

## Recognition of Hemi-Savonius Windmill as Energi Conversion System Model on Windmill Techno Park at Coastal Area

Hasanuddin<sup>1,\*</sup>, Hendri Nurdin<sup>1</sup>, Waskito<sup>1</sup> dan Refdinal<sup>1</sup>

Prodi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang - Padang

\*Korespondensi: sanquansing55@gmail.com

**Abstract.** Nowadays, there are many development of energy conversion system for wind, either as novel development or modification from previous model, for horizontal and vertical construction type. The hemi-savonius windmill model is modified from vertical construction type, which is developed for windmill techno park facilities in developing educational tour. The construction of energy conversion system in this windmill model is designed having six pieces of blades arranged in stages, or called as Hemi Savonius Windmill with Stage Blades. The test results on a laboratory scale show that the windmill works quite well with stable vibration. To obtain further operational performance information in the field, the mill is introduced as one of the variations of wind energy conversion system in windmill technology park. Installing with other windmill models, the motion rhythm of Hemi Savonius windmill has a relatively good performance and stable at the level of 70% efficiency. Besides, the structure of Hemi Savonius windmill could attract tourist visit, when it is packaged as a learning media featuring with characteristic information of energy conversion system through the tourist guide book.

**Abstrak.** Dewasa ini telah banyak dilakukan pengembangan sistem konversi energi untuk angin, baik berupa pengembangan baru maupun modifikasi dari model sebelumnya, untuk tipe konstruksi secara horisontal dan vertikal. Model kincir angin Hemi Savonius adalah hasil rekayasa tipe konstruksi vertikal, dikembangkan untuk sarana taman tekno kincir angin dalam konteks pengembangan wisata pendidikan. Konstruksi sistem konversi energi pada model kincir angin ini dirancang memiliki enam buah sudu yang disusun secara bertingkat atau disebut sebagai model Kincir Angin Hemi-Savonius Sudu Bertingkat. Hasil uji laboratorium menunjukkan kincir angin ini bekerja cukup baik dengan getaran yang stabil. Untuk memperoleh informasi lebih jauh tentang kinerja operasionalnya di lapangan, kincir ini diperkenalkan sebagai salah satu variasi jenis sistem konversi energi angin pada taman tekno kincir angin. Disusun dengan sejumlah model kincir angin lainnya, irama gerak putar kincir angin Hemi Savonius mempunyai kinerja yang relatif baik dan stabil pada tingkatan efisiensi sekitar 70%. Disamping itu, struktur kincir angin Hemi Savonius dapat memberikan daya tarik kunjungan wisata, yang mana dapat dikemas sebagai media pembelajaran dengan informasi karakteristik sistem konversi energi melalui buku panduan kunjungan wisata.

**Kata kunci:** hemi savonius windmill, taman kincir angin, model konversi energi, kawasan pantai

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Dari aspek fungsionalnya sebagai sistem konversi energi, kincir/turbin angin merupakan mesin atau peralatan yang digunakan untuk mentransformasikan energi kinetik/gerak angin menjadi tenaga mekanik atau listrik melalui gerak putar rotor & poros transmisi. Putaran rotor dan poros tersebut direncanakan untuk menghasilkan energi putaran (*revolutionary/torsion energy*) yang memerlukan bentuk dan ukuran serta susunan/pemasangan sudu-sudu (*blades*) tertentu agar mendapatkan nilai/besaran tenaga konversi yang lebih efektif dan efisien.

