

## KARAKTERISTIK TURBIN ANGIN *VERTICAL AXIS* PROFIL DENGAN LIMA *BLADE* PROFIL NACA 0018

**Fajrur Rahman Hakim**

S1 Pendidikan Teknik Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: d\_and101@yahoo.com

**Indra Herlamba Siregar**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: indra\_adsite2006@yahoo.com

### ABSTRAK

Salah satu energi dapat diperbarui adalah angin, dan Indonesia memiliki potensi energi angin yang melimpah. Pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin, dengan demikian terjadi perputaran udara berupa perpindahan udara dari kutub utara ke garis katulistiwa menyusuri permukaan bumi dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis katulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang lebih tinggi. Angin di kawasan wilayah Indonesia mempunyai kecepatan dan arah yang selalu berubah-ubah. Menurut Karwono (2008), pada turbin angin poros horisontal pemanfaatannya harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya. Teknologi yang menggunakan energi angin adalah kincir angin, teknologi tersebut secara umum dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu : kincir angin *horizontal axis (propeller)* dan kincir angin *vertical axis (savonius, darrieus, dan tipe-H)*. Konstruksi turbin angin *Vertical Axis* yang dapat memanfaatkan potensi angin dari segala arah, konstruksi sederhana, dan tidak memerlukan tempat pemasangan yang begitu luas serta menghasilkan momen yang besar merupakan suatu pertimbangan penulis dalam memilih jenis turbin angin ini. Hal inilah yang membuat penulis ingin melakukan analisis pada turbin angin yang dapat digunakan pada kondisi tersebut, yaitu dengan mengembangkan turbin angin *Vertical Axis*.

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen. Penelitian dilakukan dengan empat variabel penelitian, yaitu kecepatan angin 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, sudut *pitch* 5°, 10°, 15°, beban 300 gr, 400 gr, 500 gr, dan panjang lengan 175 mm dan 200 mm. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen dimasukkan ke dalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik yang kemudian akan dianalisa dan ditarik kesimpulannya, sehingga dapat diketahui karakteristik daya (P) dan Koefisien daya ( $C_p$ ) turbin angin *vertical axis* ini.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Daya maksimal yang dihasilkan turbin angin *vertical axis* dengan jumlah lima *blade* adalah 0,348 Watt pada beban 500 gram, kecepatan angin 6 m/s, panjang lengan 400 mm, dengan sudut *pitch* 10°. Efisiensi maksimal yang dihasilkan dari turbin angin *vertical axis* dengan jumlah lima *blade* ini adalah 5,35 %, yaitu pada beban 500 gram, kecepatan angin 4 m/s, panjang lengan 350 mm, dengan sudut *pitch* 15°.

Kata kunci: *Vertical Axis*, turbin angin, dan NACA.

### ABSTRACT

*One of renewable energy is wind, and Indonesia has abundant wind energy potential. Basically wind occurs because there is a temperature difference between hot air and cold air, thus the velocity of the air occurs in the form of air movement from the north pole to the equator along the surface of the earth and reverse the displacement of air from the equator back to the north pole, through the air layer over high. Wind in the region of Indonesia has the speed and direction of the always changing. According Karwono (2008), the horizontal axis wind turbine utilization should be directed in accordance with the highest wind speed. Technologies that use wind energy is a windmill, these technologies can generally be divided into two kinds, namely : horizontal axis windmills ( propeller ) and vertical axis wind turbines (savonius, Darrieus, and type - H). Construction of Vertical Axis wind turbine that can harness the potential of wind from all directions, the construction is simple, and does not require the installation of such a vast place and produce great moments is a writer consideration in choosing this type of wind turbine. This is what makes writers want to do the analysis on wind turbines that can be used in these conditions, by developing the Vertical Axis wind turbine.*

*This type of research is experimental research. The study was conducted with four kinds of research variables, those are wind speed 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, angle pitch 5°, 10°, 15°, load 300 gr, 400 gr, 500 gr, and long sleeves 175 mm and 200 mm. Data obtained from experimental results put in tables and displayed in graphical form which will then be analyzed and conclusions drawn, thus characterizing the power (P) and power coefficient ( $C_p$ ) of this vertical axis wind turbine.*

*Based on the results of this study concluded that the maximum power produced by the wind turbine vertical axis the number five blade is 0.348 Watts at 500 grams load, wind speed 6 m / s, the long arm of 400 mm, with*

a pitch angle of  $10^\circ$ . The resulting maximum efficiency of vertical axis wind turbine blade with the number five is 5.35%, ie at a load of 500 grams, the wind speed of 4 m / s, 350 mm arm length, the pitch angle of  $15^\circ$ .

