

PENGARUH JUMLAH BILAH PENGARAH ANGIN JENIS *OMNIDIRECTIONAL* TERHADAP KINERJA MODEL TURBIN ANGIN *SAVONIUS*

Indra Herlamba Siregar¹, Moch Effendy², Akhmad Hafidz Ainur Rasyid³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya

¹indrasiregar@unesa.ac.id

²m_effendy2001@yahoo.com

³akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak— Akhir-akhir ini banyak negara yang mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan salah satunya adalah energi angin, dengan potensi energi angin Indonesia sebesar 9 GW dan kecepatan angin yang tergolong rendah serta posisi geografis di daerah katulistiwa, maka perlu mengembangkan teknologi turbin angin yang cocok dengan karakter angin di Indonesia. Pada penelitian ini, dikembangkan model pengarah angin tipe *omnidirectional* (ODGV) di sekeliling turbin angin *savonius* yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja dari model turbin angin *savonius*. ODGV terdiri dari beberapa bilah yang berfungsi untuk mengarahkan angin dengan arah 45 derajat berlawanan arah jarum jam, dengan bertujuan untuk mempercepat aliran sehingga mampu meningkatkan torsi positif bilah sisi cekung dan mengurangi torsi negatif bilah sisi cembung dari model turbin angin *savonius*. Terowongan angin tipe terbuka digunakan untuk menguji model turbin angin *savonius* dengan ODGV. Lima ODGV dikembangkan dalam penelitian ini, dengan menggunakan 4, 6, 8, 12, dan 16 bilah pengarah dengan lebar 5 cm. Data hasil penelitian kemudian dianalisa dengan analisa deskriptip. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ODGV secara substansial dapat meningkatkan kinerja rotor, tergantung pada jumlah bilah pengarah. ODGV dengan 12 bilah pengarah menghasilkan efek terbesar pada performa model turbin angin *savonius* pada $Re = 93269$ yang dapat meningkatkan C_p 69,15% lebih besar daripada model turbin angin *savonius* tanpa ODGV. Seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds, ODGV cenderung meningkatkan kinerja model turbin angin *savonius* secara signifikan.

Kata Kunci— ODGV; bilah pengarah; model turbin angin *savonius*; terowongan angin; torsi.

Abstract— Recently, many countries are looking for alternative energy sources that are renewable and environmentally friendly, one of which is wind energy, with Indonesia's wind energy potential of 9 GW and relatively low wind speeds and geographical position in the katulistiwa area, it is necessary to develop wind turbine technology that is suitable for wind characters in Indonesia. In this research, an omnidirectional wind director model (ODGV) is developed around the savonius wind turbine which aims to improve the performance of the savonius wind turbine model. The ODGV consists of several blades that function to direct the wind at 45 degrees counterclockwise, with the aim of accelerating the flow so as to increase the positive torque of the concave side blades and reduce the negative torque of the convex side blades of the savonius wind turbine model. An open-type wind tunnel was used to test the savonius wind turbine model with ODGVs. Five ODGVs were developed in this study, using 4, 6, 8, 12, and 16 directional blades with a width of 5 cm. The data were analyzed using descriptive analysis. The results show that the ODGV can substantially improve the rotor performance, depending on the number of directional blades. The ODGV with 12 directional blades produced the greatest effect on the performance of the savonius wind turbine model at $Re = 93269$ which could increase the C_p 69.15% more than the savonius wind turbine model without ODGV. As the Reynolds number increases, the ODGV tends to significantly improve the performance of the savonius wind turbine model.

Keywords— ODGV; Guide Vane; savonius wind turbine model; wind tunnel; torque .

PENDAHULUAN

Energi fosil saat ini merupakan sumber energi yang dominan di berbagai negara, penggunaannya memberikan dampak yang cukup serius baik dari sisi ketersediaannya sebagai sumber energi, dikarenakan energi fosil tergolong energi yang tidak dapat diperbaharui, maupun dari sisi lingkungan disebabkan penggunaan energi fosil sebagai

sumber energi berdampak terhadap peningkatan jumlah emisi karbon yang merupakan faktor utama terjadinya efek rumah kaca di atmosfer yang pada akhirnya menjadi penyebab terjadinya perubahan iklim [1].

