



## Pengaruh Overlap Ratio pada Model Turbin Savonius terhadap Karakteristik Koefisien Daya Berdasarkan Eksperimen Pada Wind Tunnel

Ruzita Sumiati<sup>12</sup>, M. Luthfi Artia<sup>3</sup>, U G S Dinata<sup>4\*</sup>, Gusriwandi<sup>5</sup>

<sup>13456</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

\*uyunggsd@gmail.com

### Abstract

Wind energy is a resource that is abundant, environmentally friendly, and renewable, therefore it has the potential to be developed. Savonius vertical axis type is suitable for application in low wind speed conditions. The Savonius wind turbine has good self-starting so that it is able to rotate the rotor even though the wind speed is low, besides that the torque it produces is relatively high. This study aims to determine how differences in OR affect the performance of Savonius turbines with an aspect ratio (AR) of 2. The experimental method was applied in this research to investigate the characteristic Cp of the model using the wind tunnel with different overlap ratios of 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, and 0.3. The wind turbine model that has been made using a 3D printing process made of PLA + material. The results obtained in each OR test are the maximum Cp value for the variation OR 0.1, which is 0.121, OR 0.15, the maximum Cp value obtained is 0.213, OR 0.2, the maximum Cp value is 0.245, OR 0.25, the maximum Cp value is 0.224 and OR 0.3, the maximum Cp value is 0.210. Based on the five overlap variations, the maximum Cp ratio is obtained at OR = 0.2, namely Cp = 0.245 and TSR = 0.7. The OR value of 0.2 is able to maximize turbine power and minimize negative torque because the flow through the overlap area can maximally direct wind power to the maximum backward blade.

Keywords: Savonius, Wind Tunnel Experiment, Low wind speed, *Self-starting*, *the Overlap ratio*

### Abstrak

Energi angin adalah salah satu sumber daya yang berlimpah, ramah lingkungan dan bersifat *renewable*, oleh karena itu sangat berpotensi untuk dikembangkan. Turbin angin *vertikal axis jenis savonius* cocok untuk diterapkan pada kondisi kecepatan angin rendah. Turbin angin *savonius* memiliki *self-starting* yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun kecepatan angin rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relatif tinggi. Tujuan dari penelitian ini yaitu melihat pengaruh variasi Overlap Ratio (OR) terhadap kinerja turbin savonius dengan aspek rasio (AR)=2. Metoda yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda eksperimental yaitu dilakukan pengujian terhadap model pada wind tunnel untuk melihat karakteristik kinerja turbin *savonius* dengan variasi *overlap ratio* 0,1;0,15;0,2;0,25;0,3. Model turbin angin yang telah dibuat dengan menggunakan proses *3D printing* bermaterial PLA +. Hasil yang didapatkan pada pengujian masing-masing OR adalah nilai Cp maksimum pada variasi OR 0,1, adalah 0,121; OR 0,15 nilai Cp maksimum yang diperoleh adalah 0,213; OR 0,2, nilai Cp maksimum adalah 0,245, OR 0,25, nilai Cp maksimum adalah 0,224 dan OR 0,3 diperoleh nilai Cp maksimum yaitu 0,210. Berdasarkan kelima variasi overlap rasio Cp maksimal didapat pada OR= 0,2 yaitu Cp= 0,245 dan TSR= 0,7. Nilai OR 0,2 mampu memaksimalkan daya turbin dan meminimalkan torsi negative karena aliran melalui area overlap dapat secara maksimal mengarah tenaga angin ke sudu mundur secara maksimal.

Kata kunci: Savonius Rotor, wind tunnel eksperimen, Kecepatan rendah, *self-starting*, *Overlap rasio*

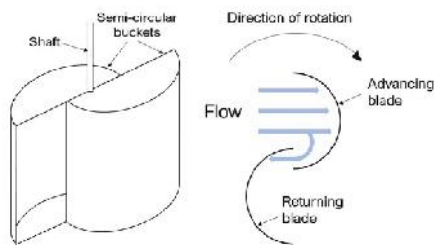
### 1. Pendahuluan

Sebagian besar energi yang digunakan masyarakat bersumber dari energi fosil yang memiliki dampak negative terhadap lingkungan karena menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> [1] Oleh karena itu penelitian terhadap energi terbarukan terus dilakukan untuk percepatan

dalam pemanfaatan energi terbarukan sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang melimpah dan masih minim dalam penggunaannya adalah energi angin. Pemilihan angin sebagai sumber energi listrik dikarenakan listrik yang dihasilkan dari angin tidak menghasilkan gas CO<sub>2</sub> sehingga tidak

mempunyai kontribusi pada dalam menghasilkan efek rumah kaca[2]. Pemanfaatan energi angin dibantu oleh sebuah alat yang disebut dengan turbin angin. Turbin angin merupakan perangkat mekanis sederhana yang mengubah energi kinetik angin menjadi tenaga mekanik atau energi listrik [3].