Keywords: Vertical Axis, wind turbine, and NACA.

## PENDAHULUAN

Indonesia terkenal sebagai negara kaya dengan potensi sumberdaya alamnya terutama energi, baik yang berasal dari hasil tambang, air dan udara. Berdasarkan jenisnya energi dapat digolongkan menjadi dua, yaitu energi dapat diperbarui (*renewable energy*) dan energi tidak dapat diperbarui (*non-renewable energy*). Sumber energi yang dapat diperbarui misalnya energi angin, biomassa, biogas, energi kayu. Sedangkan sumber energi seperti minyak bumi, batubara, dan gas alam adalah sumber energi yang bersifat tidak dapat diperbarui.

Penggunaan tenaga angin hanya 1% dari total produksi listrik dunia (2005). Jerman merupakan produsen terbesar tenaga angin dengan 32% dari total kapasitas dunia pada 2005, targetnya pada 2010 energi yang dapat terbarui akan memenuhi 12,5% kebutuhan listrik Jerman. Jerman memiliki 16.000 turbin angin, kebanyakan terletak di utara negara tersebut. Termasuk, tiga terbesar dunia dibuat oleh perusahaan *Enercon* (4,5 MW), *Multibrid* (5 MW) dan *Repower* (5 MW). Provinsi Schleswig-Holstein Jerman menghasilkan 25% listriknya dari turbin angin.

Angin di kawasan wilayah Indonesia mempunyai kecepatan dan arah yang selalu berubah-ubah. Menurut Karwono (2008), pada turbin angin poros horisontal pemanfaatannya harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya.

Teknologi yang menggunakan energi angin adalah kincir angin, teknologi tersebut secara umum dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu : kincir angin *horizontal axis (propeller)* dan kincir angin *vertical axis (savonius, darrieus, dan tipe-H)*.

Konstruksi turbin angin *Vertical Axis* yang dapat memanfaatkan potensi angin dari segala arah, konstruksi sederhana, dan tidak memerlukan tempat pemasangan yang begitu luas serta menghasilkan momen yang besar merupakan suatu pertimbangan penulis dalam memilih jenis turbin angin ini. Hal inilah yang membuat penulis ingin melakukan analisis pada turbin angin yang dapat digunakan pada kondisi tersebut, yaitu dengan mengembangkan turbin angin *Vertical Axis*.

Penelitian Moch. Arif Afifuddin (2010), mengenai performansi turbin angin *vertical axis*. Penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa semakin panjang lengan turbin maka semakin kecil putarannya namun nilai torsinya semakin besar dengan turbin angin sumbu vertikal tipe savonius.

Serta menurut penelitian Sukamto (2012), tentang daya dan efisiensi turbin angin *vertical axis*. Menurut penelitian tersebut, efisiensi yang dihasilkan kurang maksimal dengan jumlah tiga *blade*, serta variabel lainnya yang terkait. Didasari itu maka penulis

meneliti turbin angin dengan variabel berbeda untuk mencari efisiensi yang sebaik mungkin.

Marco Raciti Castelli dkk (2012) meneliti efek jumlah *Blade* pada tipe *Blade* lurus *Vertical Axis Darrieus Wind Turbine*. Menurut penelitian tersebut, jumlah *Blade* yang lebih banyak memungkinkan kincir lebih mudah berputar dengan kecepatan angin yang lebih rendah. Seperti yang tersaji pada grafik berikut.