Akhir-akhir ini, banyak negara yang mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Energi angin merupakan salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui yang cukup menjanjikan, sehingga

banyak negara yang telah mengeksplorasi dan memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi di sebabkan ketersediaan sumber energi angin yang tidak terbatas dan ramah terhadap lingkungan, menurut badan energi Denmark potensi energi angin di Indonesia sebesar 9 GW dengan kecepatan angin rata-rata antara 3 m/s hingga 6,3 m/s [2], selain itu karena posisi geografis Indonesia yang berada di garis khatulistiwa maka angin di Indonesia memiliki karakteristik yang selalu berubah arah [3] sehingga dalam mengembangkan jenis turbin angin yang sesuai dengan kecepatan rata-rata angin di Indonesia yang cukup rendah serta posisi geografis yang terletak di katulistiwa sehingga arah angin sering berubah-ubah, maka yang cocok adalah turbin angin jenis *Savonius*. Perbedaan kontur sudu turbin angin *Savonius* ada yang cekung dan ada yang cembung, maka terdapat perbedaan gaya drag yang bekerja pada kedua sisi sudu turbin angin *Savonius*, hal inilah yang menyebabkan turbin angin *Savonius* dapat berputar [4], turbin jenis ini juga memiliki beberapa keunggulan diantaranya konstruksi sederhana dan biaya murah, menerima angin dari segala arah dalam pengoperasiannya, memiliki momen statis dan dinamis [5].

Pengaruh jumlah sudu pada turbin angin *Savonius* telah diteliti oleh beberapa peneliti [6-9] dengan hasil menunjukkan bahwa kinerja turbin angin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah sudu. Pada penelitian mereka dipaparkan bahwa jumlah sudu 2 yang merupakan jumlah yang menghasilkan kinerja turbin yang paling baik. Perubahan geometri model turbin angin *Savonius* yang bertujuan untuk meningkatkan performa turbin angin *Savonius* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya diantaranya Modi dan Fernando [10] memodifikasi sudu yang dikembangkan oleh *Savonius*, dimana sudu yang baru tersebut dapat meningkatkan nilai C_p turbin. Kamoji dkk. [11] memodifikasi sudu dasar *savonius* dengan sudu yang berbentuk J, dimana sudu-sudu yang bergerak maju terpisah, modifikasi ini menghasilkan nilai C_p sebesar 0,2 sedangkan Kacprzak [12] memodifikasi sudu-sudu yang dikembangkan oleh Kamoji dengan cara mengurangi bidang datar pada bilah-bilah geometri dari bilah, dimana modifikasi ini mampu meningkatkan nilai C_p turbin angin dibandingkan dengan sudu-sudu yang dikembangkan Kamoji dkk. [11] dan Tartuferi [13]. Tartuferi [13] dalam penelitiannya mengembangkan sudu baru untuk turbin angin berbasis gaya hambat (drag) yang diberi nama SR3345 dan SR 5050, namun nilai C_p yang dihasilkan tidak lebih baik dari sudu yang dikembangkan oleh Kamoji, tetapi nilai C_p maksimum dicapai pada tip speed ratio yang lebih rendah daripada desain yang dikembangkan Kamoji dkk [11].

Ushiyama [14] dan Al-faruk [15] mengusulkan desain turbin angin *savonius* baru yaitu *swirling savonius rotor* (SSR), dimana terjadi *overlap* yang menghasilkan aliran *swirl* dari *advance blade* menuju *returning blade* sehingga dapat mengurangi drag yang terjadi pada *returning blade* dengan adanya gaya dorong yang dihasilkan oleh aliran yang berasal dari *advance blade*, C_p optimum yang dapat dicapai dari desain ini yaitu sebesar 0,22.

Selain memodifikasi bentuk geometri sudu untuk meningkatkan performa turbin angin *savonius*, para peneliti juga melakukan penelitian terkait pengendalian aliran di upstream dengan teknik augmentasi seperti *nozzle* [16] deflektor berbentuk V [17], deflektor berbentuk plat [18], tirai [19], *slot ventilation* [20].

