



Prototipe Turbin Angin Savonius Variasi *Extra Layers* dengan Pengujian *Real Wind Condition*

Yudi Kurniawan*, Ida Bagus Dharmawan, Zulkifli
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Balikpapan
Balikpapan, 76125, Indonesia
*Email: yudi.kurniawan@poltekba.ac.id

Abstrak

Energi angin merupakan energi baru terbarukan yang bersih, ramah lingkungan, dan mudah diperoleh. Kota Balikpapan sangat cocok untuk mengaplikasikan turbin angin Savonius karena memiliki kecepatan angin rata-rata 2,91 m/s. Turbin angin Savonius merupakan turbin yang terdiri dari dua sudu cekung dan cembung yang bekerja berdasarkan gaya *drag*. Turbin angin Savonius dapat memanfaatkan energi angin dengan kecepatan rendah < 2 m/s untuk dapat dikonversi menjadi energi listrik yang dapat mengurangi beban listrik didaerah perkotaan. Penelitian ini bertujuan membuat prototipe turbin angin Savonius dengan variasi penambahan *extra layer* pada sudu cekung turbin. Metode pengujian eksperimen menggunakan generator yang dipasangkan pada *shaft* turbin dan pengujian dilakukan di area terbuka (gedung bertingkat). Kecepatan angin yang digunakan pada penelitian ini adalah 1,9 – 5,1 m/s. Hasil yang diperoleh adalah prototipe turbin angin Savonius mampu menghasilkan daya aktual 0,76 Watt dan koefisien daya 0,082. Penambahan *extra layer* pada kedua ujung sudu cekung turbin terbukti mampu meningkatkan performa turbin angin Savonius.

Kata kunci : prototipe, turbin angin, savonius, extra layer

Prototype Savonius Wind Turbine Extra Layers Variation With Experiment Real Wind Condition

Abstract

Wind energy is renewable energy that is clean, environmentally friendly and easy to obtain. Balikpapan City is very suitable for applying the Savonius wind turbine because it has a relatively average wind speed is 2.91 m/s. Savonius wind turbine consist of two concave and convex blades that work based on drag forces. Savonius wind turbine can utilize wind energy at low speed < 2 m/s to be converted into electrical energy which can reduce the electrical load in urban areas. This research makes a prototype of the Savonius wind turbine with the addition of variations extra layer on the concave turbine blades. The test method uses a generator that is attached to the turbine shaft and the test is carried out in a multi-storey building area. The results obtained are the Savonius wind turbine prototype capable of producing actual power 0.76 Watt and power coefficient is 0.082. The addition of an extra layer at both tips of the turbine concave blades is proven to improve the performance of the Savonius wind turbine.

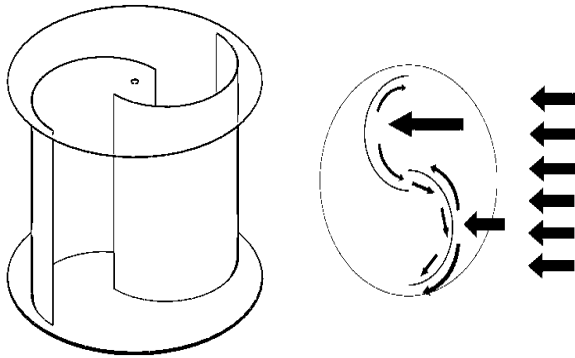
Keywords: *prototype, wind turbine, savonius, extra layers.*

1. Pendahuluan

Kelangkaan dan menipisnya bahan bakar fosil mendorong pemerintah untuk menggalakan pemanfaatan energi alternatif yang dikenal dengan energi baru terbarukan. Energi angin merupakan salah satu energi baru terbarukan yang sangat sederhana dan mudah dimanfaatkan. Energi angin adalah energi potensial dari alam yang terbentuk karena perbedaan suhu dan perbedaan tekanan udara sehingga mengalir menjadi energi kinetik angin [1], [2].