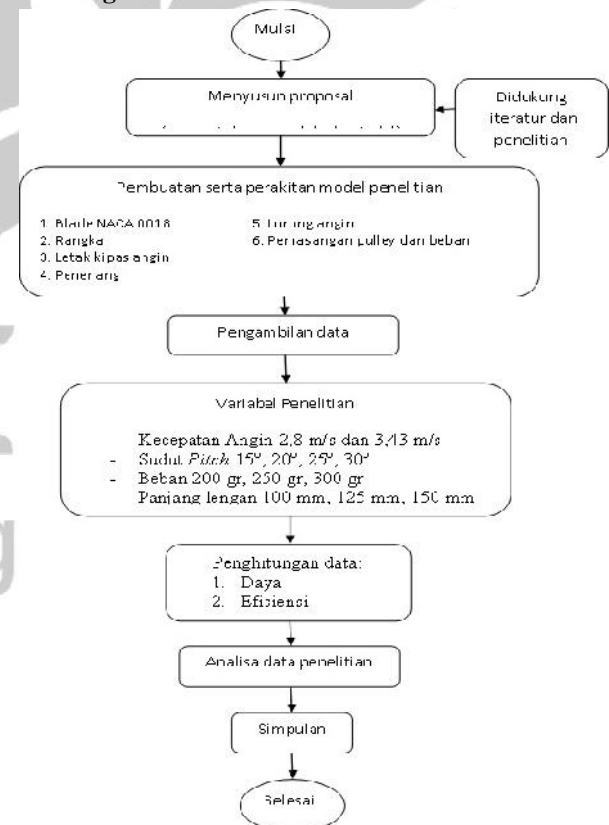
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik daya ( $P$ ) dan Koefisien daya ( $C_p$ ) turbin angin *vertical axis* dengan jumlah lima *blade* dengan optimal.

Manfaat dari Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, para pembaca, dan pihak yang berkepentingan. Manfaat penelitian ini sebagai berikut :

Memberikan informasi tentang turbin angin *vertical axis* dan berapa daya yang dihasilkan, diharapkan dapat memberikan gagasan dalam inovasi turbin angin khususnya pada jenis *vertical axis*. Mengurangi ketergantungan penggunaan sumber daya energi yang tidak dapat diperbarui. Model penelitian dapat digunakan sebagai alat peraga untuk menunjang perkuliahan.

## METODE

### Rancangan Penelitian



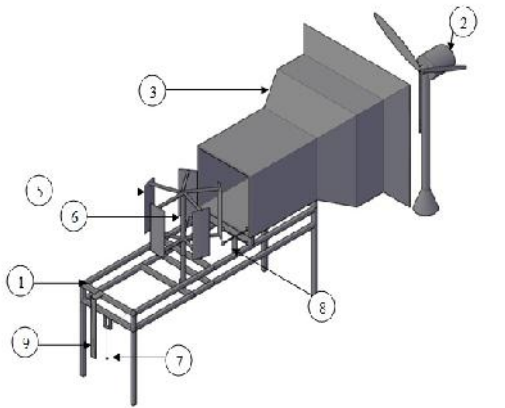
Gambar 1. Rancangan Penelitian

#### Variabel Penelitian

- Variabel Bebas  
Variabel bebas dapat disebut penyebab atau *independent variable*. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan angin, sudut *pitch*, panjang lengan, dan variasi beban 300 gr, 400 gr dan 500 gr.
- Variabel Terikat  
Variabel terikat dapat disebut hasil, akibat atau *dependent variable*. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu daya dan koefisien yang dihasilkan turbin angin vertikal *axis* dengan jumlah lima *blade* ini.
- Variabel Kontrol  
Variabel kontrol dalam hal ini adalah sesuatu yang dikontrol agar penelitian tetap fokus pada masalah yang diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah jumlah blade 5 buah.

#### Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan dan instrumen merupakan peralatan uji yang digunakan untuk memperoleh data penelitian. Peralatan dan instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah:



Gambar 2. Rangkaian Instrumen Penelitian

Keterangan :

1. Rangka
2. Kipas angin
3. *Guide Vane*
4. *Blade*
5. Poros
6. Beban
7. Anemometer
8. Mistar
9. Stopwatch
10. Busur derajat

#### PROSEDUR PENELITIAN

##### Tahap Persiapan

- Menyusun/membuat rangkaian obyek penelitian seperti pada gambar 3.2.
- Menyiapkan peralatan dan instrumen penelitian, yaitu anemometer, penggaris, *stopwatch*.
- Menyiapkan beberapa variasi beban yang digunakan pada pengujian.