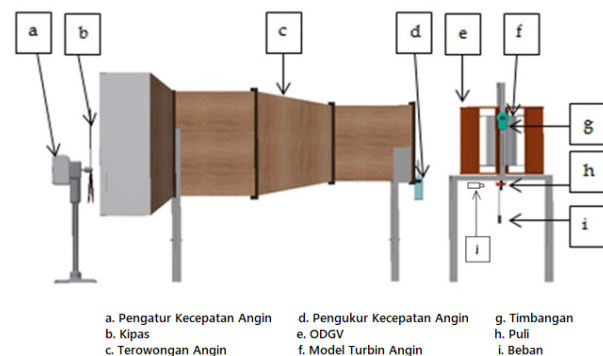
Penelitian sebelumnya terkait penambahan bilah pengarah yang bertujuan untuk meningkatkan performa turbin angin *savonius* telah banyak dilakukan. Salim [21] melakukan penelitian desain diffusion guide vane dengan sudut kemiringan 15°, 30, dan 45 derajat dengan jumlah sudu 6 buah. Hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa diffuser dengan sudut kemiringan 45 derajat menghasilkan koefisien performansi turbin maksimum sebesar 0,065 pada tip speed ratio 0,55. Sugiharto [22] melakukan simulasi numerik terkait pengaruh jumlah blade guide vane dan sudut guide vane terhadap performa turbin angin swirling *savonius*. Dari hasil simulasi dijelaskan bahwa sudut guide vane 45 derajat dan jumlah guide vane 16 menghasilkan performa maksimum sebesar 0,22 pada tip speed ratio 0,8.

Pada penelitian ini, pengarah angin tipe *omnidirectional* diusulkan untuk meningkatkan performa model turbin *savonius* dengan desain pengarah angin tipe *omnidirectional* dengan variasi jumlah bilah pengarah.

METODE

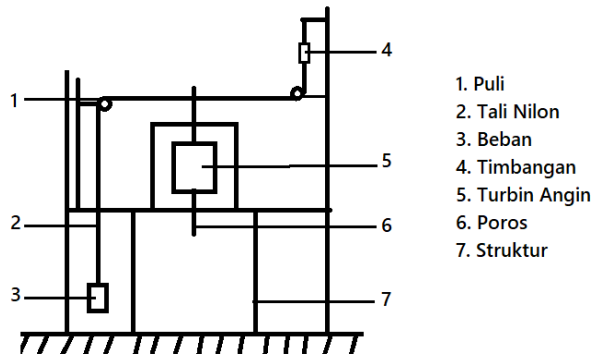
Pada penelitian ini, *rotor savonius* dibuat berdasarkan konfigurasi terbaik dari desain Al-faruk et.al [15], dan desain ODGV dibuat berdasarkan desain Sugiharto dkk [22] dengan sudut guide vane 45°, namun terdapat perbedaan pada beberapa parameter desain. Perbedaan variabel utama desain yang dikembangkan oleh peneliti dengan desain dari penelitian terdahulu adalah jumlah dan dimensi dari *guide vane*.

Susunan eksperimental yang terdiri dari model turbin angin *savonius* dengan ODGV, terowongan angin jenis terbuka dengan area keluaran 450 mm x 450 mm, fan blower yang dapat dikontrol putarannya dengan inverter yang berfungsi mensimulasikan kecepatan angin dalam rentang kisaran 3 hingga 15m/s, dan perangkat pengukuran lainnya dapat dilihat pada gambar 1.



Gbr. 1 Skema pengaturan instrumen dan peralatan uji

Sedangkan untuk torsi diukur dengan metode *Prony brake* [23], dimana skemanya dapat dilihat pada Gambar 2.