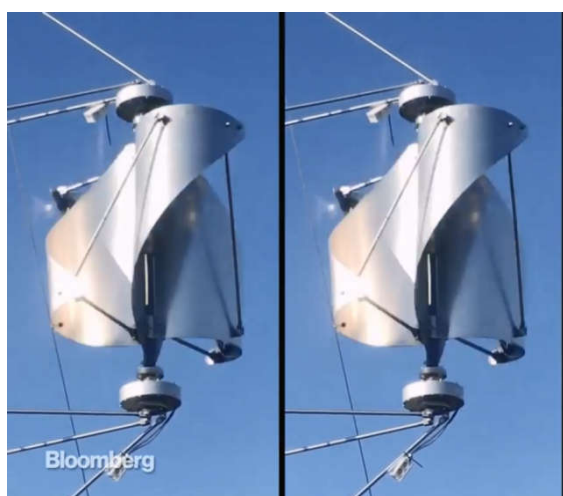
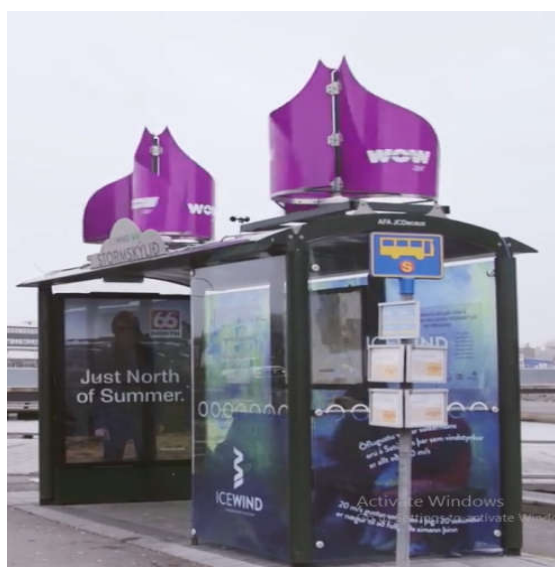
Berdasarkan bentuk susunan dan pemasangan poros sistem pengkonversian energinya, dewasa ini telah banyak dikembangkan model-model kincir/turbin angin dengan aneka ragam rotor/sudu-sudu

penggerak. Secara umum jenisnya dapat diklasifikasikan sebagai kincir angin dengan konstruksi secara vertikal dan horizontal [1]. Sementara dari segi aspek gaya aerodinamik pada rotor/sudu-sudunya, kincir angin tersebut dibedakan atas 2 (dua) prinsip, yaitu kincir angin mengekstraksi energi kinetik angin hanya memanfaatkan gaya drag aliran angin atau dengan prinsip memanfaatkan gaya lift yang dihasilkan oleh aliran angin melalui profil/bentuk aerodinamik sudu-sudunya [2].

Dari perkembangan rancangan profil sudu-sudunya, juga telah dihasilkan berbagai konstruksi kincir/turbin angin, baik untuk poros horisontal maupun vertikal. Khusus untuk poros vertikal, sejak awal sejarah perkembangannya telah diciptakan suatu kincir angin yang diperkenalkan oleh penemunya Sigurd J. Savonius pada tahun 1922.

Rancangan profil sudunya berbentuk setengah selindriakal (*ellips*) yang dirangkai sedemikian rupa sehingga konstruksinya menyerupai bentuk huruf “S” [3].

Perkembangan mutakhir dari model kincir angin Savonius tersebut dirancang dan diperkenalkan oleh Asgerirsson, S dengan profil sudu-sudu lengkungan yang diberi estetika berbentuk ruji-ruji pada bahagian bibir/sisi-sisi kurvanya seperti pada Gambar 1 [4].



**Gambar 1.** Model mutakhir pemodifikasian kincir angin savonius

Adapun model kincir angin Hemi-Savonius ini profil sudunya dirancang dan diadopsi agak menyerupai konstruksi kincir angin tersebut, dengan susunan sudu-sudunya secara bertingkat dan saling berkebalikan. Dasar pemikirannya adalah membelah dua bentuk profil sudu model kincir angin Savonius. Dalam hal ini yang perlu disikapi secara teknis adalah bagaimanapun juga jenis/profil konstruksi dan rancangan profil serta susunan sudu-sudu yang dikembangkan, hampir dipastikan bahwa setiap model kincir angin akan mempunyai karak-

teristik tertentu dengan masing-masing mempunyai keunggulan dan kelemahan tersendiri.

Permasalahannya yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah bagaimana tampilan profil dan karakteristik kinerja kincir angin hemi-Savonius hasil pemodifikasian tersebut dalam mengkonversikan energi kinetik gerak angin menjadi tenaga poros. Di samping itu, bagaimana membangun dan mengembangkan model kincir angin hemi-Savonius tersebut dalam kaitannya dengan pembangunan pariwisata, khususnya wisata pendidikan (*edutourism*) melalui pengenalan taman tekno kincir angin (*Windmill Techn Park/WTP*) pada kawasan pantai.