Kondisi saat ini banyak negara maju dan berkembang memanfaatkan sumber energi angin dari alam untuk dikonversi menjadi energi listrik salah satunya adalah Indonesia. Indonesia berpotensi untuk mengembangkan energi angin dikarenakan memiliki kecepatan angin rata-rata 5 m/s [3]. Kota Balikpapan memiliki karakteristik wilayah yang cukup unik karena ketinggian wilayah dengan permukaan air laut berkisar 0-80 meter. Hal tersebut menjadi unsur yang berpengaruh

pada perubahan iklim kota Balikpapan yang tidak menentu. Kecepatan angin rata-rata kota Balikpapan adalah mencapai 2,91 m/s [4] sehingga sangat cocok untuk pemanfaatan energi angin dengan menggunakan turbin angin sumbu vertikal khususnya turbin Savonius. Turbin angin Savonius diperkenalkan oleh Sigurd Johannes Savonius pada tahun 1920 [5]. Turbin Savonius (Gambar 1) terdiri dari 2 sisi sudu cekung dan cembung yang bekerja berdasarkan gaya *drag* [6].



Gambar 1. Turbin angin tipe Savonius [7]

Turbin Savonius dapat mengekstrak energi kinetik angin < 2 m/s dan dari segala arah angin sehingga sangat cocok diaplikasikan di area perkotaan khususnya gedung bertingkat. Turbin Savonius memiliki kekurangan yaitu memiliki nilai efisiensi yang rendah. Secara teoritik efisiensi maksimal yang dapat dihasilkan turbin Savonius adalah 19,3% [8]. Oleh karena itu, berbagai riset dikembangkan untuk dapat meningkatkan performa dari turbin Savonius.

Sharma [9] telah melakukan penambangan tentang penelitian pada turbin angin Savonius. Penelitian secara simulasi dengan memodifikasi sudu cekung dengan menambahkan *multiple quarter* yang dipasang sejajar mampu meningkatkan koefisien daya 13,69% pada kecepatan angin 9,21 m/s dibandingkan dengan turbin Savonius konvensional. Pada tahun berikutnya, Sharma [10] kembali mengembangkan desain turbin Savonius dengan menambahkan beberapa miniatur lapisan di dalam sudu cekung turbin. Dengan melakukan pengujian secara simulasi, koefisien daya (C_p) turbin maksimum dicapai pada 0,226 pada kecepatan 8,23 m/s.

Kurniawan [7] melakukan penelitian terhadap turbin Savonius dengan metode pengujian secara eksperimen. Pengujian dilakukan dengan 4 *blower fan* yang dihadapkan pada turbin sebagai sumber energi angin. Pada penelitian ini turbin Savonius divariasikan dengan penambahan layer (lapisan sudu) *single* dan *double*. Kemudian turbin Savonius dengan penambahan layer dikombinasikan dengan variasi overlap ratio 10% dan 15%. Koefisien daya (C_p) 0,12 pada *Tip Speed Ratio* (TSR) 0,428 dihasilkan oleh turbin Savonius dengan double layer dan overlap ratio 10%. Selain itu, berdasarkan pengujian statis torsi yang dilakukan membuktikan bahwa turbin Savonius dengan double layer dan overlap ratio 10% memperoleh CT maksimum yaitu 0,312.

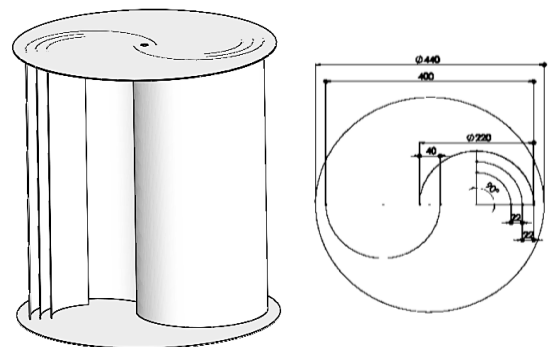
Penelitian secara eksperimen terhadap turbin angin Savonius dilakukan oleh Kurniawan [11]. Desain turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin Savonius dengan penambahan ukuran

multiple layer yang membentuk sudut 90° , 115° dan 135° . Kemudian variasi dikombinasikan dengan pergeseran posisi *multiple layer* 0° dan 30° . Kombinasi turbin Savonius dengan *multiple layer* 90° dan pergeseran posisi layer 0° mampu meningkatkan C_p hingga 17,6% dibandingkan dengan turbin Savonius konvensional. Ukuran dan posisi dari *multiple layer* sangat mempengaruhi dari performa turbin yang dihasilkan.