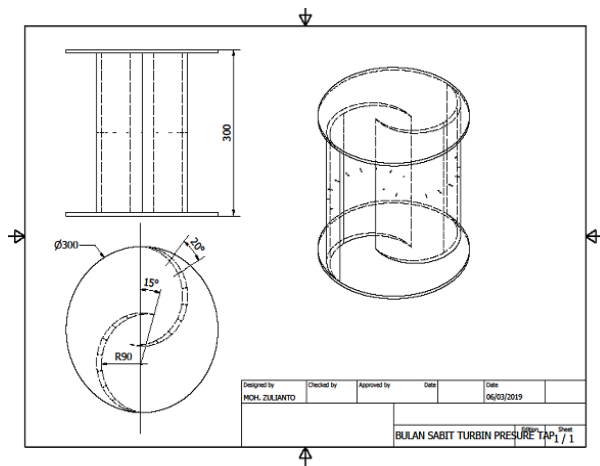


Gbr. 2 Skema rem prony untuk pengukuran torsi

Turbin tipe *Savonius* dengan dua bilah setengah lingkaran digunakan dalam penelitian ini, dengan dimensi tinggi $H = 300$ mm, diameter pelat ujung $D_0 = 300$ mm, dan celah tumpang tindih 60 mm Seperti terlihat pada gambar 3 sedangkan dimensi detailnya terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Dimensi *Savonius* Rotor

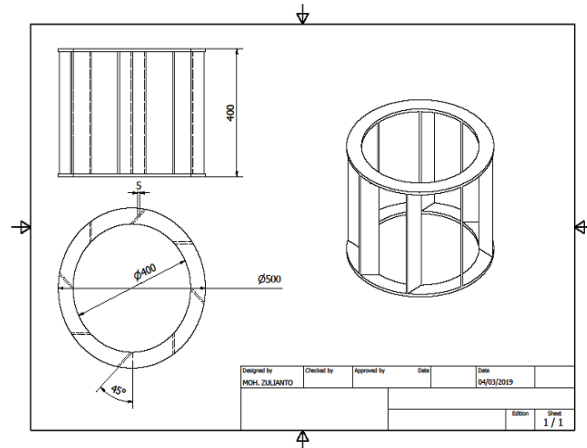
Parameter	Bentuk/nilai/bahan
Geometri bilah	C
Jumlah bilah	2
Panjang chord	180 mm
Diameter turbin angin	300 mm
Tinggi turbin angin	300 mm
Overlap bilah turbin angin	60 mm
Bahan Bilah	PVC
Bahan Lingkaran atas	PVC
Bahan Lingkaran bawah	PVC



Gbr 3. Model rotor *savonius* berputar yang diuji

Untuk pengarah angin (ODGV) memiliki diameter dalam, $D_{in} = 400$ mm, diameter luar, $D_{out} = 500$ mm dengan aspek ratio 5:4, bilah pada ODGV membentuk sudut sebesar 45° derajat terhadap garis normal. ODGV dipasang mengelilingi

rotor *Savonius*. dimensi detailnya diperlihatkan pada tabel 2, sedangkan gambarnya diperlihatkan pada gambar 4.



Gbr. 4 Model Omni Directional Guide Vane (ODGV) yang diuji

Tabel 2. Dimensi dari ODGV

Parameter	Bentuk/nilai/bahan
Profile bilah	Plate
Jumlah bilah	4,8,12,16
Sudut bilah	45 deg
Diameter luar (D_{out}), [mm]	500
Diameter dalam (D_{in}), [mm]	400
Tinggi, [mm]	400
Bahan	PVC

Terdapat beberapa parameter penting dalam menentukan performa turbin angin, yaitu bilangan Reynolds (Re), tip speed ratio (λ), dan koefisien daya (C_p). Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia dan gaya viskos yang digunakan untuk menentukan apakah aliran fluida bersifat laminar atau turbulen.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (1)$$

Tip speed ratio adalah rasio kecepatan angin di ujung blade yang diperoleh dari kecepatan rotasi rotor dan jari-jari rotor dengan kecepatan angin yang mengenai blade yang dirumuskan sebagai persamaan berikut.

