow Through A Savonius Wind Turbine*.
- [4] Dewi, M. L. (2010). *Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotorsavonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin*.
- [5] Frank Liu. (2021). Sandpaper Roughness & Particle Diameter Analysis. *Nanovea*.
- [6] Gong, S., Cao, H., Zhang, J., & Lu, H. (2021). Experimental Study On The Effect Of Blade Surface Roughness On Aerodynamic Performance. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 675(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/675/1/012090>
- [7] Javier, P., & Montero, G. (N.D.). *Experimental Study Of Flow Through A Savonius Wind Turbine*.
- [8] Jeremia, D. Dan Y. Yogi. (2020). *Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Penempatan Silinder Sirkular Di Depan Returning Blade Turbin Pada Jarak S/D = 2,2*.
- [9] Kamoji, M. A., Kedare, S. B., & Prabhu, S. V. (2009). Experimental Investigations On Single Stage Modified Savonius Rotor. *Applied Energy*, 86(7–8), 1064–1073. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.019>
- [10] Lisdarina, E., & Yuwono, T. Y. (2020). Pengaruh Penempatan Silinder Sirkular Di Depan Returning Blade Pada S/D=1,8 Untuk Meningkatkan Performa Turbin Angin Savonius. *Jurnal Teknik Its*, 9(2).
- [11] Fernando, M. S. U. K. (1987). *On The Performance And Wake Aerodynamics Of The Savonius Wind Turbine*.
- [12] Orvis, K. H., & Grissino-Mayer, H. D. (2002). *Standardizing The Reporting Of Abrasive Papers Used To Surface Tree-Ring Samples Item Type Article*. <http://hdl.handle.net/10150/262564>
- [13] Ozcakmak, O. S., Madsen, H. A., Sorensen, N. N., Sorensen, J. N., Fischer, A., & Bak, C. (2018). Inflow Turbulence And Leading Edge Roughness Effects On Laminar-Turbulent Transition On Naca 63-418 Airfoil. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1037(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1037/2/022005>
- [14] Sakti, G., Wawan, T. Y., & Aries Widodo. (2019). Experimental And Numerical Investigation Of I-65° Type Cylinder Effect On The Savonius Wind Turbine Performance. *International Journal Of Mechanical & Mechatronics Engineering Ijmme-Ijens Vol:19 No:05*, 19.
- [15] Setiawan, P. A., Yuwono, T., & Widodo, W. A. (2019). 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. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1179(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1179/1/012107>
- [16] Wahyu Budiarto, A., Agus Sahbana, M., & Suriansyah. (2013). Study Eksperimental Pengaruh Pemasangan Model Side Skirt Terhadap Coefisient Drag Dan Gaya Drag. In *Proton* (Vol. 5, Issue 2).

[Http://Www.Princeton.Edu/~Asmits/Bicycle_Web](http://www.Princeton.Edu/~Asmits/Bicycle_Web)

- [17] Yogatama, M., & Trisno, R. (2018). Studi Koefisien Drag Aerodinamika Pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik. In *Jurnal Teknik Mesin (Jtm)* (Vol. 07, Issue 1).
- [18] Zidane, I. F., Saqr, K. M., Swadener, G., Ma, X., & Shehadeh, M. F. (2016). On The Role Of Surface Roughness In The Aerodynamic Performance And Energy Conversion Of Horizontal Wind Turbine Blades: A Review. In *International Journal Of Energy Research* (Vol. 40, Issue 15, Pp. 2054–2077). John Wiley And Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/Er.3580>