

## **PEMANFAATAN METODE ANALISA DIMENSIONAL UNTUK MENENTUKAN MODEL TERBAIK KINCIR ANGIN SAVONIUS DENGAN VARIASI JUMLAH SUDU**

**Rudi Hariyanto\***

### **Abstraksi**

Metode Analisa Dimensional yang digunakan dalam perhitungan dan analisa pada penulisan jurnal ini merupakan upaya untuk melengkapi hasil tulisan ilmiah sebelumnya yang telah dimuat di Jurnal DIAGONAL periode Oktober 2004, milik Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang, dengan judul: “Kaji Eksperimental Model Kincir Angin Jenis Savonius dengan Variasi Jumlah Sudu untuk Mendapatkan Daya dan Efisiensi Optimum”. Dengan demikian segala data yang diperlukan berkaitan dengan metode analisa dimensional tetap menggunakan data penelitian jurnal sebelumnya. Salah satu manfaat metode analisa dimensional adalah membantu mengarahkan pemikiran dan perencanaan kita, baik mengenai percobaan, maupun secara teoritis. Analisa dimensional juga bisa digunakan menemukan karakteristik terbaik dari model pengujian yang bervariasi seperti dalam penelitian model kincir angin Savonius dengan variasi jumlah sudu ini. Hasil pengolahan data dengan analisa dimensional pada penelitian ini menunjukkan bahwa model kincir angin Savonius yang memiliki persamaan karakteristik terbaik adalah yang berdiameter 0,11 m dan tinggi 0,2 m dengan jumlah sudu 2. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian model sesungguhnya di terowongan angin.

*Kata Kunci : Analisa Dimensional, Model Kincir Angin Savonius, Variasi Sudu*

### **PENDAHULUAN**

Analisa dimensional ialah suatu metode untuk mengurangi jumlah kerumitan variabel eksperimental yang mempengaruhi gejala fisika, dengan menggunakan semacam teknik peringkasan. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi variabel dan mengelompokkan dalam bentuk tak-berdimensi. Adapun salah satu manfaat dari analisa dimensional adalah membantu mengarahkan pemikiran dan perencanaan kita, baik mengenai percobaan, maupun secara teoritis.

Oleh karenanya peneliti merasa perlu untuk menyempurnakan hasil penulisan jurnal yang sebelumnya dengan mengambil judul: “**Pemanfaatan Analisa Dimensional Untuk Menentukan Model Terbaik Kincir Angin Savonius Dengan Variasi Jumlah Sudu**”.

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **Analisa Dimensional dan Keserupaan**

Analisa dimensional adalah matematika dimensi – dimensi besaran dan merupakan alat lain yang berguna dari mekanika fluida modern. Pada dasarnya, analisa dimensional ialah suatu metode untuk mengurangi jumlah kerumitan variabel eksperimental yang mempengaruhi gejala fisika, dengan menggunakan semacam teknik peringkasan.

Kalau suatu gejala tergantung pada  $n$  variabel berdimensi, analisa dimensional akan menyederhanakan persoalan itu sehingga hanya tergantung pada  $m$  variable tak berdimensi, sedang pengurangannya  $n-m = 1,2,3$ , atau 4 tergantung pada tingkat kesulitan persoalannya. Pada umumnya  $n-m$  sama dengan jumlah dimensi yang berada (kadang – kadang disebut dimensi pokok atau utama) yang menguasai persoalan tersebut.

---

\* Dosen Tetap Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

Pada umumnya, semua hubungan fisik seperti itu dapat disederhanakan menjadi besaran – besaran dasar yang terdiri dari gaya (F), panjang (L), waktu (t), temperatur (T) dan massa (M). Penggunaanya meliputi:

- a. Mengubah satu sistem satuan ke satuan lain.
- b. Mengembangkan persamaan – persamaan.
- c. Mengurangi banyaknya variabel yang diperlukan dalam suatu program percobaan
- d. Menyatakan prinsip rancangan model.