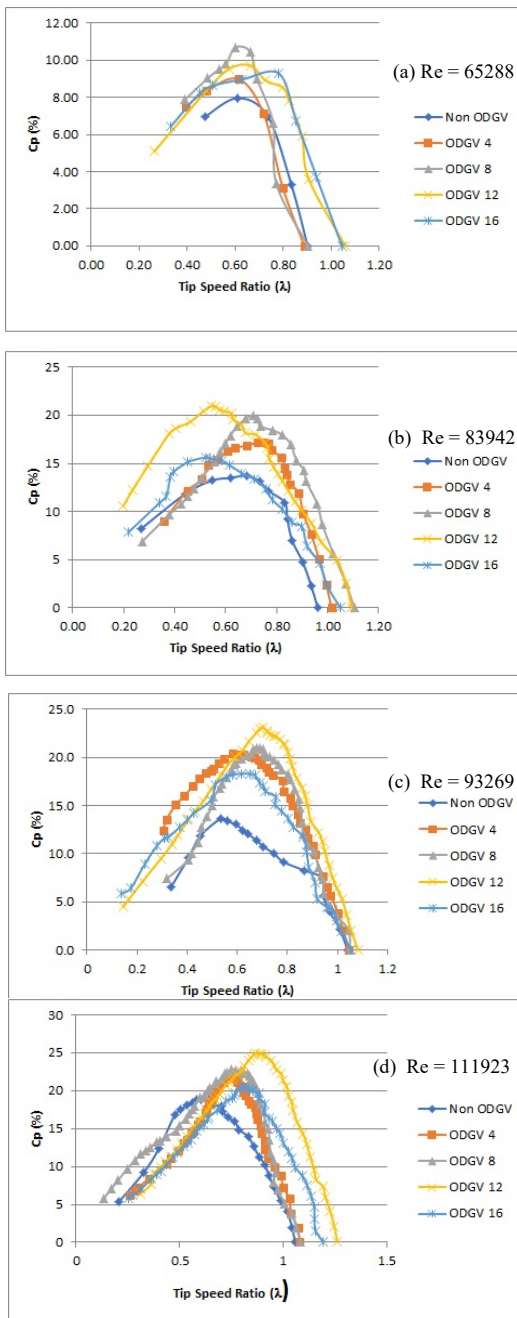
$$\lambda = \frac{\omega R}{V_w} \quad (2)$$

Sedangkan koefisien daya rotor menunjukkan rasio daya yang dihasilkan oleh rotor dengan tenaga angin

$$C_p = \frac{T \omega}{0.5 \rho A V_w^3} \quad (3)$$

HASIL DAN DISKUSI

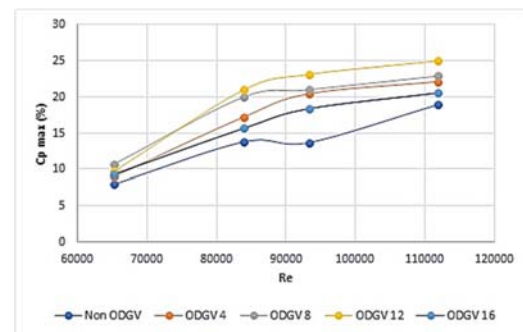
Pengaruh jumlah bilah ODGV dan Re terhadap koefisien daya



Gbr. 5 Pengaruh Bilangan Reynolds (Re) dan jumlah bilah ODGV terhadap distribusi koefisien daya dari rotor *savonius*

Gambar 5 menunjukkan bahwa keberadaan *omnidirectional guide vane* (ODGV) dapat meningkatkan koefisien daya rotor *savonius*. Pada bilangan Reynolds yang kecil jumlah *guide vane* 8 (ODGV 8) menghasilkan koefisien daya yang paling