##### Tahap Percobaan

- Menghidupkan kipas angin, lalu mengatur kecepatan angin pada kipas angin
- Kemudian dilakukan pengecekan kecepatan angin dengan anemometer, pengecekan dilakukan setelah angin melewati lorong angin. Variasi kecepatan angin yang digunakan 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s.
- Pengukuran suhu, dan *relative humidity* menggunakan Hygrometer.
- Menentukan sudut *pitch blade*, percobaan dilakukan pada variasi 5°, 10°, 15°.
- Pengamatan mulai dilakukan dengan memberi beban yang telah dipersiapkan pada tali di pulley. Variasi beban yang digunakan yaitu 300 gram, 400 gram, dan 500 gram. Kemudian kipas dihidupkan dan diatur pada kecepatan angin 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, pengamatan dilakukan hingga beban tersebut terangkat 100 mm dari titik nol.
- Melakukan pencatatan data yang meliputi waktu, kecepatan angin, panjang lengan, sudut *pitch*, dan beban. Variasinya sebagai berikut :
  - V= 4 m/s, L= 350 mm, sudut : 5°, 10°, 15°, beban : 300, 400, 500 gr
  - V= 4 m/s, L= 400 mm, sudut : 5°, 10°, 15°, beban : 300, 400, 500 gr
  - V= 5 m/s, L= 350 mm, sudut : 5°, 10°, 15°, beban : 300, 400, 500 gr
  - V= 5 m/s, L= 400 mm, sudut : 5°, 10°, 15°, beban : 300, 400, 500 gr
  - V= 6 m/s, L= 350 mm, sudut : 5°, 10°, 15°, beban : 300, 400, 500 gr
  - V= 6 m/s, L= 400 mm, sudut : 5°, 10°, 15°, beban : 300, 400, 500 gr
- Mengulangi percobaan a. – f. Hingga tiga kali.

##### Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan untuk menganalisa data pada penelitian ini adalah statistika deskriptif. Sehingga analisis data dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari eksperimen, dimana hasilnya berupa data kuantitatif dalam bentuk tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Langkah selanjutnya

adalah mendeskripsikan atau menggambarkan data tersebut sebagaimana adanya dalam kalimat yang mudah dibaca, dipahami, dan dipresentasikan sehingga pada intinya adalah sebagai upaya memberi jawaban atas permasalahan yang diteliti (Sugiyono, 2007:147).

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Penghitungan dan Analisa Data**

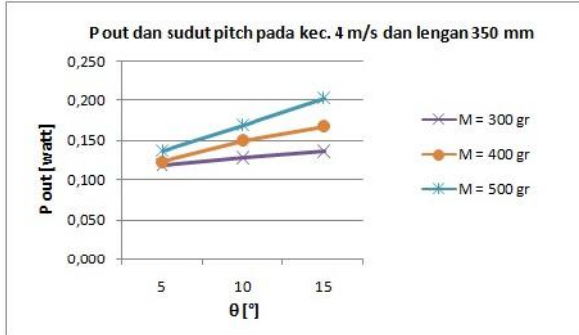
- Menghitung daya (*P out*) menggunakan persamaan

$$P = \frac{n \cdot g \cdot h}{t} \tag{1}$$

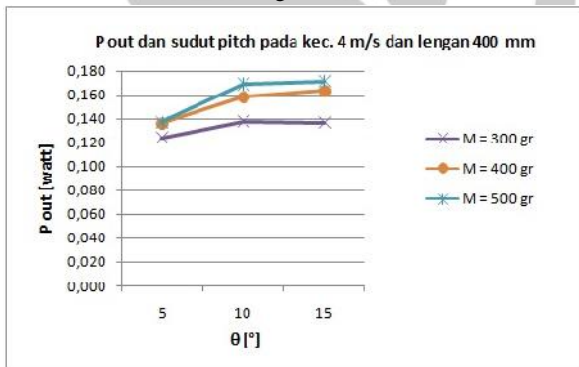
$$P = \frac{0,3 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,1n}{2,37 \text{ s}}$$

$$= 0,124 \text{ watt}$$

Hasil perhitungan kemudian dimasukkan kedalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik nilai daya terhadap sudut *pitch* pada kec. 4 m/s lengan 350 mm