Pemanfaatan energi angin perlu mempertimbangkan profil kecepatan angin pada wilayah operasinya. Profil kecepatan angin Indonesia termasuk pada kecepatan angin rendah berkisar antara 0,3 - 7 m/s [4-5]. Jenis turbin yang mampu berputar dengan baik pada kecepatan angin rendah adalah jenis savonius karena memiliki self-starting yang baik pada kecepatan angin rendah. Prinsip dasar pengoperasian turbin savonius terletak pada selisih gaya drag yang diberikan oleh angin pada kedua bucket (blade) yang menyebabkan turbin berputar. Konstruksi sederhana turbin savonius klasik terlihat pada Gambar 1



Gambar 1 Konsep awal savonius [6]

Keunggulan dari turbin savonius memiliki struktur sederhana, mudah di produksi, memiliki frekuensi rendah, dapat menerima angin dari segala arah, torsi awal tinggi, rentang kecepatan kerja angin yang lebar, sesuai untuk aplikasi pada daerah perkotaan akan tetapi savonius memiliki efisiensi yang rendah [6-11] jika dibandingkan dengan turbin lainnya.

Kinerja turbin Savonius ditinjau dari dua parameter utama yaitu koefisien torsi  $C_T$  dan Koefisien daya  $C_p$  Salah satu parameter yang mempengaruhi nilai koefisien tersebut adalah parameter Overlap Ratio (OR). OR adalah jarak antara dua sudu pada turbin savonius dibagi dengan diameter buket. Jarak ini digunakan untuk mengkompensasi tekanan diferensial di bagian cekung dan cembung. OR dalam makalah yang berbeda kadang-kadang didefinisikan sedikit berbeda, tetapi secara umum mengungkapkan konsep yang sama. Menurut Fujisawa [12], ukuran optimal untuk rasio overlab sama dengan 15% dari ukuran diameter buket. Blackwell dkk. [13] menyimpulkan bahwa dimensi overlab setara dengan nilai antara 10 dan 15% ukuran diameter buket. Alexander dan Holownia [14] dan Mojola [15] menunjukkan bahwa nilai antara 20 dan 30% dari diameter buket memberikan hasil terbaik untuk kinerja turbin angin Savonius. OR kecil antara 0,15 dan 0,25 membantu meminimalkan torsi negatif, dan meningkatkan

kinerja karena aliran melalui area overlab jika dibandingkan dengan savonius tanpa overlab.

Tujuan dari riset ini adalah melihat pengaruh OR terhadap karakteristik kinerja turbin savonius klasik dua bilah dengan nilai aspek rasio yang diterapkan pada turbin savonius yaitu 2 dengan tinggi turbin dua kali diameternya. Penelitian dilakukan secara ekperimental pada *wind tunnel*.

## 2. Perhitungan Kinerja Savonius

Kinerja turbin savonius ditentukan oleh dua faktor utama: koefisien torsi  $C_T$  dan koefisien daya  $C_p$  [16].  $C_p$  mengukur kinerja turbin dalam menghasilkan energi kinetik menjadi energi mekanik atau listrik yang dinyatakan dengan persamaan 1. Nilai  $C_T$  merupakan perbandingan antara torsi aktual yang dihasilkan dengan torsi yang tersedia pada angin yang dinyatakan dengan persamaan (4). TSR ( $\lambda$ ) adalah parameter yang dihitung sebagai rasio kecepatan ujung sudu dengan kecepatan angin melalui sudu yang dinyatakan dengan persamaan (5).

$$C_p = \frac{P}{P_A} \quad (1)$$

$$\text{dimana } P_A = \frac{1}{2} \rho A U^3 \quad (2)$$

$$\text{dan } P = T \cdot \omega \quad (3)$$

$$C_T = \frac{T}{T_A} = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A U^2 R} \quad (4)$$

$$TSR (\lambda) = \frac{\omega R}{U} \quad (5)$$

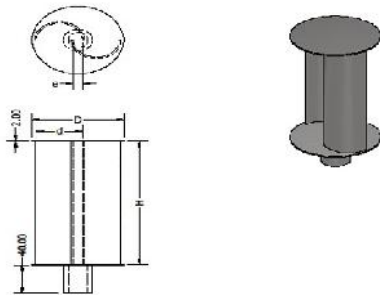
$$\omega = \frac{2\mu}{60} N \quad (6)$$