besar, namun seiring dengan meningkatnya nilai Reynolds maka jumlah *guide vane* 12 (ODGV 12) menghasilkan koefisien daya yang paling besar. Peningkatan koefisien daya rotor pada ODGV 12 lebih besar dengan bertambahnya bilangan Reynolds, hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya bilangan Reynolds berkorelasi dengan bertambahnya kecepatan angin, adanya *omnidirectional guide vane* mempercepat aliran udara secara signifikan sebelum menumbuk permukaan sudu-sudu dari rotor *savonius* yang berputar. Selain itu adanya *omnidirectional guide vane* dapat meningkatkan koefisien lift rotor yang ditandai dengan nilai $\lambda > 1$, peningkatan koefisien lift rotor ini menyebabkan resultan gaya untuk menggerakkan rotor meningkat yang pada akhirnya dapat meningkatkan torsi yang dihasilkan rotor. Dari gambar 5 dan 6 terlihat bahwa nilai koefisien daya yang dihasilkan oleh *omnidirectional guide vane* dengan jumlah *guide vane* 16 (ODGV 16) paling kecil jika dibandingkan dengan jumlah *guide vane* yang lain, hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya jumlah *guide vane* maka jarak antar *guide vane* semakin sempit sehingga ada sebagian aliran udara yang mengalir pada bagian luar *omnidirectional guide vane* sehingga meskipun dapat mempercepat aliran tetapi massa udara yang menabrak permukaan *blade savonius* rotor pada ODGV 16 lebih kecil dibandingkan dengan jumlah *guide vane* yang lain.



Gbr. 6 Nilai koefisien daya maksimum dari rotor *savonius* pada nilai variasi Bilangan Reynolds dan jumlah bilah dari ODGV

Pengaruh penambahan ODGV terhadap kinerja dari model turbin angin *savonius* jika dibandingkan dengan kinerja turbin angin *savonius* tanpa ODGV diperlihatkan pada tabel 3, dimana keberadaan dari ODGV mampu meningkatkan kinerja dari turbin angin *savonius* pada semua jumlah bilah dan semua bilangan Reynolds dengan peningkatan kinerja terbaik terjadi pada turbin angin *savonius* dengan ODGV bilah 12 pada bilangan Reynolds 93269 sebesar 69,15%.

Table 3. Peningkatan Kinerja turbin angin *savonius* rotors dengan ODGV

Re	ODGV 4 (%)	ODGV 8 (%)	ODGV 12 (%)	ODGV 16 (%)
65288	12,94	34,42	22,11	16,71
83942	25,09	45,24	52,36	13,67
93269	49,54	53,70	69,15	34,38
111923	16,89	20,88	32,05	8,56

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa penambahan *omnidirectional guide vane* dengan variasi jumlah *guide vane* dapat meningkatkan nilai koefisien daya *savonius* rotor untuk semua kondisi yang ditandai dengan nilai prosentase selisih antara *savonius* rotor tanpa *omnidirectional guide vane* (Non-ODGV) dengan *savonius* rotor dengan *omnidirectional guide vane* dengan variasi jumlah *guide vane* (ODGV 4 ODGV 8, ODGV 12 dan ODGV 16). Peningkatan terbesar terjadi pada *savonius* rotor dengan *omnidirectional guide vane* 12 (ODGV 12) sebesar 69,15% pada bilangan Reynolds (Re) 93269.

KESIMPULAN

Jumlah bilah dari pengarah angin jenis *omnidirectional guide vane* atau ODGV mempengaruhi kinerja berupa koefisien daya (C_p) dari *savonius* rotor dimana hasil penelitian memaparkan peningkatan terbesar pada jumlah bilah ODGV sebesar 12 bilah dan bilangan Reynolds 93269 sebesar 69,15%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini dalam skema PDUPT.