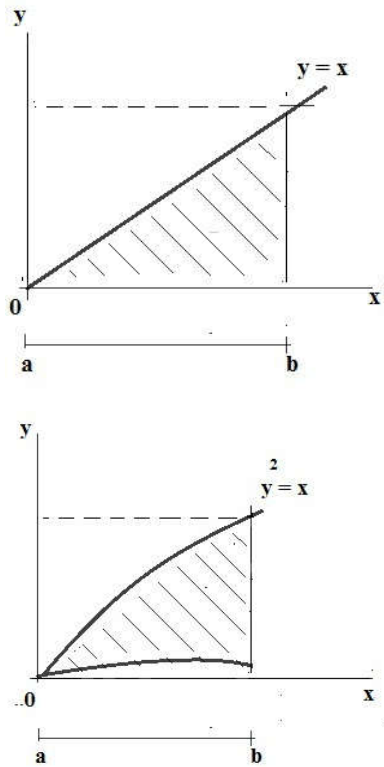
Tulisan ini mendeskripsikan sebageian informasi penelitian & pengembangan terkait wisata terpadu pendidikan (WTP) tersebut, dengan tujuan memperkenalkan salah satu di antara model-model sistem pengkonversian energi angin pada Taman Tekno Kincir Angin dari aspek konstruksi dan karakteristiknya guna melengkapi bahan informasi dan pengembangan bahan/modul pembelajaran bagi pengunjung wisata terutama para siswa/ mahasiswa.

## Metode Penelitian

Dalam mendapatkan gambaran tentang profil dan karakteristik kincir angin hemi-savonius ini maka dikembangkan suatu model hasil rancangan atau pemodifikasian bentuk konstruksi fisik sudu-sudu. Metode pengujian untuk mendapatkan informasi kinerjanya, dilakukan di dalam laboratorium konversi energi Jurusan Teknik Mesin dan studi lapangan pada Taman Tekno Kincir Angin (*Windmill Techno Park*) pada kawasan pantai di desa wisata Batang Anai Kabupaten Padang Pariaman. Menggunakan peralatan & perlengkapan pengukuran yang telah dispesifikasi untuk kebutuhan penelitian, seperti alat ukur kecepatan angin (*animometers*), gaya/torsi (*spring balance/torsio-meters*), meteran, stopwatch, multimeter, serta perlengkapan uji *wind tunnel*.

## 1. Prinsip Dasar Geometrikal Fisis Konstruksi Sudu

Seperti dikemukakan di atas bahwa profil dasar konstruksi sudu-sudu kincir angin savonius dikembangkan dengan susunan seperti menyerupai kurva berbentuk huruf “S” yang diperoleh melalui susunan dua lengkungan kepingan/plat dengan kurva berbentuk (menyerupai) kurva parabola. Sedangkan untuk kincir *hemi savonius* ini, gambar lengkungan plat (kurva) tersebut dipotong menjadi dua bagian sehingga menyerupai sebuah kurva berbentuk  $\frac{1}{2}$  parabola (fungsi pangkat) seperti dilukiskan pada gambar 2.



Gambar 2. Profil kurva pembentuk bidang terpaan

Bidang-bidang lengkungan sudu-sudu tersebut merupakan penampang bidang yang akan diterpa angin dimana selanjutnya mempengaruhi gaya dorong atau tenaga pada poros rotor kincir angin. Jika, diasumsikan sisi miringnya membentuk persamaan garis lurus maka setelah pembentukan lengkungan sudu-sudunya garis puncak bidang terpaan sudu-sudu untuk kincir angin *hemi-savonius* tersebut akan berbentuk persamaan garis lengkungan/kurva, seperti prakiraan lukisan geometri pada Gambar 2. Untuk luas bidang terpaan dapat juga didekati dengan persamaan-persamaan [5, 6]:

$$A = \int_a^b y \, dx \text{ --- dengan pers., } y = x$$

(garis liner)

$$= \int_a^b x \, dx \text{ --- } \frac{1}{2} x^2,$$

untuk ukuran batas (b - a)

(sebelum lengkungan, profil bidang datar segitiga)

(1)

$$A = \int_a^b y \, dx \text{ --- dengan pers., } y^2 = x$$

(fungsi pangkat)

$$= \int_a^b x^n \, dx \text{ --- } \frac{1}{n+1} x^{n+1},$$

untuk ukuran batas (b - a)  
(sesudah dilengkungkan/kurva)

$$(2)$$

Secara teoritis profil dan ukuran luas bidang terpaan ini mempengaruhi gaya dorong dihasilkan dimana sekaligus mencerminkan kemampuan untuk tenaga mengkonversikan energi kinetik angin [7] yaitu:

$$F_{\text{teori}} = \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad \text{N} \quad (3)$$

atau,

$$P_{\text{teori}} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad \text{Watt} \quad (4)$$