Meskipun tujuan utamanya adalah untuk mengurangi variabel dan mengelompokkan dalam bentuk tak-berdimensi, namun analisa dimensional mempunyai beberapa manfaat lain, yaitu:

1. Menghemat waktu dan biaya yang amat banyak.
2. Membantu mengarahkan pemikiran dan perencanaan kita, baik mengenai percobaan, maupun secara teoritis. Cara ini menunjukkan jalan untuk menulis persamaan tak-berdimensi sebelum kita memboroskan biaya pemakaian komputer untuk mencari penyelesaiannya. Analisa dimensional menunjukkan variabel – variabel mana yang dapat disingkirkan. Kadang-kadang analisa dimensional akan berlangsung menolak variabel-variabel, dan mengelompokkannya ke satu sisi, lalu beberapa pengujian yang sederhana akan menunjukkan bahwa variabel-variabel itu tidak penting. Akhirnya, analisa dimensional sering memberikan pandangan mengenai bentuk hubungan fisika yang kita teliti.
3. Analisa dimensional memberikan hukum penyekalan yang dapat mengalihkan data dari model kecil yang murah, ke informasi rancang-bangun untuk membuat prototype yang lebih besar dan lebih mahal.

### **Teorema PI**

Ada beberapa metode dalam mereduksi bilangan variabel dimensional ke dalam bilangan yang lebih kecil dari kelompok-kelompok dimensional. Skema yang diberikan disini diusulkan pada tahun 1914 oleh Buckingham dan sekarang dinamakan teorema pi Buckingham. Nama pi berasal dari notasi matematika  $p$ , yang artinya hasil kali variabel – variabel. Kelompok tak berdimensi yang diperoleh dari teorema itu adalah hasil kali pangkat yang dinyatakan dengan  $p_1, p_2, p_3$ , dan seterusnya.

Langkah – langkah dalam analisa dimensional adalah sebagai berikut:

1. Tulis semua parameter yang ada (ada n parameter).
2. Pilih satu set dimensi utama (dimensi MLTt atau FLTt).
3. Tuliskan semua parameter yang ada dalam bentuk dimensinya (ada r dimensi utama)
4. Pilih parameter yang diulang dari semua parameter yang ada.
5. Aturlah persamaan dimensionalnya, kombinasikan parameter yang dipilih dalam 4 bentuk yang parameter satu dengan lainnya membentuk kelompok tanpa dimensi (disini akan ada n-m persamaan). Pemecahan persamaan dimensional tersebut menentukan jumlah kelompok tanpa dimensi.

6. Cek hasil kelompok tanpa dimensi tersebut dengan menggunakan dimensi utama yang lainnya.
7. Tentukan hubungan fungsionalnya  $[p_1 = f(p_2, p_3, p_4, \dots p)]$

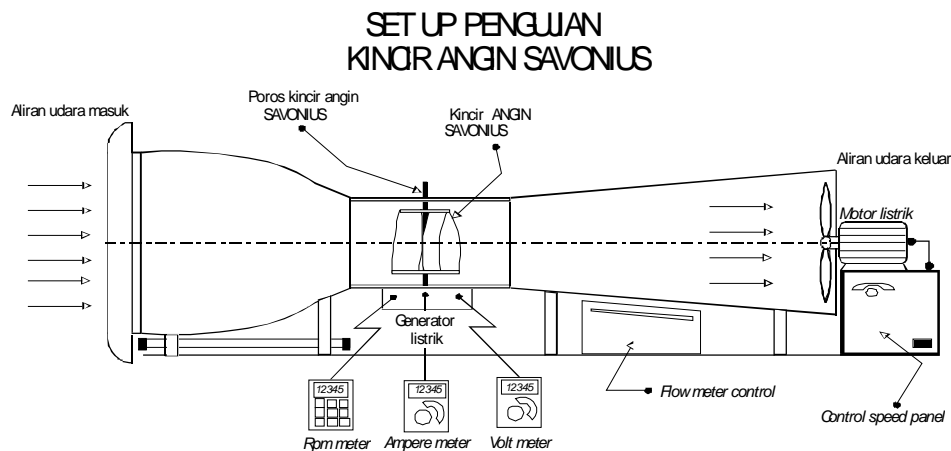
## METODOLOGI PENELITIAN

### Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini terdiri dari 2 tahap, yaitu :