Dimana  $\rho$  adalah densitas udara yang diukur dalam  $\text{kg/m}^3$ ,  $U$  adalah kecepatan angin dalam aliran bebas yang diukur dalam  $\text{m/dt}$ ,  $A$  adalah luas sapuan turbin yang diukur dalam  $\text{m}^2$ , sama dengan tinggi dikalikan diameter rotor ( $\text{m}^2$ ),  $R$  adalah jari-jari turbin yang diukur dalam meter,  $\omega$  pada persamaan 6 adalah kecepatan putar turbin yang diukur dalam radian per detik, dan  $P$  adalah besarnya daya yang dihasilkan oleh turbin.  $P_A$  adalah daya yang tersedia dalam angin [W].

## 3. Metode Penelitian

Geometri turbin savonius yang diuji disajikan pada Gambar 2 dalam bentuk gambar kerja dan hasil cetak pada printer 3D. Data variasi overlab dapat dilihat pada Tabel 1.

Model dicetak menggunakan printer 3D dengan menggunakan PLA+. Bearing yang digunakan pada konstruksi turbin adalah bearing Teflon dengan diameter dalam 8mm dan diameter luar 22mm.



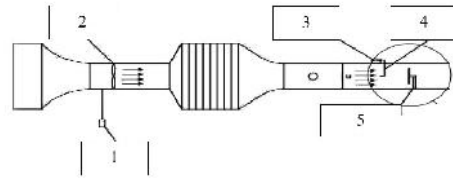
Gambar 2. Bentuk geometri & Hasil Cetak geometri dengan Printer 3D

Tabel 1. Dimensi Turbin

NO	Variasi <i>Overlap Ratio</i>	Jarak celah antar sudu (e)	Diameter <i>end plate</i> (D)	Diameter sudu (d)	Tinggi Turbin (H)
1	0,1	5 mm	99 mm	50 mm	180 mm
2	0,15	7,5 mm	99 mm	50 mm	180 mm
3	0,2	10 mm	99 mm	50 mm	180 mm
4	0,25	12,5 mm	99 mm	50 mm	180 mm
5	0,3	15 mm	99 mm	50 mm	180 mm

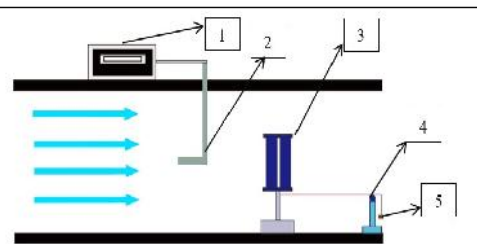
Variabel yang digunakan dalam penelitian ada 3 jenis: a. Variabel Bebas yaitu Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi *overlap ratio* 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 yang merupakan perbandingan antara jarak celah antar sudu dengan diameter sudu; b. variabel terikat yaitu daya dan karakteristik model turbin; variabel tetap yaitu model turbin *savonius* dengan jumlah sudu 2, PLA + sebagai material pemodelan, dan kecepatan angin.

Metoda yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda eksperimental yaitu pengujian model dilakukan pada wind tunnel jenis *low-speed open-jet* yang terdapat pada laboratorium fluid dinamik Teknik Mesin Universitas Andalas. Gambar 3 merupakan bentuk skema wind tunnel yang digunakan.

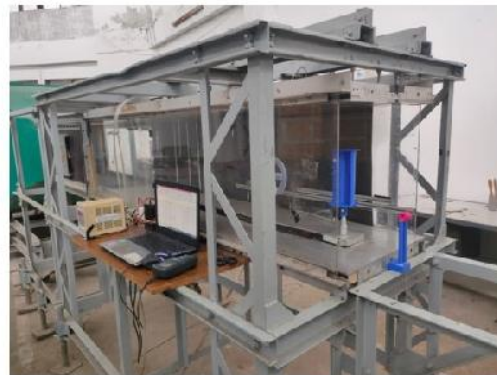


Gambar 3. Skema alat uji turbin angin pada terowongan angin

Keterangan Gambar 3 yaitu 1= Panel pengontrol, 2 = Blower, 3= Manometer, 4 = Tabung pitot, 5 = Model turbin angin. Model skema pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 4.