Penelitian ini membuat prototipe turbin angin Savonius dengan variasi *extra layers* pada sudu cekung mendekati ujung sudu turbin. Pengujian *real wind condition* dilakukan dengan tujuan agar dapat menganalisa langsung karakteristik *prototype* turbin Savonius

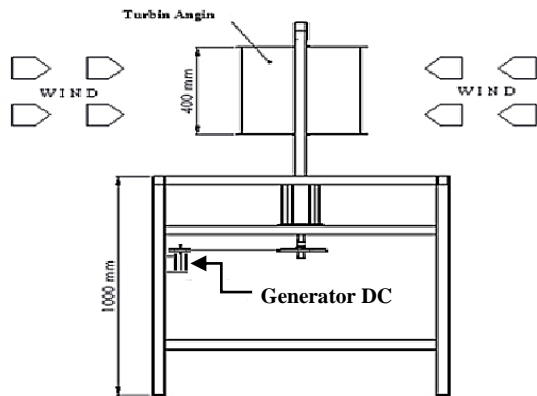
2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan prototipe turbin angin Savonius dengan variasi *extra layers* pada sudu cekung mendekati ujung sudu turbin. Pembuatan prototipe turbin Savonius adalah dengan menggunakan material plat aluminium tebal 1,2 mm. Turbin dengan tinggi (H) = 400 mm, Diameter (D) = 400 mm, aspek rasio (H/D) = 1 dan overlap rasio 10% dibuat dengan proses *cutting* dan *roller* material tersebut (Gambar 2).



Gambar 2. Turbin angin tipe Savonius dengan *extra layers*

Pengujian dilakukan dengan *real wind condition* di gedung bertingkat. Kecepatan angin diukur dengan Anemometer selama 10 menit. Selain itu, alat yang digunakan saat melakukan pengujian adalah tachometer, generator DC, multimeter, dan rangkaian pembebanan (Gambar 3).



Gambar 3. Prototipe turbin angin Savonius

Beberapa parameter penting yang dapat menunjukkan performance dari turbin angin di antaranya daya aktual, koefisien daya (C_p), dan *Tip speed ratio* (TSR). C_p menunjukkan persentasi dari energi kinetik angin dengan energi listrik yang dihasilkan.

$$P = V \times I \quad (1)$$

$$C_p = \frac{P}{P_A} = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \quad (2)$$

Tip speed ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial yang dihasilkan sudu dengan kecepatan angin yang tersedia.

$$TSR = \lambda = \frac{v_{sudu}}{60 v_{angin}} = \frac{\omega \cdot R}{60 v_{angin}} \quad (3)$$

Dimana,

- C_p = Koefisien daya
- P = Daya aktual (Watt)
- P_A = Daya teoritis (Watt)
- A = Luar area sapuan (m^2)

- ρ = Density udara (kg/m^3)
- V = Kecepatan (m/s)
- R = Radius Turbin (m)
- ω = Kecepatan angular (rad/s)
- N = Kecepatan turbin (rpm)
- λ = *Tip Speed Ratio*

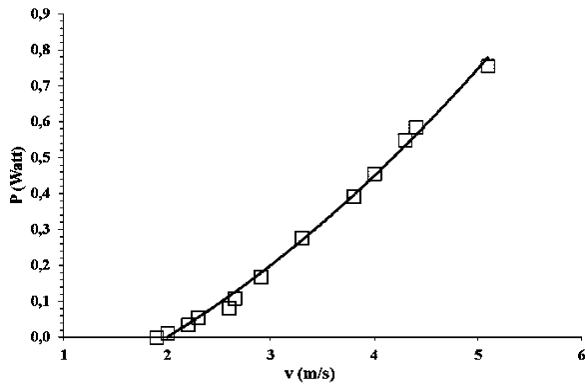
3. Hasil dan Pembahasan

Data yang telah diperoleh dari hasil pengujian prototipe turbin angin Savonius dengan *real wind condition* dilakukan pengolahan data sehingga dapat disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pada penelitian ini dilakukan penambahan variasi *extra layer* pada ujung sudu cekung pada prototipe turbin angin Savonius konvensional. Pengujian dilakukan di atas gedung bertingkat untuk memperoleh pengujian dengan *real wind condition*, tanpa sumber angin buatan. Kecepatan angin rata-rata yang digunakan pada penelitian ini adalah 1,9 m/s – 5,1 m/s. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian yang diperoleh pada penelitian ini.

