

## **Pengaruh Kecepatan Angin dan Sudut *Blade* terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Tipe *Savonius* Duabelas *Blade***

Elfridus Bruno Lake<sup>1)</sup>, Muhamad Jafri<sup>1)</sup>, Nurhayati<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana  
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang NTT, Indonesia  
email: lakeelfridus@gmail.com

### **ABSTRACT**

*This study aimed to determine the effect of wind speed and Blade angle Performance against Vertical Axis Wind Turbine Blade Savonius type. This study is a model made of type Savonius wind turbine blade in a laboratory scale. Dimensions turbin Savonius is a diameter of 0.1 meters and height of 0.1 meter, with a vertical rotor position (to facilitate the testing process), so it is assumed the direction of the air flow does not change and lead to the rotor which can be set when testing. The research method is an experiment, by variation of Blade angle  $-5^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$  and  $10^{\circ}$ . Variations in wind speed of 3.40 m/s, 4.35 m/s and 5.33 m/s. The testing procedure: Each model Savonius turbine rotor blade totaling 12 pieces assembled on Blade holder with angle  $-5^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$  and  $10^{\circ}$ . Each circuit is then mounted on the stand turbine located at one end of the tunnel and at the other end of the tunnel placed fan, turbine shaft is connected to a pulley as a hanging load. The fan is turned on. After a stable rotation, the wind speed is measured using the anemometer. The results of the research through variations of wind speed and angle of the blade on the performance of vertical axis wind turbine Savonius type, the variation of wind speed of 3.4 m/s, 4.35 m/s and 5.33 m/s showed best performance in blade angle of  $-5^{\circ}$ . Performance on the turbine blade angle variation of  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ , and  $10^{\circ}$  to the blade angle  $-5^{\circ}$  occur an average increase of 70.47% power coefficient. The highest maximum output power is 0.282391 Watts (power coefficient of 0.310827), with 274.8864 rotor rpm, and torque variation occurs in 0.00981 Nm  $-5^{\circ}$  blade angle and wind speed 5.33 m / s. Lowest maximum output power is 0.013548 Watts (power coefficient of 0.057451), with 0.000981 Nm torque on the rotor rotation occurs at 131.883 rpm and  $5^{\circ}$  and the blade angle variation of wind speed of 3.4 m/s by a margin of 84.4% of the highest maximum output power is obtained at an angle of  $-5^{\circ}$  blade.*

*Keywords: Vertical Wind Turbine, Blade Angle, Wind Speed, Power Coefficient.*

### **PENDAHULUAN**

Sepanjang sejarah manusia, kemajuan-kemajuan besar yang dialami dalam kebudayaan selalu diikuti oleh meningkatnya konsumsi energi. Peningkatan ini berhubungan langsung dengan tingkat kehidupan penduduk serta kemajuan industrialisasi. Sejak revolusi industri, penggunaan bahan bakar meningkat sangat cepat, oleh karena itu diperlukan sumber energi yang dapat memenuhi semua kebutuhan. Salah satu sumber energi yang banyak digunakan adalah energi fosil. Dapat kita ketahui energi ini tidak dapat diperbaharui dan jika energi fosil ini habis maka diperlukan sumber-sumber energi baru (Daryanto, 2007). Selain itu penggunaan energi fosil juga berdampak negatif terhadap lingkungan, baik

secara langsung maupun tidak langsung seperti pemanasan global yang berdampak pada kerusakan ekologi.

Pengembangan sumber energi harus dapat memproduksi energi dalam jumlah yang besar, dengan biaya yang rendah serta mempunyai dampak minimum terhadap lingkungan. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi angin. Energi ini merupakan energi yang bersih dan dalam proses produksinya tidak mencemari lingkungan (Nakajima & Ikeda, 2008). Energi angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh secara cuma-cuma yang jumlahnya melimpah dan tersedia terus-menerus sepanjang tahun. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki sekitar 17.500 pulau dengan

panjang garis pantai lebih dari 81.290 km. Indonesia memiliki potensi energi angin yang sangat besar yaitu sekitar 9,3 GW dan total kapasitas yang baru terpasang saat ini sekitar 0,5 MW (Daryanto, 2007). Perkembangan energi angin di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah. Salah satu penyebabnya adalah karena kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah, yaitu berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang tahun, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil.