Jika dikaitkan dengan dimensi fisik kincir, maka secara umum besar tenaga yang dihasilkan oleh sebuah kincir angin dengan ukuran diameter & kecepatan angin tertentu adalah [2]:

$$P = 0,15 D^2 V^3 \quad \text{Watt} \quad (5)$$

## 2. Aspek Kinerja Kincir Angin

Secara teoritis model dasar sebuah kincir angin Savonius dianalisis menggunakan model-model persamaan terapan sebagai berikut.

### a. Gaya Dorong Sudu

Gaya dorong kecepatan angin menumbuk bidang terpaan (sapuan) sudu-sudu kincir angin dikembangkan dari prinsip gaya tumbukan (peristiwa momentum). Untuk teori dasar model kincir angin Savonius pada kenyataannya hanya bekerja gaya drag pada titik pertengahan mangkok-mangkok sudunya [8], yang dihitung melalui persamaan, yaitu:

$$F_s = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho A V^2 \quad (6)$$

dimana  $\rho$  adalah massa jenis angin, A merupakan luas penampang (cross section), V kecepatan angin, dan  $C_d = \text{coefficient of drag}$  (hanyut) pada permukaan sudu. Untuk permukaan berbentuk concave semicircle, drag coefficient = 2,3, sedangkan convex semicircle, drag coefficient = 1,2. Nilai koefisien ini, untuk sementara juga digunakan pada pengujian kincir angin hemi-savonius.

Adapun untuk model kincir Hemi-Savonius ini, gaya dorong tersebut dihitung berdasarkan rumus dengan persamaan modifikasi sebagai berikut:

$$F_{\text{HS}} = \frac{1}{2} [ \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 ]$$

$$= \frac{1}{4} [ C_d \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 ] \quad (7)$$

dimana, secara teoritis pada pengujian model tenaga dapat dihitung berdasarkan rumus luas bi-dang A pada persamaan (3,4) sehingga dapat diprediksi berapa besar tenaga yang dapat dikonversikan

secara teoritis melalui terpaan kecepatan angin. Dalam rancangan ini sudu-sudu rotor dibuat bertingkat (j) sehingga rumus gaya dorong tersebut untuk kincir angin hemi-savonius bertingkat dengan tingkat kecepatan (tip ratio,  $\lambda$ ) adalah,

$$F_{HS} = \frac{1}{4} [C_d \cdot \rho \cdot A \cdot V^2] \cdot j \quad (8)$$

### b. Torsi dan Tenaga Poros yang Dihasilkan

Untuk sebuah bentuk dasar kincir Savonius torsi yang bekerja pada poros adalah,

$$T_s = F_s \cdot R$$

dimana R = jari kelengkungan sudu-sudu/blades. Sedangkan besar tenaga teoritis yang bekerja dapat dihitung berdasarkan rumus,

$$P_s = T_s \cdot \omega = F_s \cdot R \cdot \omega$$

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot R \cdot \omega \quad \text{Watt} \quad (9)$$

Adapun secara aktual besar tenaga yang bekerja pada poros kincir savonius yaitu:

$$P_{akt,S} = F_{ukur} R \omega \quad \text{Watt} \quad (10)$$

Dengan melakukan pemodifikasian, maka untuk kincir angin **hemi Savonius** ini besar torsi yang bekerja adalah,

$$T_{HS} = F_{HS} \cdot R \cdot \omega \quad (11)$$

sehingga didapatkan tenaga teoritis yang bekerja pada poros outputnya sebesar,

$$P_{HS} = \frac{1}{4} [C_d \rho A V^3] R \omega j \quad (12)$$

Untuk tenaga aktual pada kemampuan mengkonversikan kedalam tenaga listrik untuk tiap perubahan kecepatan angin yaitu,

$$P_{HS,akt} = V \cdot I \quad (13)$$

### c. Efisiensi Kincir Angin

Untuk efisiensi kincir angin secara teoritis adalah berupa perbandingan antara tenaga yang dapat dibangkitkan (efektif) terhadap tenaga teoritis (input) dari aspek besaran kecepatan pusaran angin yang menerpa sudu-sudu kincir angin