Tabel 1. Data pengujian prototipe turbin Savonius

v (m/s)	rpm	V (volt)	I (A)	P (W)	P (W)	C_p	TSR
1,9	81	0	0	0,00	0,64	0,000	0,89
2,0	77	0,42	0,032	0,01	0,75	0,018	0,81
2,2	75	0,82	0,044	0,04	1,00	0,036	0,71
2,3	72	1,10	0,051	0,06	1,14	0,049	0,66
2,6	68	1,50	0,055	0,08	1,65	0,050	0,55
2,7	65	1,62	0,067	0,11	1,75	0,062	0,51
2,9	63	1,91	0,089	0,17	2,29	0,074	0,45
3,3	56	1,93	0,143	0,28	3,37	0,082	0,36
3,8	53	2,24	0,176	0,39	5,15	0,077	0,29
4,0	51	2,27	0,201	0,46	6,01	0,076	0,27
4,3	48	2,50	0,220	0,55	7,46	0,074	0,23
4,4	44	2,51	0,233	0,58	7,99	0,073	0,21
5,1	30	2,80	0,270	0,76	12,45	0,061	0,12

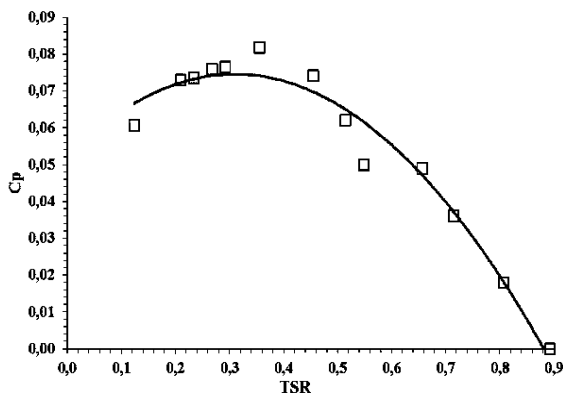
Daya aktual merupakan daya yang dapat dihasilkan oleh turbin yang berputar akibat tumbukan dengan fluida. Daya aktual diperoleh dari pengukuran output generator dan rangkaian pembebanan yaitu berupa tegangan (V) dan arus listrik (I). Data kecepatan putaran turbin (rpm) didapatkan dengan menggunakan tachometer, sedangkan untuk memperoleh data kecepatan angin menggunakan alat ukur anemometer. Untuk membuat proses analisa hubungan antara perubahan kecepatan angin terhadap daya aktual yang diperoleh menjadi lebih mudah maka data ditampilkan dalam bentuk grafik.



Gambar 4. Hubungan kecepatan angin dengan daya aktual

Kecepatan angin memiliki pengaruh mendalam terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin angin [5]. Idealnya, grafik dari variasi kecepatan angin terhadap daya memiliki bentuk *cubic*. Namun, dalam praktiknya, dapat membentuk seperti *linear*, *quadratic*, *cubic* dan lain-lain. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara variasi kecepatan angin terhadap daya aktual yang diperoleh. Daya aktual yang dihasilkan oleh turbin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Daya aktual tertinggi dihasilkan adalah 0,76 Watt pada kecepatan angin rata-rata 5,1 m/s, sedangkan turbin memulai berputar pada kecepatan angin 1,9 m/s. Pada kecepatan angin 2 m/s, generator mulai diberikan pembebanan awal, hasilnya memperoleh daya aktual 0,01 Watt.