REFERENSI

- [1] The IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (online) (http://www.economicpolicyresearch.org/images/docs/SCEPA_blog/economics_of_climate_change/Edenhofer_Presentation_Sept_2011_Compatibility_Mode.pdf accessed on 9 September 2019).
- [2] Danish Energy Agency, 2017, Powering Indonesia by Wind (online), (http://www.ea-energianalyse.dk/reports/1650_powering_indonesia_by_wind.pdf, accessed on 9 September 2019).
- [3] Siregar, I. H., and Ansori, A., 2016. Performance of Combined Vertical Axis Wind Turbine blade between airfoil NACA 0018 with Curve Blade with and without Guide vane. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7 (8), 863-867
- [4] Roy, S., & Saha, U. K., 2013. Review of experimental investigations into the design, performance, and optimization of the Savonius rotor. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 227(4), 528-542
- [5] Akwa, J. V., Vielmo, H. A., & Petry, A. P., 2012. A review on the performance of Savonius wind turbines. *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 16, No. 5, pp. 3054–3064.
- [6] Mahmoud, N. H., et al., 2012. An experimental study on improvement of *Savonius* rotor performance. *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 51, No. 1, pp. 19-25.
- [7] Ali, M. H., 2013. Experimental comparison study for Savonius wind turbine of two & three blades at low wind speed. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 3(5), 2978-2986.
- [8] Wenehenubun, F., Saputra, A., & Sutanto, H., 2015. An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades. *Energy Procedia*, 68, 297-304.
- [9] Fitrandi, Robby Ilham., Siregar, Indra Herlamba., 2014, Karakteristik Turbin Angin *Savonius* 2 dan 3 *Blade* dengan Menggunakan Bantuan *Guide Vane*, *Jurnal Teknik Mesin* Vol 2, No 02. 125-131.
- [10] Modi, V. J., & Fernando, M. S. U. K., 1989. On the performance of the Savonius wind turbine. *Journal of solar energy engineering*, 111(1), 71-81.
- [11] Kamoji, M., Kedare, S., Prabhu, S., 2009. Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor, *Applied Energi* 86, 1064–1073.
- [12] Kacprzak, K., Liskiewicz, G., & Sobczak, K. (2013). Numerical investigation of conventional and modified Savonius wind turbines. *Renewable energy*, 60, 578-585.
- [13] Tartuferi, M., D'Alessandro, V., Montelpare, S., & Ricci, R., 2015. Enhancement of Savonius wind rotor aerodynamic performance: a computational study of new blade shapes and curtain systems. *Energy*, 79, 371-384.
- [14] I. Ushiyama and H. Nagai, Optimum design configurations and performance of Savonius rotors, *Wind Engineering*, 12(1) (1988) 59-75
- [15] Al-Faruk, A., & Sharifian, A. S., 2015. Effects of flow parameters on the performance of vertical axis swirling type Savonius wind turbine. *International Journal of Automotive & Mechanical Engineering*, Vol. 12, pp. 2929–2943.
- [16] Shikha Bhatti TS, Kothari DP., 2003. Wind energy conversion systems as a distributed source of generation. *ASCE J Energy Eng* 129:69–80.
- [17] Mohamed MH, Janiga G, Pap E, Thévenin D., 2010. Optimal blade shape of a modified Savonius rotor using an obstacle shielding the returning blade. *Renew Energy* 52:236–42.
- [18] Roy S, Mukherjee P, Saha UK., 2014. Aerodynamic performance evaluation of novel Savonius-style wind turbine under the oriented jet. Paper No. GTINDIA2014-8152, ASME 2014 Gas Turbine India Conference, December, 15–17, New Delhi, India.
- [19] Altan BD, Atilgan M., 2010. The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors. *Renew Energy* 35:821–9.
- [20] Abraham JP, Plourde BD, Mowry GS, Minkowycz WJ, Sparrow EM., 2012. Summary of Savonius wind turbine development and future applications for small-scale power generation. *J Renew Sustain Energy* 4.
- [21] Salim, E., Yahya, W., Danardono, D., & Himawanto, D. A., 2015. A Study of the Influence of Guide Vane Design to Increase Savonius Wind Turbine Performance. *Modern Applied Science*, 9(11), 222.
- [22] Sugiharto, B., Soeparman, S., Widhiyanuriyawan, D., & Wahyudi, S. 2016. Performances of Savonius Rotor with Addition Guide Vane. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 6(4), 1336-1341.

- [23] Kamoji, M., Kedare, S., Prabhu, S., 2009. Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor, *Applied Energi* 86, 1064–1073.
- [24] Siregar, I. H., Effendy, M., & Rasyid, A. H. A. 2020. The Effect of the Number of Vanes in the Omnidirectional Guide Vane on Aerodynamics Characteristic of Stationary Swirling Savonius Rotor. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 29, 12931-12938.