Unjuk kerja dari suatu turbin angin dapat dilihat dari daya poros, torsi, dan efisiensi turbin yang dihasilkannya. Turbin angin ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mendapat daya keluaran yang maksimal. Salah satu parameter yang dapat mempengaruhi unjuk kerja adalah dengan variasi sudut blade. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan unjuk kerja turbin angin melalui koefisien daya dan efisiensi rotor dengan melakukan variasi sudut blade rotor turbin angin tipe Savonius. Berdasarkan latar belakang di atas maka peneliti tertarik untuk meneliti lebih lanjut tentang "Pengaruh Kecepatan Angin dan Sudut Blade Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius 12 Blade".

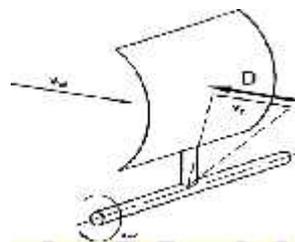
### ANALISA DAYA TURBIN ANGIN SAVONIUS

Daya dan putaran yang dihasilkan turbin Savonius relatif rendah, sehingga pada penerapannya digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air. Turbin ini tidak sesuai digunakan untuk pembangkit listrik dikarenakan *tip speed ratio* dan faktor daya yang relatif rendah. Savonius adalah sebuah turbin angin vertikal yang berputar lambat ( $\approx 1$ ) dan memiliki efisiensi yang rendah  $C_p \approx 1,5$  sampai 2 yang paling maksimal. Namun demikian, turbin ini memiliki beberapa keuntungan untuk aplikasi yang khusus seperti sederhana dan biaya yang rendah. Dan inilah yang menjadi ruang untuk

dikembangkan.

Menurut (Hau, 2006) jenis yang paling sederhana dalam mengkonversi energi dapat dicapai dengan cara penerapan hambatan atau *drag* murni pada suatu permukaan seperti pada gambar. Udara yang mengenai permukaan A dengan kecepatan  $V_w$ , maka daya yang dapat ditangkap P, dapat dihitung dari aerodinamis hambatan D, luas penampang A dan kecepatan v adalah :

$$P = D \cdot U_r \quad (2.4)$$



Gambar 2.6 Kondisi aliran dan Gaya Aerodinamis pada Turbin Jenis Drag

Sumber; (Hau, 2006)

Mesin *drag* ideal terdiri dari alat dengan permukaan penghalang digerakkan angin atau flaps bergerak paralel terhadap aliran angin merata dengan kecepatan. Perbedaan tekanan jarak lintas stasioner flap dijaga tegak lurus terhadap kecepatan angin. Untuk flap dengan luas sapuan bergerak dengan kecepatan, gaya *drag* penggerak maksimum adalah:

$$F_{\max} = \frac{.A. (V_o - V)^2}{2}$$

Koefisien hambat (*drag*) tak berdimensi  $C_D$  adalah digunakan untuk menggambarkan alat dilihat dari yang ideal, sehingga gaya hambat menjadi:

$$F_D = C_D \frac{.A.(V_o - V)^2}{2}$$

Daya yang ditangkap flap adalah :

$$P_D = F_D \cdot V = C_D \cdot A \cdot (V_o - V)^2 \left( \frac{V}{2} \right)$$

Daya maksimum pada nilai V saat  $V = V_o/3$ , sehingga

$$P_{D\max} = \frac{4}{27} \cdot C_D \frac{A V_o^3}{2}$$

Koefisien daya  $C_p$  didefinisikan dari

persamaan (2.13) didapat :