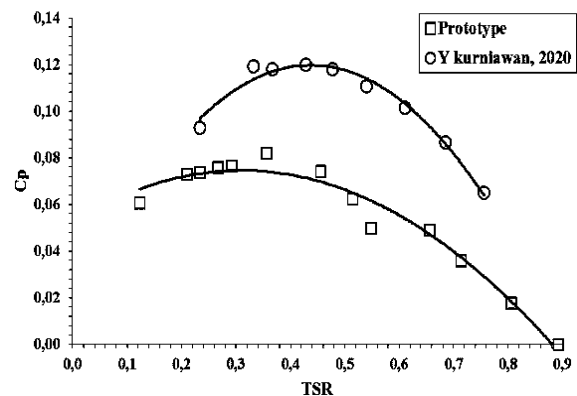
Energi yang terdapat pada fluida tidak dapat diserap sepenuhnya oleh turbin [5]. Sebagian energi yang tersimpan di dalam fluida terbuang ketika fluida tersebut melewati turbin. Oleh karena itu, daya aktual yang mampu dihasilkan oleh turbin dibandingkan dengan daya yang tersedia secara teoritis, perbandingan ini disebut koefisien daya C_p . Pada beberapa literatur sebelumnya, nilai C_p yang diperoleh pada TSR tertentu digunakan untuk mengukur performa suatu turbin [9], [10], [13].



Gambar 5. Hubungan koefisien daya dengan TSR

Gambar 5. menunjukkan hubungan antara koefisien daya (C_p) dengan *tip speed ratio* (TSR). Grafik dari turbin angin Savonius pada Gambar 5 membentuk kurva parabola. Nilai koefisien daya cenderung meningkat dengan bertambahnya TSR, kemudian setelah mencapai C_p maksimum pada TSR optimum, nilai C_p cenderung menurun seiring dengan TSR yang semakin bertambah [13], [14]. Pengujian prototipe turbin Savonius dengan *extra layer* mampu menghasilkan C_p maksimal 0,082 pada TSR 0,36. C_p minimum yaitu 0,018 dihasilkan pada TSR 0,81.

Setelah melakukan pengujian dan pengolahan data prototipe turbin Savonius dengan *extra layer*, data tersebut akan dibandingkan dengan data hasil penelitian Kurniawan [7]. Penelitian terdahulu melakukan pengujian secara eksperimental skala laboratorium terhadap turbin Savonius. Pada penelitian tersebut menggunakan 4 *blower fan* sebagai sumber angin buatan yang disejajarkan dengan jarak 1 meter terhadap turbin. Kecepatan angin rata-rata yang digunakan adalah 6,46, 6,99 dan 7,27 m/s.



Gambar 6. Perbandingan C_p dengan TSR prototipe terhadap penelitian sebelumnya.

Gambar 6. menunjukkan perbandingan antara koefisien daya (C_p) dengan *tip speed ratio* (TSR) prototipe turbin Savonius yang dilakukan *real wind condition* terhadap penelitian sebelumnya. Kedua grafik dari turbin angin Savonius baik secara eksperimen maupun prototipe membentuk kurva parabola. Nilai koefisien daya (C_p) pada penelitian Kurniawan [7] lebih tinggi dibandingkan hasil pengujian prototipe pada penelitian ini. C_p maksimum yang mampu di peroleh pada penelitian Kurniawan [7] adalah 0,12 pada TSR 0,42 sedangkan C_p yang dihasilkan pada pengujian prototipe 0,082 pada TSR 0,36. Kedua penelitian ini memiliki kesamaan pada C_p maksimum yang dihasilkan yaitu pada TSR 0,3 – 0,5.

Pada penelitian ini cenderung memperoleh performa yang kurang baik dibandingkan dengan penelitian Kurniawan [7] dikarenakan kecepatan

input angin lebih kecil dan angin yang datang dari berbagai arah, sehingga angin tidak konstan menumbuk sudu untuk dapat memutar turbin. Penelitian kurniawan [7] menggunakan 4 *blower fan* yang dihadapkan sejajar dengan turbin sehingga sudu turbin fokus menerima kecepatan aliran angin yang konstan dan angin yang datang dari satu arah saja, tetapi bila dibandingkan dengan performa turbin Savonius konvensional, variasi penambahan *extra layer* terbukti mampu meningkatkan performasi dari turbin. Hal ini dikarenakan prototipe turbin angin Savonius dengan variasi penambahan *extra layer* pada bagian ujung sudu cekung dapat membantu mempercepat mengalirkan aliran fluida dari sudu cekung 1 ke sudu cekung lainnya akibatnya dapat meningkatkan torsi positif pada sudu cekung. Selain itu, penambahan objek penghambat aliran angin pada sudu cekung turbin Savonius akan berpengaruh pada naiknya nilai koefisien *drag*. Meningkatnya koefisien *drag* sangat berpengaruh terhadap performa turbin Savonius [7]. Kenaikan torsi positif dan gaya *drag* terbukti dapat meningkatkan performa dari prototipe turbin angin Savonius dibandingkan turbin angin Savonius konvensional.