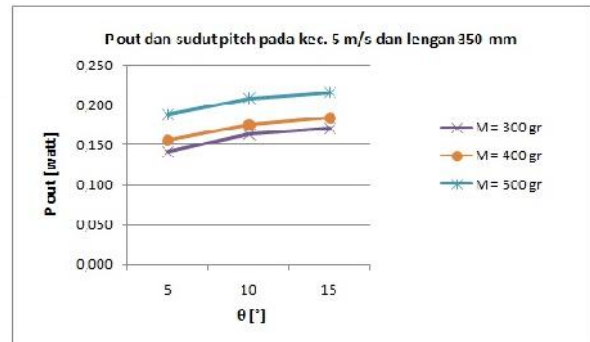
Gambar 4. Grafik nilai daya terhadap sudut *pitch* kec. 4 m/s lengan 400 mm

Dari dua grafik di atas diketahui bahwa daya yang dihasilkan pada lengan 350 mm terjadi peningkatan dari sudut *pitch* 5° hingga pada sudut 15°. Pada lengan 400 mm, terjadi peningkatan dari sudut *pitch* 5° hingga pada sudut 10°. Lalu cenderung terjadi penurunan atau terdapat nilai daya yang sama dari sudut *pitch* 10° hingga pada sudut 15°, disebabkan oleh gaya angkat *blade* yang menurun.

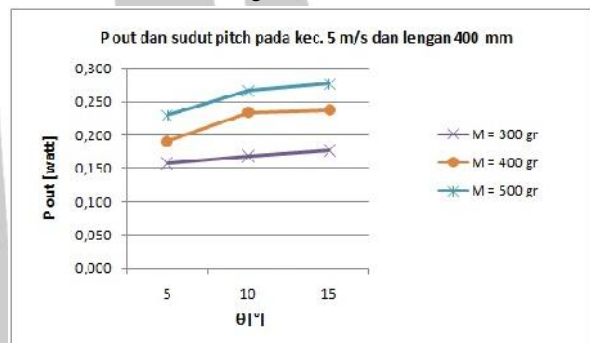
Untuk kecepatan 4 m/s, diketahui bahwa panjang lengan yang paling ideal untuk *blade* NACA 0018 adalah 350 mm, karena menurut grafik yang

ditunjukkan masih dapat terjadi peningkatan daya *P out*.

Selanjutnya pada grafik berikut ditunjukkan besar daya (*P out*) pada kecepatan 5 m/s :



Gambar 5. Grafik nilai daya terhadap sudut *pitch* kec. 5 m/s lengan 350 mm

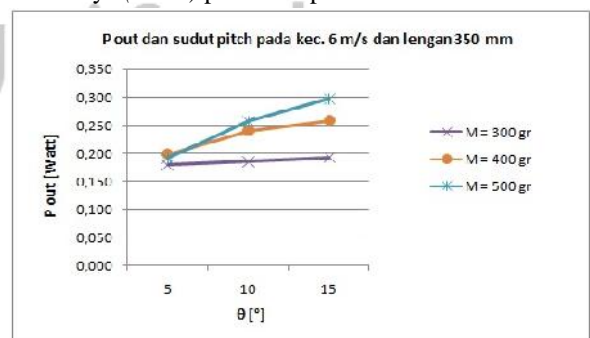


Gambar 6. Grafik nilai daya terhadap sudut *pitch* kec. 5 m/s lengan 400 mm

Dari dua grafik di atas diketahui bahwa daya yang dihasilkan pada lengan 350 mm terjadi peningkatan dari sudut *pitch* 5° hingga pada sudut 15°. Pada lengan 400 mm, terjadi peningkatan dari sudut *pitch* 5° hingga pada sudut 10°. Lalu cenderung terjadi penurunan atau terdapat nilai daya yang sama dari sudut *pitch* 10° hingga pada sudut 15°, tetapi hanya terjadi pada beban 400 gr.

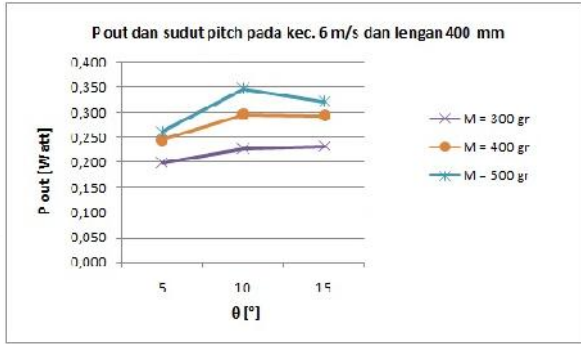
Untuk kecepatan 5 m/s, belum diketahui panjang lengan yang paling ideal untuk *blade* NACA 0018, karena menurut kedua grafik yang ditunjukkan masih dapat terjadi peningkatan daya *P out*.