$$P_{Dmax} = \frac{C_p \cdot A \cdot V_o^3}{2}$$

Sehingga :

$$C_{p \max} = \frac{4}{27} C_D$$

Nilai  $C_D$  dari mendekati nol sampai titik maksimum, maksimum kira-kira 1,5 untuk bentuk cekung yang digunakan pada anemometer standard. Dengan demikian, koefisien daya maksimum untuk *drag machine* adalah:

$$C_{pmax} \approx \left(\frac{4}{7}\right)(1.5) = \left(\frac{6}{27}\right) = 22\%$$

Hal ini dibandingkan dengan kriteria *Betz* untuk turbin ideal dengan  $C_p = 16/27 = 59\%$ . Ditunjukkan bahwa turbin tipe *lift* memiliki koefisien daya 30% lebih besar dari perhitungan yang mungkin dicapai berdasarkan pendekatan kriteria *Betz*. Daya ekstraksi dari *drag machine* dapat ditingkatkan dengan penggabungan *flap* atau dengan memperbaiki konsentrasi aliran angin. Cara memperbaiki *drag machine* memiliki hal yang sama dengan rotor turbin *Savonius*.

Daya angin dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P_i = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad A = \pi R^2$$

Persamaan di atas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbin yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat diekstrak seluruhnya menjadi energi listrik. Namun kenyataannya tidak seperti itu. Jadi terdapat faktor efisiensi dari mekanik turbin angin dan efisiensi dari generator sendiri. Sehingga daya yang dapat diekstrak menjadi energi angin dapat diketahui dari persamaan (Himran Syukri, 2006)

Torsi diperoleh dengan menggunakan sistem pengeremam yaitu dengan menggantungkan beban pada puli yang berputar. Untuk persamaanya adalah sebagai berikut:

$$Q = F \times r \quad F = m \times g$$

Daya turbin merupakan output dari turbin angin.

$$P_o = Q \times \dot{\theta} \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

Koefisien daya ( $C_p$ ) adalah perbandingan antara daya yang dibangkitkan oleh turbin angin dengan daya angin.

$$C_p = \frac{P_o}{P_i}$$

Koefisien torsi:

$$C_q = \frac{Q}{\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot R}$$

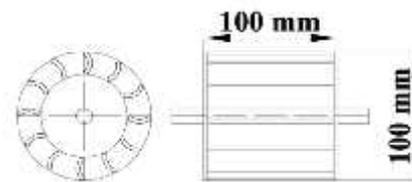
Ratio kecepatan ujung *Blade*

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{V}$$

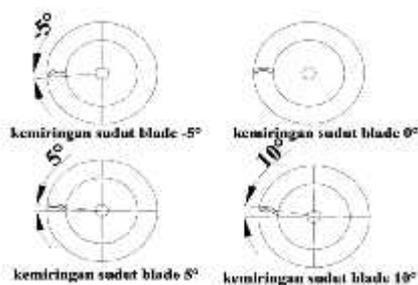
## METODE PENELITIAN

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah sudut *Blade* ( $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+5^\circ$  dan  $+10^\circ$ ) dan kecepatan angin kecepan angin (3,40 m/s, 4,35 m/s dan 5,33 m/s), sedangkan variabel terikat adalah torsi. Torsi terdiri atas torsi karena pembebanan dan torsi akibat dari beban rotor itu sendiri. Pembebanan awal yang digantungkan pada puli adalah 10 gr, selanjutnya beban dinaikan dengan penambahan beban 10 gr pada puli secara bertahap sambil mengukur putaran rotor sampai rotor berhenti berputar.

Analisis secara teoritis dilakukan terhadap beberapa variasi sudut *Blade* rotor turbin Sovenius pada kondisi kecepatan angin tertentu untuk mengetahui unjuk kerja turbin. Metode yang kedua adalah metode eksperimen dilakukan untuk melakukan pengujian terhadap rotor turbin angin *Savonius* dengan melakukan variasi sudut *Blade* pada kondisi kecepatan angin tertentu untuk mengetahui unjuk kerja turbin dalam skala laboratorium.