1. Tahap pembuatan model uji dari kincir angin Savonius dengan dimensi diameter piringan/dudukan sudu 11 cm dan tinggi 20 cm. Pemilihan dimensi ini merupakan pengembangan hasil terbaik dari penelitian skripsi mahasiswa mesin Unmer Malang, saudara Yusuf Aji Wijaya, Nrp. 01429001. Adapun jumlah model yang akan dibuat berjumlah 4 (empat) buah, yang masing-masing berbeda jumlah sudunya yaitu bersudu 2, 3, 4 dan 6. Adapun celah eksentrik yang dipakai adalah  $1/6$  dari diameter piringan kincir angin. Hal ini sesuai referensi dari internet untuk referensi performance terbaik dari kincir angin Savonius.
2. Tahap pengujian model uji pada terowongan angin milik Lab. Prestasi Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang. Maing-masing model akan diuji pada variasi kecepatan angin mulai dari 3, 4, 5, 6, 7, 8 m/det.

### Set Up Pengujian Kincir Angin Savonius



Gambar 1. Set Up Pengujian Kincir Angin Savonius

### Variabel Penelitian

Variabel – variabel pada penganalisaan penelitian tentang Kincir Angin Savonius dengan menggunakan analisa dimensional yang meliputi kecepatan angin masuk ( $v$ ), temperatur udara ( $T$ ), putaran poros ( $n$ ), tegangan ( $V$ ) dan arus ( $A$ ).

**Data Penelitian Jurnal Sebelumnya yang Digunakan**

Berikut ini adalah data hasil pengujian dari kincir angin Savonius yang berdiameter 11 cm dilakukan pada tanggal 4 Januari 2004. Tempat pengujian di Laboratorium Prestasi Mesin Universitas Merdeka Malang.

**Model I :**

- Diameter piringan atas-bawah : 110 mm
- Jumlah sudu : 2 buah
- Tinggi model : 20 cm

Tabel 1. Contoh Data Hasil Pengujian

No	Variabel Pengujian	Satuan	Pengujian					
			1	2	3	4	5	6
1	Kecepatan angin masuk	m/s	3	4	5	6	7	8
2	Temperatur udara	°C	26					
3	Putaran poros	Rpm	566	778	983	1219	1437	1662
4	Arus listrik	miliAmp	15.08	28.32	41.80	59.20	78.80	102.7
5	Tegangan listrik	Voltase	2.62	3.44	4.38	5.38	6.58	7.88
6	Tekanan lingkungan	kPa	94.2					

Dengan cara yang sama, hasil pengolahan data untuk pengujian yang lain dapat dilihat pada grafik 1 dan grafik 2.

**Analisa Dimensional pada Kincir Angin Savonius**

1. Parameter – parameter yang ada:

Torsi yang dihasilkan (T), Diameter hidrolis (D<sub>h</sub>), Kecepatan aliran udara (v), Densitas udara (ρ), kekentalan kinematis(n) jadi ada 5 parameter n = 5 parameter  
dimana: D<sub>h</sub>= 4A/P (A=luas penampang, P=keliling)

$$D_h = \frac{4.D.h}{2(D+h)} = \frac{2.D.h}{(D+h)}$$

2. Dimensi utama MLTt

$$3. \begin{matrix} T & D_h & v & r & n \\ \frac{ML^2}{t^2} & L & \frac{L}{T} & \frac{M}{L^3} & \frac{L^2}{t} \end{matrix}$$