4. Kesimpulan

Prototipe turbin angin Savonius dengan *extra layer* yang dilakukan pengujian kondisi angin nyata menghasilkan daya aktual maksimum 0,76 Watt pada kecepatan angin rata-rata 5,1 m/s. C_p maksimal yang mampu diperoleh adalah 0,082 pada TSR 0,36. Penambahan *extra layer* pada sudu cekung turbin dapat meningkatkan torsi positif dan gaya *drag* sehingga juga berpengaruh terhadap peningkatan performa dari turbin angin Savonius.

Referensi

- [1] Y. Kurniawan, D.M. Kurniawati dan D.D.D.P. Tjahjana, "Studi Eksperimental Pengaruh Aspek Rasio Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Crossflow", *SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*, Isbn: 978-602-51450-1-8, P63, 2018.
- [2] Y. Kurniawan dan D.D.D.P. Tjahjana, "Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Crossflow", *SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*, Isbn: 978-602-51450-1-8, P62.
- [3] S. Pakpahan, Peta Potensi SDA Indonesia : Orasi Ilmiah Pengukuhan Ahli Peneliti Utama Bidang Instrumentasi dan Pengolahan Data Jakarta, 10 Nopember 2003 Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional.
- [4] B.F. Endrawati, A. Yusphie, A.P. Putri, M. Saiful dan F. Robiandi, Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kondisi Cuaca Kota Balikpapan Menggunakan Global Navigation Satellite (GNSS) Wind Turbine. *SPECTA Journal of Technology*, Vol. 2, No. 2, July – August 2018.
- [5] S. Mathew, "Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis And Economics". *Springer, 2006*.
- [6] M.H. Mohamed, G. Janiga, E. Pap dan D. Thévenin, "Optimization Of Savonius Turbines Using An Obstacle Shielding The Returning Blade", *Renewable Energy Journal*, Vol. 35, No. 11, Pp. 2618–2626, 2010.
- [7] Y. Kurniawan, D.D.D.P. Tjahjana dan B. Santoso, "Experimental Study Of Savonius Wind Turbine Performance With Blade Layer Addition". *Journal Of Advanced In Fluid Mechanich And Thermal Science*, Vol.69, Vol.1, No. 1, Pp. 23–33, 2020.
- [8] P. Jain, *Wind Energy Engineering*. 2011.
- [9] S. Sharma dan R.K. Sharma, "Performance Improvement Of Savonius Rotor Using Multiple Quarter Blades – A Cfd Investigation". *Energy Conversion Management*, Vol. 127, Pp. 43–54, 2016.
- [10] S. Sharma dan R.K. Sharma, "Cfd Investigation To Quantify The Effect Of Layered Multiple Miniature Blades On The Performance Of Savonius Rotor". *Energy Conversion Management*, Vol. 144, Pp. 275–285, 2017.
- [11] Y. Kurniawan, D.D.D.P. Tjahjana dan B. Santoso, "Experimental Studies Of Performance Savonius Wind Turbine With Variation Layered Multiple Blade", *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science* 541 (2020) 012006.
- [12] A.A. Al-Maaitah, "The Design Of The Banki Wind Turbine And Its Testing In Real Wind Conditions". *Renewable Energy Journal*, Vol. 3, No. 6, 1993.
- [13] U.K. Saha, S. Thotla dan D. Maity, "Optimum Design Configuration Of Savonius Rotor Through Wind Tunnel Experiments". *Journal Wind Engineering And Industrial Aerodinamics*, Vol. 96, No. 8–9, Pp. 1359–1375, 2008.
- [14] S. Roy dan U.K. Saha, "Wind Tunnel Experiments of A Newly Developed Two-Bladed Savonius-Style Wind Turbine". *Applied Energy*, Vol. 137, Pp. 117–125, 2015.
- [15] M.A. Kamoji, S.B. Kedare dan S.V. Prabhu, "Performance Tests On Helical Savonius Rotors". *Renewable Energy Journal*, Vol. 34, No. 3, Pp. 521–529, 2009.