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

atau,

$$\eta = \frac{P_{akt}}{P_{teori}} \times 100\%$$

## Hasil dan Diskusi

### 1. Hasil Rancangan dan Analisis Data

Secara teoritis untuk menguji kinerja kincir angin hemi savonius ini dikembangkan dari for-

mulasi Kincir Angin Savonius dan dilakukan pemodifikasian & tinjauan secara konsep matematika teknik yang bersesuaian. Variabel rancangan di dasarkan pada hasil pengukuran kecepatan angin di lapangan (kawasan pantai, kecamatan Batang Anai).

### a. Tampilan Fisis Hasil Rancangan

Secara fisis hasil rancangan model kincir angin hemi-savonius adalah melakukan pemodifikasian sudu-sudunya, yang dibuat membelah dua (hemi) dari bentuk dasar sudu kincir angin savonius dengan ukuran yang telah direncanakan. Hasil rancangan profil sudu-sudunya kemudian dikonstruksikan menjadi sebuah rotor dengan menyusun masing-masing kepingan sudu/blade secara bertingkat & puncaknya saling berkebalikan seperti tampak pada Gambar 3.

### b. Data Hasil Pengukuran dan Analisis

Berdasarkan model yang dikembangkan untuk skala uji laboratorium, dengan ukuran jari-jari sudu (R<sub>b</sub>), tinggi sudu (h<sub>b</sub>) dan jerari pulley (r<sub>p</sub>) diperoleh hasil pengukuran seperti pada Tabel 1.

Untuk mendapatkan informasi lebih konkrit tentang kinerja kincir angin Hemi Savonius ini, maka diberikan beberapa informasi dan data kinerja uji lapangan. Pada kincir angin dipasang sebuah generator skala kecil, sehingga dapat dibaca & diukur tegangan listrik yang dihasilkan (Tabel 2).

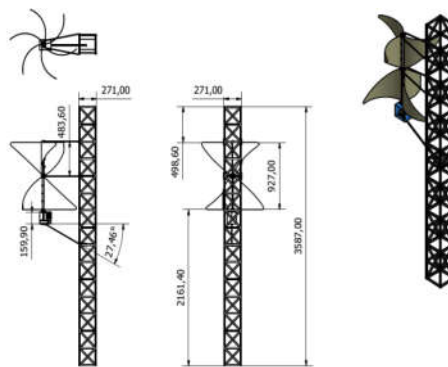
### 2. Diskusi dan Interpretasi

Berdasarkan data hasil pengukuran tersebut dapat dilakukan analisis/diskusi terhadap efisiensi kincir angin Hemi Savonius ini pada putaran poros yang dihasilkan. Bilamana dikontrol dengan persamaan (4) dan persamaan (12) maka untuk skala model dengan kecepatan angin rata-rata 3,1 m/det, pada rata-rata putaran 37,0 rpm efisiensi sekitar  $\eta = 68,0\%$ . Sedangkan dari hasil uji kinerja di lapangan kincir angin hasil rekayasa (rancangan) ini menunjukkan efisiensi kurang lebih  $\eta = 69,0\%$  pada kecepatan angin rata-rata 2,8 m/det dengan putaran poros rata-rata 34,6 rpm.

Hasil analisis data dan observasi gerak putaran rotor memperlihatkan bahwa kincir angin Hemi-Savonius ini cukup baik dikembangkan sebagai suatu sistem peralatan konversi energi. Konstruksi rotor cukup sederhana dan memberikan suatu daya tarik tersendiri serta relatif stabil menerima beban guncangan akibat tiupan angin dan suara tidak terlalu ribut.



(a) Model uji laboratorium



(b) Gambar hasil rancangan



(c) Hasil rekayasa rancangan

**Gambar 3.** Model dan konstruksi kincir angin Hemi-Savonius.

**Tabel 1.** Pengukuran kinerja kincir angin Hemi-Savonius skala model

No	Kecepatan Angin Hembusan (m/det)	Putaran Rotor (rpm)	Gaya Dorong (N)	Tenaga poros/teori/teori (Watt)
1	1,6	10,0	0,20	<b>0,023</b> /0,0264/0,0297
2	2,5	27,1	0,30	<b>0,094</b> /0,1101/0,1134
3	3,2	35,2	0,48	<b>0,194</b> /0,2114/0,2378
4	4,0	42,7*	0,55	<b>0,353</b> /0,4128/0,4646
5	4,7	50,0*	0,65	<b>0,463</b> /0,6696/0,7537

Catatan:  $R_b = 11,0 \text{ cm}$  ;  $h_b = 9,0 \text{ cm}$  ;  $r_p = 1,0 \text{ cm}$

**Tabel 2.** Data hasil uji kinerja kincir angin Hemi-Savonius di lapangan

No	Kecepatan Angin Pantai (m/det)	Putaran Kincir (rpm)	Kuat Arus (I)	Tegangan (Volt)	Tenaga (Watt)
1	1,5	23,0	0,04	5,0	<b>0,20</b> / 0,54/0,28
2	2,0	30,0	0,06	8,0	<b>0,48</b> / 1,28/0,68
3	3,0	35,0	0,13	15,0	<b>1,95</b> / 4,32/2,64
4	3,5	40,0	0,20	16,0	<b>3,20</b> / 6,86/4,86
5	4,0	45,0	0,30	17,0	<b>5,31</b> /10,24/8,15

Catatan:  $R_b = 55,0 \text{ cm}$  ;  $h_b = 45,0 \text{ cm}$ ,  $C_d = 1,23$

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji kinerja dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa sebagai berikut,

1. Teknologi sistem konversi tenaga angin dengan model dasar tipe kincir angin Savonius

dapat dikembangkan dan dimodifikasi dengan berbagai aneka ragam bentuk fisis konstruksi sudu-sudu. Salah satu di antaranya model yang ditampilkan dengan sebutan nama sebagai Kincir Angin Hemi Savonius sudu bertingkat.

2. Hasil uji dalam skala laboratorium menunjukkan kincir angin Hemi Savonius dapat bekerja

dengan kinerja cukup baik dengan tenaga yang dibangkitkan pada kecepatan angin rata-rata 3,1 m/det sebesar 0,18 Watt, dengan ukuran fisis konstruksi skala model berdiameter 0,11 m

3. Penerapan model di lapangan dengan membuat ukuran fisis konstruksi lebih besar (sekitar perbandingan 1:5) menunjukkan kinerja hampir sama (relatif baik), dan prospektif untuk dikembangkan/produksi massal sebagai salah satu peralatan sistem konversi energi angin di masa depan.
4. Penampilan secara fisis di lapangan sebagai sarana kelengkapan taman tekno kincir angin memberikan daya tarik wisata, khususnya wisata terpadu pendidikan. Melalui bentuk/profil konstruksi dan kinerja operasionalnya memberikan nuansa pembelajaran terhadap para siswa/mahasiswa serta pengunjung taman secara umum.
5. Melalui penyebaran informasi tentang kincir angin hemi savonius, sebagai salah satu model kincir angin dalam taman tekno, ke depannya diharapkan akan membuka cakrawala pemikiran siswa/mahasiswa untuk mengembangkan model rancangan sistem konversi energi angin yang lebih efektif & efisien.
6. Untuk peningkatan efisiensi perlu pemilihan bantalan (*bearing*) yang lebih baik dan membuat konstruksi rotor agak lebih tinggi/lonjong.

## Referensi

- [1]. Domkunwar, S and Arora, 1986. Power Plant Engineering, Dhanpat Rai & Sons, Delhi,
- [2]. Gourierer, 1983. Wind Power Plant, Theory and Design, Pergamon Press Ltd, Hedington Hill Hall Oxford 08 W , England.
- [3]. <http://id.scribd.com/doc,2017>
- [4]. Asgeirsson, S, Savonius Turbin and Iceland Turbin, [http:// www.bloomberg. com](http://www.bloomberg.com), diakses Juli 2017
- [5]. Spiegel, M., 1992. Matematika Lanjutan, Schaum series (terjemahan Koko Martono), Penerbit Erlangga. Jakarta.
- [6]. Davies and Hicks, 1985. Mathematics for Scientific and Technical Students, Longman Book, England.
- [7]. Bacon, 1985. Mechanical of Technology, Butterwoth, London.
- [8]. Ford, G., Hewey, V. and Lima, N., 2013. An Analysis of Small-Scale Wind Pump Design for Use in Developing Countries, thesis of bachelor of science, Faculty of Worcester Polytechnic.