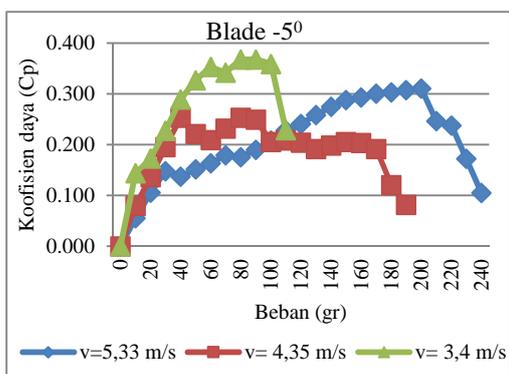
Gambar 1. Dimensi blade



Gambar 2. Bentuk variasi sudut blade

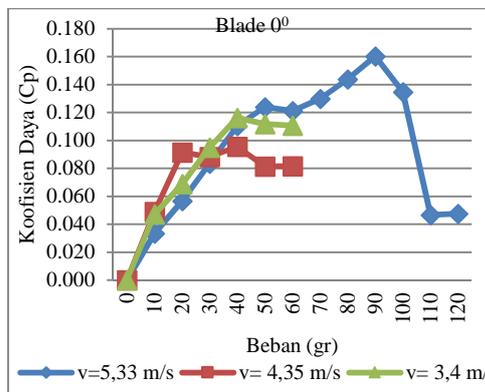
**PEMBAHASAAN**

Koefisien Daya ( $C_p$ ) adalah perbandingan antara daya Turbin dan daya Angin. Dari grafik di atas terlihat bahwa, kecepatan angin 3,4 m/s menghasilkan koefisien daya terbesar pada beban 90 gram, hal ini dikarenakan pada beban 90 gram menghasilkan daya turbin yang lebih besar dibandingkan pada beban-beban yang lain dan pada kecepatan angin 4,35 m/s koefisien daya terbesar pada beban 40 gram dibanding pada beban-beban yang lain, sedangkan untuk kecepatan angin 5,33 m/s koefisien daya terbesar terjadi pada beban 200 gram. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar daya turbin maka semakin besar pula koefisien daya ( $C_p$ ) yang dihasilkan pada kecepatan angin yang sama.



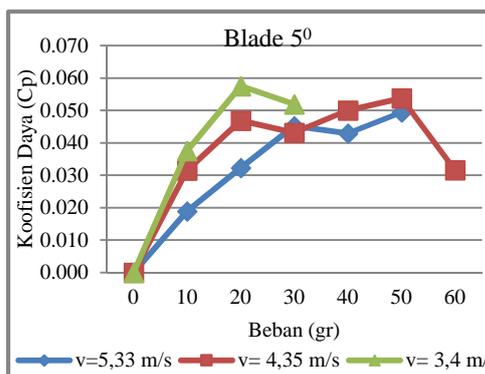
Gambar 3. Hubungan koefisien daya terhadap pembebanan pada sudut blade  $-5^\circ$

Jika dilihat dari unjuk kerja yaitu koefisien daya maka yang memberikan koefisien daya tertinggi untuk blade  $-5^\circ$  adalah pada kecepatan angin 3,4 m/s dengan pembebanan 80 gram dan 90 gram.