4. Parameter yang diulang D<sub>h</sub>, v, r → m = 3

5. n – m = 5 – 3 = 2 kelompok tanpa dimensi

$$\pi_1 = T D_h^a v^b r^c$$

	T	D <sub>h</sub> <sup>a</sup>	v <sup>b</sup>	ρ <sup>c</sup>	n
M	1	0	0	1	0
L	2	1	1	-3	2
t	-2	0	-1	0	-1

$$M : 1 + c = 0 \quad c = -1$$

$$t : -2 - b = 0 \quad b = -2$$

$$L : 2 + a + b - 3c = 0$$

$$2 + a - 2 + 3 = 0 \quad \longrightarrow \quad a = -3$$

Sehingga,

$$\pi_1 = T D_h^a v^b r^c$$

$$= \frac{T}{(D_h^3 \cdot v^2 \cdot \rho)}$$

$$\pi_2 = n D_h^a v^b \rho^c$$

$$M : 0 + c = 0 \quad \longrightarrow \quad c = 0$$

$$t : -b - 1 = 0 \quad \longrightarrow \quad b = -1$$

$$L : 2 - 3c + b + a = 0$$

$$2 + 0 - 1 + a = 0 \quad \longrightarrow \quad a = -1$$

Sehingga,

$$\pi_2 = v D_h^a v^b r^c = \frac{v}{(D_h \cdot v)}$$

6. Cek menggunakan dimensi FLTt

$$\pi_1 = \frac{T}{(D_h^3 \cdot v^2 \cdot \rho)} = \left[ \frac{FL}{\left( L^3 \cdot \frac{L^2}{t^2} \cdot F \cdot \frac{t^2}{L^4} \right)} \right] = [1]$$

$$\pi_2 = \frac{v}{(D_h \cdot v)} = \left[ \frac{\frac{L^2}{t}}{\frac{L \cdot L}{t}} \right] = [2]$$

7. Hubungan fungsional antar  $\pi$

$$\pi_1 = f(\pi_2)$$

$$\frac{T}{(D_h^3 \cdot v^2 \cdot \rho)} = f \left( \frac{v}{(D_h \cdot v)} \right)$$

$$T = D_h^3 v^2 \rho \cdot f \left( \frac{v}{(D_h \cdot v)} \right)$$

Dari tabel diatas akan diperoleh suatu grafik yang menggambarkan suatu hubungan antara dua kelompok  $p$  tersebut. Untuk mengetahui hubungan tersebut digunakan model regresi polinomial orde lima, yaitu:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5$$

Untuk mempermudah dalam perhitungan, maka untuk  $\frac{T}{(D_h^3 \cdot v^2 \cdot \rho)}$  dituliskan dengan

bentuk  $y_i$  yang merupakan koefisien torsi (Ct) dan untuk bentuk  $\frac{v}{(D_h \cdot \nu)}$  dituliskan dalam bentuk  $x_i$ ,

yang merupakan bilangan Reynold (Re). Dalam meminimalkan jumlah kuadrat, model regresi polinomial memberikan persamaan normal sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a_0 \cdot N + a_1 \sum x_i + a_2 \sum x_i^2 + a_3 \sum x_i^3 + a_4 \sum x_i^4 + a_5 \sum x_i^5 &= \sum y_i \\
 a_0 \cdot \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i^3 + a_3 \sum x_i^4 + a_4 \sum x_i^5 + a_5 \sum x_i^6 &= \sum x_i \cdot y_i \\
 a_0 \cdot \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^4 + a_3 \sum x_i^5 + a_4 \sum x_i^6 + a_5 \sum x_i^7 &= \sum x_i^2 \cdot y_i \\
 a_0 \cdot \sum x_i^3 + a_1 \sum x_i^4 + a_2 \sum x_i^5 + a_3 \sum x_i^6 + a_4 \sum x_i^7 + a_5 \sum x_i^8 &= \sum x_i^3 \cdot y_i \\
 a_0 \cdot \sum x_i^4 + a_1 \sum x_i^5 + a_2 \sum x_i^6 + a_3 \sum x_i^7 + a_4 \sum x_i^8 + a_5 \sum x_i^9 &= \sum x_i^4 \cdot y_i \\
 a_0 \cdot \sum x_i^5 + a_1 \sum x_i^6 + a_2 \sum x_i^7 + a_3 \sum x_i^8 + a_4 \sum x_i^9 + a_5 \sum x_i^{10} &= \sum x_i^5 \cdot y_i
 \end{aligned}$$