Selanjutnya pada grafik berikut ditunjukkan besar daya (*P out*) pada kecepatan 6 m/s :



Gambar 7. Grafik nilai daya terhadap sudut *pitch* kec. 6 m/s lengan 350 mm





Gambar 8. Grafik nilai daya terhadap sudut *pitch* kec. 6 m/s lengan 400 mm

Dari dua grafik di atas diketahui bahwa daya yang dihasilkan pada lengan 350 mm terjadi peningkatan dari sudut *pitch* 5° hingga pada sudut 15°. Pada lengan 400 mm, terjadi peningkatan dari sudut *pitch* 5° hingga pada sudut 10°. Lalu cenderung terjadi penurunan atau terdapat nilai daya yang sama dari sudut *pitch* 10° hingga pada sudut 15°, disebabkan oleh gaya angkat *blade* yang menurun.

Untuk kecepatan 6 m/s, diketahui bahwa panjang lengan yang paling ideal untuk *blade* NACA 0018 adalah 350 mm, karena menurut grafik yang ditunjukkan masih dapat terjadi peningkatan daya *P out*.

- Menghitung nilai koefisien daya (*C<sub>p</sub>*) dari turbin menggunakan persamaan:

$$C_p = \frac{P}{0,5 \rho U_{\infty}^3 S} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2)$$

$$S = L \cdot D \quad (3)$$

$$S = 0,3 \pi \cdot 0,4 \pi = 0,12 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot S \quad (4)$$

$$P_{in} = 0,5 \cdot 1,127 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4^3 \pi / \text{s} \cdot 0,12 \text{ m}^2 = 4,329 \text{ watt}$$

$$C_p = \frac{0,124}{4,329} = 0,029$$

- Menghitung *Tip Speed Ratio* (TSR) dengan menggunakan persamaan (2.5) :

$$\lambda = \frac{\omega r}{U_{\infty}} \quad (5)$$

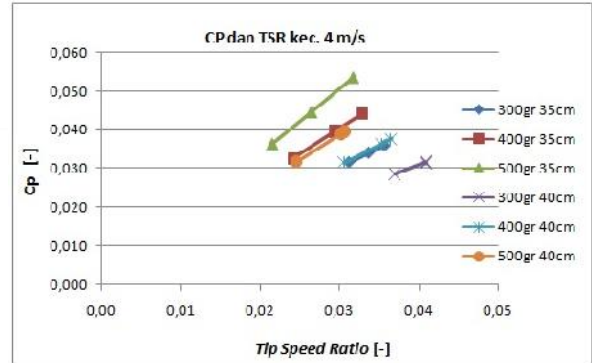
$$\omega = \frac{n}{s} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{1,75 \text{ putaran}}{2,37 \text{ s}} = 0,74 \text{ rps}$$

$$\lambda = \frac{\omega r}{v}$$

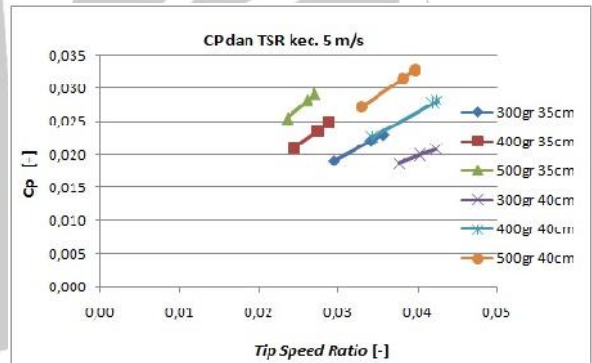
$$\lambda = \frac{0,74 \text{ rps} \cdot \frac{0,4 \pi}{2}}{4 \pi / \text{s}} = 0,04$$

Berikut adalah grafik perbandingan *CP* terhadap *TSR* pada tiap – tiap kecepatan angin yang telah diuji :