(a)



(b)

Gambar.4 (a) Skema pengujian , (b). Proses pengambilan data

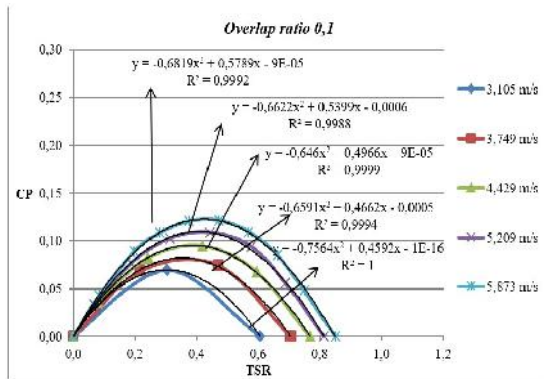
Keterangan gambar 4a : 1 = Manometer, 2 = Tabung pitot, 3 = Model turbin angin, 4 = Katrol, 5 = Beban, 6 = Tali, 7 = Pulley

Data yang diambil pada pengujian adalah data variasi pembebanan (pengereman), mengukur putaran poros dan kecepatan angin. Pengambilan data dilakukan pada semua variasi OR (0.1; 0.15; 0.2; 0.25 dan 0.3)

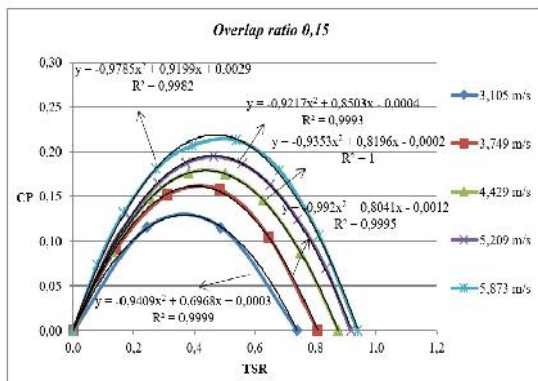
#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan perbandingan nilai prestasi dari masing-masing karakteristik model turbin angin yang divariasikan. Dari pengujian didapatkan data berupa daya angin dan daya mekanik dari putaran poros turbin angin model, perhitungan matematis menggunakan persamaan 1-6. Data tersebut selanjutnya diolah sehingga didapatkan

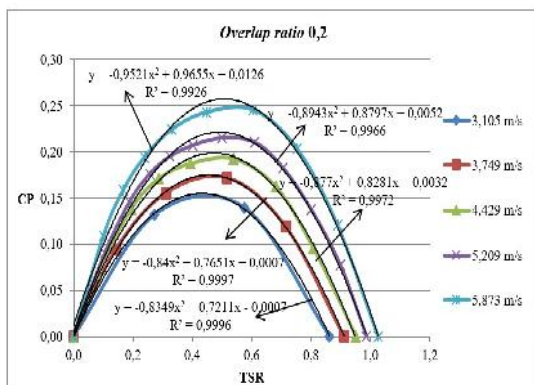
nilai koefisien daya ( $C_p$ ) dengan membandingkan antara daya input (angin) dengan daya output (mekanik poros). Tip Speed Ratio didapatkan dengan membandingkan kecepatan putaran pada ujung sudu turbin dengan kecepatan angin, sehingga didapatkan efisiensi turbin dalam menyerap energi angin. Gambar 5-9 menyajikan data pengujian dalam bentuk grafik  $C_p$ -TSR untuk overlap berturut turut 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 dan 0,3



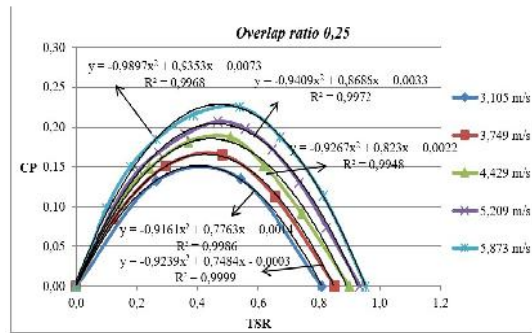
Gambar 5. Grafik  $C_p$  - TSR pada OR 0,1



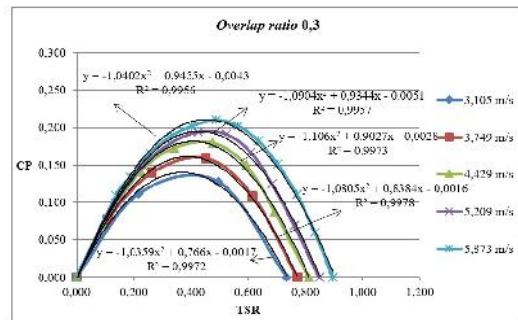
Gambar 6. Grafik  $C_p$  - TSR pada OR 0,15



Gambar 7. Grafik  $C_p$  - TSR pada OR 0,2



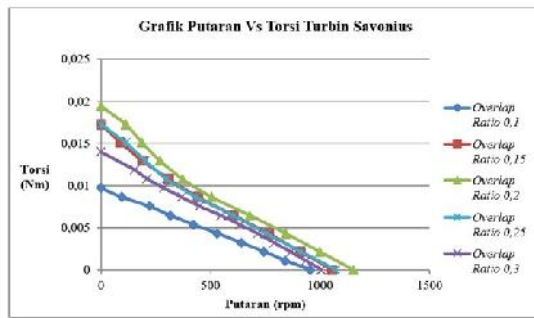
Gambar 8. Grafik  $C_p$  - TSR pada OR 0,25



Gambar 9. Grafik  $C_p$  - TSR pada OR 0,3

Pada gambar 5 – 9 menunjukkan bahwa nilai maksimum  $C_p$  untuk masing-masing variasi diperoleh pada TSR berkisar antara 0,4-0,7. Hasil yang didapatkan pada pengujian masing-masing OR adalah nilai  $C_p$  maksimum pada variasi OR 0,1, adalah 0,121 pada TSR 0,5; OR 0,15 nilai  $C_p$  maksimum yang diperoleh adalah 0,213 pada TSR 0,5, OR 0,2 nilai  $C_p$  maksimum adalah 0,213 pada TSR 0,6; OR 0,25 nilai  $C_p$  maksimum adalah 0,224 TSR 0,7 dan OR 0,3 diperoleh nilai  $C_p$  maksimum yaitu 0,210 TSR 0,5. Berdasarkan kelima variasi overlap rasio  $C_p$  maksimal didapat pada OR= 0,2 yaitu  $C_p= 0,245$  dan TSR= 0,6. Nilai yang didapat pada penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu penerapan overlap sebesar antara 0,15 dan 0,25 membantu meminimalkan torsi negatif, dan meningkatkan kinerja karena aliran melalui area overlap jika dibandingkan dengan savonius tanpa overlap [14][15].

Pengaruh OR terhadap putaran dan torsi pada turbin Savonius disajikan pada Gambar 10. Grafik merupakan hasil pengujian putaran terhadap torsi pada model turbin angin savonius pada 5 variasi overlap ratio yaitu 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 dan 0,3 pada kecepatan angin 5,87345 m/s.



Gambar 10. Grafik Putaran - Torsi pada kecepatan angin 5,87345 m/s

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik hubungan antara putaran rotor terhadap nilai torsi pada kecepatan angin 5,873 m/s. Pada saat turbin angin berputar diberikan pembebanan sehingga terjadi pengereman berupa gesekan antara poros dan tali mengakibatkan terjadi momen puntir pada poros yang dikenal dengan torsi. Hubungan antara torsi dan pembebanan yaitu berbanding lurus, semakin besar beban yang diberikan pada poros maka torsi yang terjadi juga semakin besar dan sebaliknya semakin kecil pembebanan yang diberikan maka torsi juga semakin kecil. Setiap pembebanan yang diberikan akan mengurangi putaran poros turbin angin. Pada gambar 4.8 dapat disimpulkan pada kecepatan angin 5,873 m/s turbin angin savonius overlap ratio 0,2 memiliki nilai torsi tertinggi dibandingkan variasi lainnya yaitu bernilai 0,0194 Nm dan putaran tertinggi 1151,4 rpm.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bermanfaat untuk melihat kinerja turbin savonius dengan menerapkan parameter overlap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien daya paling tinggi adalah pada OR 0,2 dengan nilai  $C_p$  0,25 pada TSR 0,7. Sedangkan nilai  $C_p$  terendah yaitu pada OR 0,1. Nilai OR 0,2 mampu memaksimalkan daya turbin dan meminimalkan torsi negative karena aliran melalui area overlap dapat secara maksimal mengarah tenaga angin ke sudu mundur secara maksimal jika dibandingkan dengan savonius yang memiliki nilai OR 0,1; 0,15; 0,25 dan 0,3. Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa perubahan nilai OR akan mempengaruhi karakteristik kinerja turbin angina savonius.

#### Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih kepada Universitas Andalas yang telah mendanai penelitian ini dengan skema Riset Publikasi Bereputasi (RPB) Batch I dengan no kontrak: T/29/UN.1617/PT.01.03/Energi-RPB/2022

#### Daftar Rujukan

- [1] [X. Yang, J. Pang, F. Teng, R. Gong, and C. Springer, 'The environmental co-benefit and economic impact of China's low-carbon pathways: Evidence from linking bottom-up and top-down models', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 136, (2021), [Http://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110438](http://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110438)
- [2] Martin O. L. Hansen, (2007), 'Aerodynamics of Wind Turbines Second Edition', London • Sterling, VA, <https://doi.org/10.4324/9781849770408>
- [3] Mr. P. R. M. Shailendra Sao, 'Analysis of NACA 4415 Blade profile For Horizontal Axis Wind Turbine Using Various Aerodynamic Characteristics', (2017).
- [4] I. Sofiati, E. Yulihastin, and M. F. Putranto, Meridional variations of sea surface temperature and wind over southern sea of Java and its surroundings. *Journal of Physics and Its Applications* Vol:3 No.1, (2020), <https://doi.org/10.14710/jpa.v3i1.9374>
- [5] N. A. Satwika, R. Hantoro, E. Septyaningrum, and A. W. Mahmashani, 'Analysis of wind energy potential and wind energy development to evaluate performance of wind turbine installation in Bali, Indonesia', *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 13, no. 1, (2019): 4461-4476, [Http://doi.org/10.15282/jmes.13.1.2019.09.0379](http://doi.org/10.15282/jmes.13.1.2019.09.0379)
- [6] K. A. H. Al-Gburi, F. B. I. Alnaimi, B. A. Al-quraishi, E. Sann Tan, and M. M. Maseer, 'A comparative study review: The performance of Savonius-type rotors', *Material Today Proc*, (2022): 343-349, [Http://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.226](http://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.226)
- [7] S. H. Chaklasiya, R. R. Saxena, and P. v Ramana, 'Review on Performance Evaluation of Helical Savonius Wind Turbine', vol. 4, no. 1, (2018): 1464-1471
- [8] [T. Zhipeng, Y. Yingxue, Z. Liang, and Y. Bowen, 'A review on the new structure of savonius wind turbines', in *Advanced Materials Research*, vol. 608-609, (2013): 467-478. [Http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.608-609.467](http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.608-609.467)
- [9] K. H. Wong, W. T. Chong, N. L. Sukiman, S. C. Poh, Y. C. Shiah, and C. T. Wang, 'Performance enhancements on vertical axis wind turbines using flow augmentation systems: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 73, no. June 2016, (2017):904-921, [Http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.160](http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.160)
- [10] M. Zemamou, M. Aggour, and A. Toumi, 'Review of savonius wind turbine design and performance', *Energy Procedia*, vol. 141, no. December, (2017): 383-388, [Http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.047](http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.047)
- [11] Z. Tasneem et al., 'An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: Prospect and challenges', *Developments in the Built Environment*, vol. 4. Elsevier Ltd, (2020). [Http://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100033](http://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100033)
- [12] N. Fujisawa, 'On the torque mechanism of Savonius rotors', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Volume 40, Issue 3, (1992) :277-2921 [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(92\)90380-S](https://doi.org/10.1016/0167-6105(92)90380-S)
- [13] B. F. Blackwell, R. E. Sheldahl, and L. v Feltz, 'Wind Tunnel Performance Data for Two- and Three Bucket Savonius Rotors'. ARC, Vol.2 No.3, (2012), <https://doi.org/10.2514/3.47966>
- [14] A. J. Alexander and B. P. Holownia, 'Wind Tunnel Tests On A Savonius Rotor', (1978). [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(78\)90037-5](https://doi.org/10.1016/0167-6105(78)90037-5)

[15] Mojola, 'On the aerodynamic design of the savonius windmill rotor', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 21, (1985): 223–231.  
[https://doi.org/10.1016/0167-6105\(85\)90005-4](https://doi.org/10.1016/0167-6105(85)90005-4)

[16] S. F. Dorel, G. A. Mihai, and D. Nicusor, 'Review of specific performance parameters of vertical wind turbine rotors based on the Savonius type', *Energies*, vol. 14, no. 7. MDPI AG, (2021),  
[Http://doi.org/10.3390/en14071962](http://doi.org/10.3390/en14071962)