Bila ditulis dalam bentuk matrik dengan N adalah jumlah data:

$$\begin{bmatrix}
 N & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\
 \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\
 \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\
 \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \\
 \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 \\
 \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 & \sum x_i^{10}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 a_0 \\
 a_1 \\
 a_2 \\
 a_3 \\
 a_4 \\
 a_5
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 \sum y_i \\
 \sum x_i \cdot y_i \\
 \sum x_i^2 \cdot y_i \\
 \sum x_i^3 \cdot y_i \\
 \sum x_i^4 \cdot y_i \\
 \sum x_i^5 \cdot y_i
 \end{bmatrix}$$

6	300248.139	16473498664	9.69343E+14	5.99959E+19	3.84964E+24	a0	0.108848329
300248.139	16473498664	9.69343E+14	5.99959E+19	3.84964E+24	2.53517E+29	a1	5421.548536
16473498664	9.69343E+14	5.99959E+19	3.84964E+24	2.53517E+29	1.70187E+34	a2	296684844.4
9.69343E+14	5.99959E+19	3.84964E+24	2.53517E+29	1.70187E+34	5.54954E+48	a3	1.74434E+13
5.99959E+19	3.84964E+24	2.53517E+29	1.70187E+34	5.54954E+48	7.9849E+43	a4	1.08005E+18
3.84964E+24	2.53517E+29	1.70187E+34	5.54954E+48	7.9849E+43	5.54954E+48	a5	6.93755E+22

Dengan menggunakan metode Cramer akan diperoleh bentuk hasil akhir dari matrik tersebut adalah sebagai berikut:

$$a_0 = 0.022305665$$

$$a_1 = -1.62944E-07$$

$$a_2 = 1.45311E-12$$

$$a_3 = 1.5446E-29$$

$$a_4 = 1.24055E-34$$

$$a_5 = 6.39857E-40$$

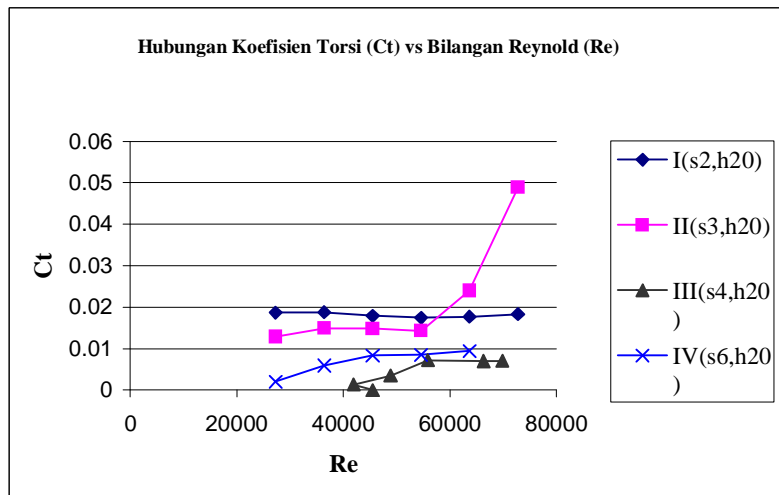
Maka persamaan karakteristik untuk model I (sudu 2 buah, tinggi 20 cm,  $\phi$  11 cm) tersebut adalah:

$$\frac{T}{(D_h^3 \cdot v^2 \cdot \rho)} = 0.022305665 - 1.62933E-07 \frac{(D_h \cdot v)}{v} + 1.45311E-12 \left( \frac{(D_h \cdot v)}{v} \right)^2 + 1.5446E-29 \left( \frac{(D_h \cdot v)}{v} \right)^3 + 1.24055E-34 \left( \frac{(D_h \cdot v)}{v} \right)^4 + 6.39857E-40 \left( \frac{(D_h \cdot v)}{v} \right)^5$$