Gambar 9. Grafik Koefisien daya terhadap *Tip Speed Ratio* pada kecepatan 4m/s

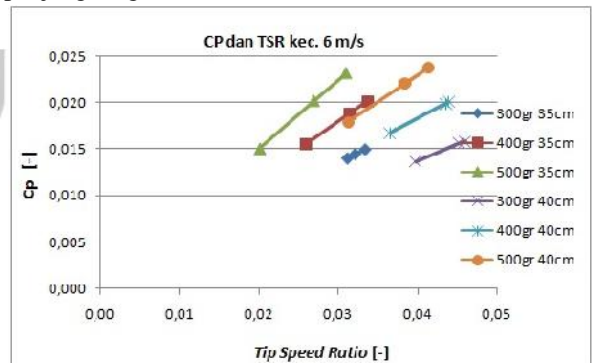
Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa Semakin besar panjang lengan, semakin besar pula *Tip Speed Ratio* (TSR) yang dihasilkan. Semakin pendek panjang lengan, semakin besar koefisien daya (*CP*) yang dihasilkan.



Gambar 10. Grafik Koefisien daya terhadap *Tip Speed Ratio* pada kecepatan 5m/s

Dari grafik diatas menunjukkan hasil yang sama. Semakin besar panjang lengan, semakin besar pula *Tip Speed Ratio* (TSR) yang dihasilkan.

Akan tetapi tidak sama dengan yang ditunjukkan pada grafik kecepatan 4 m/s, disini terlihat bahwa koefisien daya (*CP*) yang dihasilkan sejalan dengan panjang lengan. Semakin besar panjang lengan, semakin besar *CP*.



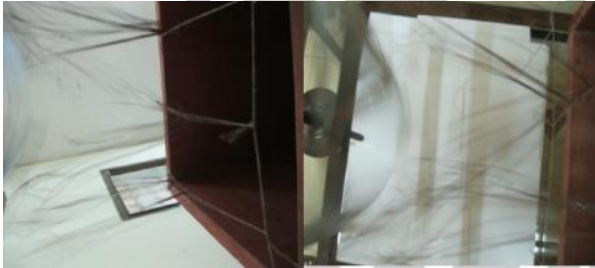
Gambar 11. Grafik Koefisien daya terhadap *Tip Speed Ratio* pada kecepatan 6m/s

Sama halnya yang ditunjukkan pada grafik kecepatan 5 m/s, dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa Semakin besar panjang lengan, semakin besar pula *Tip Speed Ratio* (TSR) dan koefisien daya (CP) yang dihasilkan.

### Pembahasan

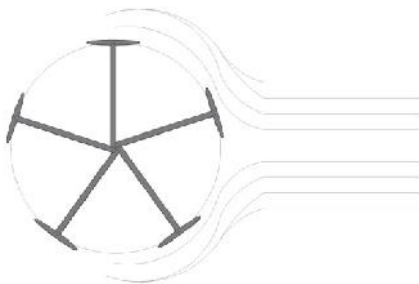
Dilihat dari ketiga grafik CP dan TSR, variasi TSR yang timbul hanya di kisaran angka 1,50 sampai dengan 3,00. Tetapi lain halnya dengan CP, semakin besar kecepatan angin, semakin kecil CP yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan koefisien daya dari kecepatan angin 4 m/s hingga 6 m/s.

Setelah dilakukan pengujian terhadap turbin angin *vertical axis* ini terjadi situasi yang seperti ditampilkan gambar di bawah ini :



Gambar 12 Tampilan arah angin

Lebih jelasnya, peneliti mencoba menampilkan dalam bentuk gambar sketsa :



Gambar 13 Tampilan sketsa arah angin

Peneliti melihat ketiga grafik CP terhadap TSR dan menyimpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin, maka CP yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini diduga karena aliran angin yang banyak menuju ke sisi luar kincir, daripada ke sisi bagian dalam kincir. Seperti yang ditunjukkan gambar diatas. Hal ini mengakibatkan sedikit sekali percepatan yang terjadi, sehingga kincir angin berputar layaknya silinder. Sehingga angin yang terkonfersi juga semakin sedikit.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Hasil pengamatan tentang karakteristik turbin angin *vertical axis* dengan lima *blade* profil NACA 0018, dapat disimpulkan:

- Daya maksimal yang dihasilkan turbin angin *vertical axis* dengan jumlah lima *blade* adalah 0,348 Watt pada beban 500 gram, kecepatan angin 6 m/s, panjang lengan 400 mm, dengan sudut *pitch* 10°.
- Koefisien daya maksimal yang dihasilkan dari turbin angin *vertical axis* dengan jumlah lima *blade* ini adalah 0,053, yaitu pada beban 500 gram, kecepatan angin 4 m/s, panjang lengan 350 mm, dengan sudut *pitch* 15°.
- Panjang lengan yang ideal untuk turbin angin *vertical axis* dengan lima *blade* profil NACA 0018 ini adalah 350 mm. Dengan memakai lengan tersebut daya yang dihasilkan diharapkan maksimal. Dibuktikan dengan apa yang ditunjukkan grafik CP dan sudut *pitch* pada kecepatan 4 m/s dan 6 m/s.

### Saran

Masih perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai turbin angin *vertical axis*, seperti dengan membuat variasi *blade*, variasi sudut *pitch*, penambahan alat lain yang membuat kecepatan angin yang terkonfersi semakin maksimal, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin maksimal. Selain itu menggunakan *blade* NACA dengan tipe yang berbeda, dimungkinkan dapat menghasilkan daya yang lebih besar.

Khususnya variasi sudut *pitch*, karena hampir semua hasil yang ditunjukkan grafik, baik itu grafik CP dan sudut *pitch* maupun grafik CP dan TSR menunjukkan bahwa masih bisa terjadi peningkatan. Dengan ini diharapkan data yang diperoleh semakin akurat dan dapat memperkuat kesimpulan yang sudah ada.

### DAFTAR PUSTAKA

- Afifuddin, Moch. Arif. 2009. *Studi Experimental Performansi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) dengan Variasi Desain Turbine*. Surabaya. Teknik Fisika-FTI-ITS.
- Anonim. *Airfoil Investigation Database*. <http://www.worldofkrauss.com/>, diakses 13 Desember 2012.
- Anwar, Moh. Saiful. 2008. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin pada Stasiun Pengisian Accu Mobil Listrik*. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

- Beri, Habtanu and Yingxue Yao. 2011. *Effect of Chamber Airfoil on Self Starting of Vertical Axis Wind Turbine*. Journal of environmental Science and Technology 4 (3): 302-312. Harbin Institute of atechnology, China.
- Cooper, Paul and Oliver Kennedy. 2002. *Development and Analysis of a Novel Vertical Axis Wind Turbine*. University of Wollongong, Wollongong, Australia.
- Daryanto, 2007, *Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG-UPT-LAGG, Yogyakarta, 5 April
- Fiedler, Andrzej J. 2009. *The effects of Blade Pitch and Mount Point Offset on Vertical Axis Wind Turbine Performance*. McMaster University.
- Fiedler, Andrzej J. & Stephen Tullis. 2009. *Blade Offset and Pitch Effects on a High Solidity Vertical Axis Wind Turbine*. Department of Mechanical Engineering, McMaster University.
- Herlamba S., Indra. 2007. *Mesin Konversi Energi*. Surabaya: Unipress.
- Hermawan. 2010. *Unjuk Kerja Model Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Dengan Variasi Jumlah Sudu Dan Variasi Posisi Sudut Turbin*. Univesitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Karwono. 2008. *Pengaruh Perubahan Overlap Sudu terhadap Torsi yang Dihasilkan Turbin Savonius Tipe U*.
- Marco Raciti Castelli, Stefano De Betta & Ernesto Benini. *Effect of Blade Number on a Straight-Bladed Vertical-Axis Darrieus Wind Turbine*. 2012. Engineering and Technology, World Academy of Science.
- Sukamto. 2012. *Karakteristik Turbin Angin Vertical Axis Profil NACA 0018 dengan 3 Blade Berbantuan Guide Vane*. Universitas Negeri Surabaya.
- Supadi H.S, dkk. 2010. *Panduan Penulisan Skripsi Program SI*. Universitas Negeri Surabaya.
- Tony Burton, dkk. 2001. *Wind Energy Handbook*. John Wiley & Sons.