Gambar 4. Hubungan koefisien daya terhadap pembebanan pada sudut blade  $0^\circ$

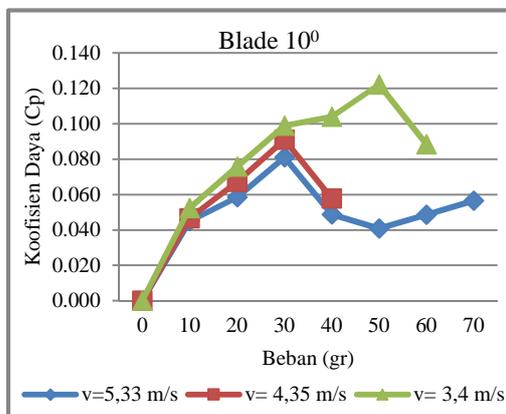
Dari grafik Gambar 4 terlihat bahwa, kecepatan angin 3,4 m/s menghasilkan koefisien daya terbesar pada beban 40 gram, hal ini dikarenakan pada beban 40 gram menghasilkan daya turbin yang lebih besar dibandingkan pada beban-beban yang lain dan pada kecepatan angin 4,35 m/s koefisien daya terbesar pada beban 40 gram dibanding pada beban-beban yang lain, sedangkan untuk kecepatan angin 5,33 m/s koefisien daya terbesar terjadi pada beban 90 gram. Jika dilihat dari unjuk kerja yaitu koefisien daya maka yang memberikan koefisien daya tertinggi untuk blade  $0^\circ$  adalah pada kecepatan angin 5,33 m/s dengan pembebanan 90 gram.



Gambar 5. Hubungan koefisien daya terhadap pembebanan pada sudut blade  $5^\circ$

Dari grafik Gambar 5 terlihat bahwa, kecepatan angin 3,4 m/s menghasilkan koefisien daya terbesar pada beban 20 gram, hal ini dikarenakan pada beban 20 gram

menghasilkan daya turbin yang lebih besar dibandingkan pada beban-beban yang lain dan pada kecepatan angin 4,35 m/s koefisien daya terbesar pada beban 50 gram dibanding pada beban-beban yang lain, sedangkan untuk kecepatan angin 5,33 m/s koefisien daya terbesar terjadi pada beban 50 gram. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar daya turbin maka semakin besar pula koefisien daya ( $C_p$ ) yang dihasilkan pada kecepatan angin yang sama. Jika dilihat dari unjuk kerja turbin yaitu koefisien daya maka yang memberikan koefisien daya tertinggi untuk blade  $5^0$  adalah pada kecepatan angin 3,4 m/s dengan pembebanan 20 gram.



Gambar 6. Hubungan koefisien daya terhadap pembebanan pada sudut blade  $-5^0$

Dari grafik Gambar 6 terlihat bahwa, kecepatan angin 3,4 m/s menghasilkan koefisien daya terbesar pada beban 50 gram, hal ini dikarenakan pada beban 50 gram menghasilkan daya turbin yang lebih besar dibandingkan pada beban-beban yang lain dan pada kecepatan angin 4,35 m/s koefisien daya terbesar pada beban 30 gram dibanding pada beban-beban yang lain, sedangkan untuk kecepatan angin 5,33 m/s koefisien daya terbesar terjadi pada beban 30 gram. Jika dilihat dari unjuk kerja yaitu koefisien daya maka yang memberikan koefisien daya tertinggi untuk blade  $10^0$  adalah pada kecepatan angin 3,4 m/s dengan pembebanan 50 gram.

Dari grafik pengaruh variasi pembebanan terhadap koefisien daya ( $C_p$ ) pada sudut blade  $-5^0$ ,  $0^0$ ,  $5^0$  dan  $10^0$  di atas terlihat bahwa pada

kecepatan angin 3,4 m/s nilai koefisien daya ( $C_p$ ) yang dihasilkan cenderung lebih tinggi dibanding kecepatan angin 4,35 m/s dan 5,33 m/s. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya kecepatan angin akan menyebabkan semakin besar momentum angin yang menumbuk turbin setiap detiknya, maka perbedaan tekanan antara bagian depan sudu dan bagian belakang sudu meningkat. Namun ketika mencapai koefisien daya maksimal untuk setiap kecepatan angin dan setiap blade koefisien daya ( $C_p$ ) cenderung mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan peningkatan pembebanan pada turbin tidak sebanding dengan daya angin karena energi kinetik yang dimiliki angin tidak seluruhnya dikonversi menjadi gaya mekanik (dengan adanya komponen gaya seret yang mengurangi komponen gaya angkat).

Dari grafik juga terlihat bahwa untuk semua variasi kecepatan angin, tidak semuanya mengalami pembebanan yang sama karena pada kecepatan angin tertentu dan pembebanan tertentu kincir angin tidak bergerak (berputar), hal ini diakibatkan oleh gaya *drag* yang diterima oleh blade jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan gaya berat akibat pembebanan.

## KESIMPULAN

- Turbin yang diuji pada skala laboratorium dengan spesifikasi diameter rotor 0,1 m dan tinggi 0,1 m dan jumlah blade 12, menunjukkan rotor turbin tidak saja memanfaatkan gaya hambat, tapi juga gaya angkat turut berpengaruh dalam meningkatkan resultan gaya, torsi, daya output, serta koefisien daya.
- Hasil penelitian pengaruh kecepatan angin dan pembebanan terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertikal tipe *Savonius* 12 blade untuk sudut blade  $-5^0$ ,  $0^0$ ,  $5^0$  dan  $10^0$  menunjukkan bahwa unjuk kerja, koefisien daya terbaiknya terjadi pada sudut blade  $-5^0$  dengan kecepatan angin 3,4 m/s.
- Tiap pembebanan yang digantungkan pada poros akan mengurangi kecepatan kincir, hal ini dikarenakan adanya pengereman yang disebabkan gesekan antara tali yang digantung beban dengan puli yang berputar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daryanto, Y, 2007. Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. BALAI PPTAGG-UPT-LAGG. Yogyakarta.
- [2] Hau, E. 2006. Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Applications, Economics And Edition Berlin Springer
- [3] Hendra A. 2012. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius. Universitas Brawijaya.
- [4] Hermawan, 2011. Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Unjuk Kerja Model Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius, Seminar Nasional Teknik Mesin X 2-3 November 2011, ISBN 978-602-19028-0-6, hal 554-559.
- [5] Himran, Syukri, 2005. Energi Angin, CV Bintang Lamumpatue, Makassar.
- [6] <http://magnafandy.wordpress.com/2008/06/03/Savonius-turbin>.
- [7] <http://miskardi.wordpress.com/2010/08/28/menghitung-energi-dari-kincir-angin>.
- [8] <http://renewable.Energy indonesia.wordpress.com/2008/03/05>.
- [9] Ikhwanul ikhsan & M. Akbar hipi.2011, Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeller Pada Wind Tunnel Sederhana.Universitas hasanuddin Makassar
- [10] LAPAN. Potensi Energi Angin Indonesia. Available at URL: <http://www.Energy.lip.go.id>.
- [11] Nakajima & Ikeda, 2008 Performance Of Double – Step Savonius Rotor For Environmentally Friendly Hidroulic Turbine.Journal Of Fluid Science And Teknologi. Volume 3 no 3. pp 410-419.
- [12] Nursuhud, Dejati dan Astu Pudjarnasa. 2008. Mesin Konversi Energi. Yokyakarta: Penerbit Andi.
- [13] Sargolzaei, J. 2007. Prediction of The Power fs3fsweRatio in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks. Zahedan: Baluchestan University.
- [14] Streeter, Viktor L. dan E. Benjamin wylie.1996.Mekanika Fluida. Alih Bahasa, Arko Prijono M.S.E. Edisi kedelapan, Jilid I. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [15] Sulistyotmadi (2008) pengembangan parameter awal rotor turbin angin sumbu vertikal tipe savonius
- [16] Wakui, T., Tanzawa, Y, Hashizume, T, dan Nagao, T, 2004. Hybrit Configuration of Savonius-Darrieus Rotors for Stand-Alone Wind Turbine-Generator Systems. Waseda University. Japan