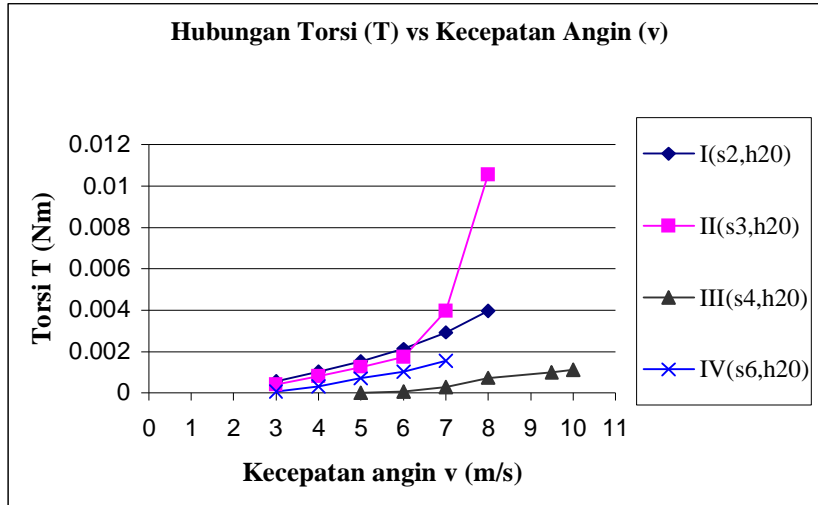
Untuk mendapatkan komponen persamaan karakteristik model lainnya, dengan cara yang sama dapat dilihat pada tabel 2 dan digambarkan pada gambar 2 berikut:

Tabel 2. **Komponen-Komponen Persamaan Karakteristik**

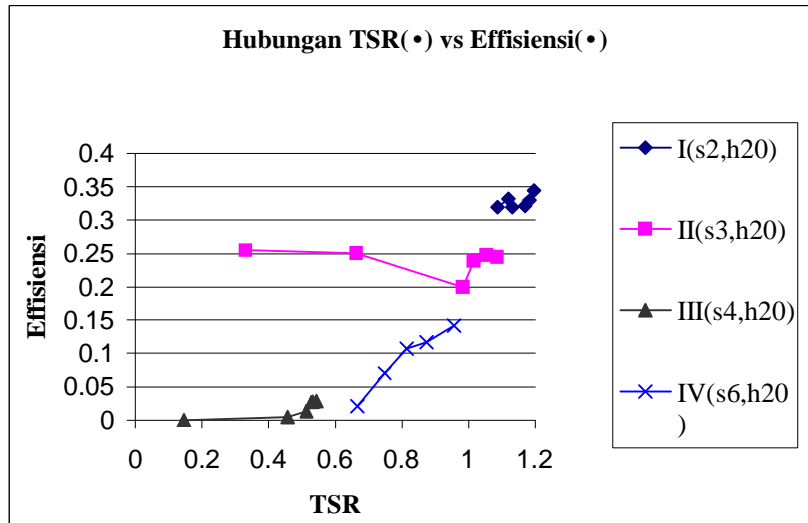
	<b>II (s3,h20)</b>	<b>III (s4,h20)</b>	<b>IV (s6,h20)</b>
a <sub>0</sub>	3.37347E-26	5.19287E-27	-4.82554E-19
a <sub>1</sub>	1.54428E-26	9.65562E-27	2.01121E-18
a <sub>2</sub>	2.37008E-26	-3.47995E-25	-1.34821E-43
a <sub>3</sub>	-4.96098E-37	1.31952E-37	1.67358E-43
a <sub>4</sub>	-2.09988E-37	2.64359E-38	2.20439E-43
a <sub>5</sub>	-4.96098E-37	1.31952E-37	4.55233E-43



Gambar 2. **Grafik Hubungan Koefisien Torsi dengan Bilangan Reynold**



Gambar 3. Grafik Hubungan Torsi dengan Kecepatan Angin



Gambar 4. Grafik Hubungan TSR dengan Efisiensi (Data Sebelumnya)

**PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode analisa dimensional yang digambarkan dalam Gambar 2 menunjukkan jika bentuk Gambar 2 memiliki kesamaan dengan Gambar 3. Dengan demikian , Gambar 2 merupakan penggambaran Gambar 3, namun dalam absis dan ordinat bilangan tak berdimensi. Koefisien tak berdimensi  $C_t$  merupakan fungsi torsi adapun bilangan tak berdimensi  $Re$  merupakan fungsi dari kecepatan. Berdasar perhitungan diperoleh jika persamaan karakteristik terbaik untuk bilangan  $Re$  sampai dengan 58000 adalah model kincir angin Savonius I yang memiliki dimensi tinggi 20 cm, diameter 11 cm dengan jumlah sudu 2 buah.

Adapun Gambar 3 menunjukkan kecepatan angin dibawah 6 m/s maka model I (S2, h20) memiliki torsi tertinggi. Hal ini dikarenakan untuk kecepatan dibawah 6 m/s, nilai perbandingan



tertinggi antara daya actual terhadap putaran dimiliki oleh model I. Tertingginya daya actual dari model I dikarenakan kecilnya jumlah kerugian yang terjadi. Kerugian tersebut berupa timbulnya daerah permukaan belakang sudu 1 yang bertekanan rendah sehingga aliran massa udara mengalir kearah ini. Hal ini menyebabkan terjadinya separasi lapis batas yang membentuk *wake* yang bersifat merugikan.

Model I berdasar Gambar 4 juga memiliki efisiensi tertinggi sebesar 0.3447322 pada TSR 1.1959475. Sedangkan untuk model II, IV, III lebih rendah nilainya effisiensinya. Adapun maksud nilai TSR diatas 1 menunjukkan bahwa kincir angin tersebut mampu mengubah kecepatan angin menjadi kecepatan keliling berupa putaran kincir yang nilainya menjadi jauh lebih besar.

## SIMPULAN

Persamaan karakteristik model kincir angin savonious terbaik adalah yang berdiameter 0,11 m untuk model I (sudu 2, tinggi = 0,2 m)

$$\frac{T}{(D_h^3 \cdot v^2 \cdot r)} = 0.022305665 - 1.62933E - 07 \frac{(D_h \cdot v)}{n} + 1.45311E - 12 \left( \frac{(D_h \cdot v)}{n} \right)^2 + 1.5446E - 29 \left( \frac{(D_h \cdot v)}{n} \right)^3 + 1.24055 E - 34 \left( \frac{(D_h \cdot v)}{n} \right)^4 + 6.39857 E - 40 \left( \frac{(D_h \cdot v)}{n} \right)^5$$

## DAFTAR PUSTAKA

- Anak Agung Adhi Suryawan & Ainul Ghurri, Juli 2003, *Pengujian Prototype Kincir Angin Darrieus-Savonious*, POROS: Jurnal ilmiah Teknik Mesin, Universitas Tarumanegara, vol. 6 no. 3.
- Massons G. J. dan Diaz F., 1991, *Drag and Lift Coefficients of the Savonius Wind Machine*, Wind Engineering Vol. 15 No.5.
- Ogawa T. dan Yoshida H., 1986, *The Effect of a Deflecting Plate and Rotor End Plates on Performance of Savonius – Type Wind Turbine*, Bulletin of JSME, Vol. 29, No.25.
- Ogawa T., Tahara K. dan Suzuki N., 1986, *Wind Tunnel Performance Data of the Savonius Rotor with Circular Guide Vanes*, Bulletin of JSME, Vol. 29, No. 25.
- Victor L. Streeter, 1979, *Fluid Mechanics*, Mc. Graw-Hill Book Company, Seventh Edition.
- Yusuf Aji W, 2004, *Kaji Eksperimental Model Kincir Angin Jenis Savonius dengan Variasi Kecepatan Angin, Jumlah Sudu dan Tinggi Sudu*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang.