

**[KE-01] Kinerja Kincir Angin  
Sumbu Vertikal dengan Model  
Sudu Bengkok 90°  
Untuk Variasi Jumlah Sudu (2, 3,  
dan 4 sudu)**

Luther Sule<sup>1\*</sup>, Frans Robert Bethoni<sup>2</sup>,  
Gerald Dum<sup>3</sup>

<sup>13</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas  
Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin

Universitas Kristen Indonesia Toraja

\*E-mail:[luther.sule@yahoo.co.id](mailto:luther.sule@yahoo.co.id)

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk merancang kincir angin sumbu vertikal yang dapat memanfaatkan energi angin secara maksimal. Penelitian ini dilakukan dengan merancang dan menguji kincir angin sumbu vertikal tipe sudu bengkok 90° yang terdiri dari 2,3 dan 4 sudu dengan kecepatan angin yang berbeda untuk setiap jenis kincir yaitu dari 1,6 m/s sampai 4,2 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° mampu memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik dengan koefisien power ( $C_p$ ) maksimal yaitu untuk 2 sudu  $C_p = 0,28$  pada kecepatan angin 3,4 m/s. Untuk kincir angin 3 sudu  $C_p = 0,40$  pada kecepatan angin 2,2 m/s. Dan Untuk kincir angin 4 sudu  $C_p = 0,25$  pada kecepatan angin 2,4 m/s. Ketiga kincir tersebut mengalami penurunan koefisien power seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s. Hasil pengujian dan analisis perhitungan menunjukkan bahwa kincir angin dengan sudu 3 mempunyai unjuk kerja yang tinggi dibandingkan dengan kincir dengan 2 sudu dan 4 sudu hal ini karena posisi sudu yang tidak simetris menjadikan gaya hambat negatif relatif kecil dan jarak antara sudu yang

satu dengan lainnya terhadap poros sudu kincir mempunyai kerenggangan yang menjadikan aliran dapat mengalir dan menersudu lainnya dan ini akan meningkatkan gaya momen pada sudu sehingga aliran turbulensi yang padkincir sudu relatif kecil.

**Kata kunci:** kincir angin, tipe sudu bengkok 90°, jumlah sudu, koefisien power.

**Abstract**

*This study aims to design a vertical axis windmill that can utilize wind energy optimally. This research was conducted by designing and testing a vertical axis windmill with a bent blade type of 90° consisting of 2,3 and 4 blades with different wind speeds for each type of turbine, from 1.6 m/s to 4.2 m/s. The results showed that the vertical axis windmill with 90° blade type was able to convert wind energy into electrical energy with a maximum power coefficient ( $C_p$ ) for 2 blades  $C_p = 0.28$  at a wind speed of 3.4 m/s. For a 3 blade windmill,  $C_p = 0.40$  at a wind speed of 2.2 m/s. And for a 4-blade windmill,  $C_p = 0.25$  at a wind speed of 2.4 m/s. The three windmills experienced a decrease in the coefficient of power along with the increase in wind speed up to a wind speed of 4.2 m/s. The test results and calculation analysis show that the windmill with 3 blades has high performance compared to turbines with 2 and 4 blades, this is because the asymmetrical position of the blades makes the negative drag force relatively small and the distance between the blades is one with the other to the axis. The blades of the blades have a slack that allows the flow to flow and other blades and this will increase the moment force on the blades so that the turbulent flow in the blade turbines is relatively small.*

**Keywords:** *windmill, 90° bent blade type, number of blades, power coefficient.*

## I. PENDAHULUAN

Manusia telah menggunakan energi angin selama 5.500 tahun lamanya dan seiring perkembangan zaman, energi angin terus digali potensinya. Saat ini, potensi energi angin banyak menyita perhatian peneliti yaitu dengan wujud nyata pemanfaatan energi di era pemanasan global berupa turbin dan kincir angin.

Potensi energi angin di Indonesia berdasarkan data BMKG yaitu rata-rata kecepatan angin di Indonesia 10,28 m/s (Sumber: [www.bmkg.go.id](http://www.bmkg.go.id)). Oleh karena itu diperlukan sistem konversi energi angin (SKEA) yang sesuai dengan profil kecepatan angin di Indonesia.

Untuk memanfaatkan Energi angin tersebut digunakan kincir angin yang saat ini banyak digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Kincir angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Prinsip dasar kerja dari kincir angin untuk pembangkitan listrik adalah mengubah energi mekanik dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator yang akan menghasilkan listrik.

Salah satu jenis kincir angin adalah kincir Angin Sumbu Vertikal memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah kincir tidak harus diarahkan ke angin untuk menghasilkan

energi listrik. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. Kincir angin sumbu vertikal mampu memanfaatkan angin dari berbagai arah serta memiliki kemampuan *self-starting* yang bagus, sehingga hanya membutuhkan angin dengan kecepatan rendah untuk dapat memutar rotor dari turbin angin ini. Selain itu, torsi yang dihasilkan kincir angin jenis sumbu vertical relative tinggi.

Penelitian ini difokuskan pada kincir angin sumbu vertikal karena kincir angin ini dapat bekerja dengan baik dengan profil kecepatan angin di Indonesia yang rendah dan fluktuatif. Efisiensi kincir angin sumbu vertikal memang cukup rendah apabila dibandingkan dengan kincir angin lainnya, namun jenis VAWT ini memiliki beberapa keunggulan antara lain pabrikasi yang sederhana, dapat menerima angin dari segala arah dan tidak memerlukan komponen perlindungan terhadap kecepatan putar tinggi (*overspeed rotation*). Selain itu juga memiliki starting torsi yang baik dan kemampuan self-start yang baik untuk kecepatan angin yang rendah sehingga memiliki performansi yang baik untuk pembangkitan skala kecil.

Untuk mendapatkan efisiensi yang baik, telah dilakukan beberapa jenis modifikasi yang diantaranya adalah penambahan *fin*, modifikasi pada geometri dan bentuk profil sudu, penambahan jumlah stage, penggunaan valve, dan lain sebagainya.

Dalam penelitian ini digunakan kincir angin sumbu vertikal dengan

pengembangan bentuk sudu menjadi tipe sudu bengkok 90°.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen, yaitu dengan melakukan pengamatan atau pengukuran terhadap variabel yang ditentukan untuk mengetahui kemampuan kerja kincir angin sumbu vertical tipe sudu bengkok 90 ° dengan memvariasikan jumlah sudu yaitu 2, 3 dan 4.

### 2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Universitas Hasanuddin Makassar pada April – Mei 2020 dengan perancangan kincir angin sumbu vertical tipe sudu bengkok 90° yang dikerjakan di bengkel Gowa.

### 2.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tiga macam variabel yaitu variabel bebas, terikat dan variabel kontrol.

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variasi perlakuan yang diberikan pada kincir angin dimana pada penelitian ini adalah variabel bebasnya adalah variasi kecepatan angin dari 1,6 m/s sampai 4,2 m/s dan variasi jumlah sudu yaitu 2, 3, 4.

#### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel hasil, untuk penelitian ini variabel terikatnya adalah:

- a) Daya Poros dari kincir angin sumbu vertical tipe sudu 90°
- b) Torsi Yang dihasilkan kincir angin sumbu vertical tipe sudu 90°
- c) Efisiensi yang di dapatkan

### 2.4. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan pengukuran kecepatan angin menggunakan Anemometer dimana kecepatan angin di ukur dari blower untuk setiap percobaan dari 1,6 m/s sampai 4,2 m/s, Tachometer yang digunakan untuk mengukur putaran poros tiap menit (rpm) untuk setiap percobaan dengan kecepatan angin yang berbeda, dan pengukuran daya keluaran generator dengan menggunakan multimeter dimana yang terukur adalah arus dan tegangan DC.

### 2.5. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Anemometer*, *Tachometer*, *blower* (kipas angin), timbangan, mesin bor, bor tangan, pemotong plat, gergaji, gurinda tangan, kikir, obeng, tang, amplas, dan alat perkakas bengkel lainnya yang dibutuhkan.

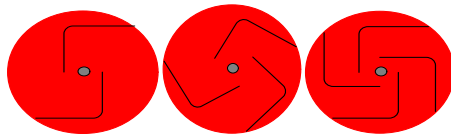
Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tripleks ukuran 0,5 mm, lem kayu, bearing diameter dalam 10 mm, poros diameter 10 mm, rangka/dudukan dan dempul.

### 2.6. Prosedur Kerja

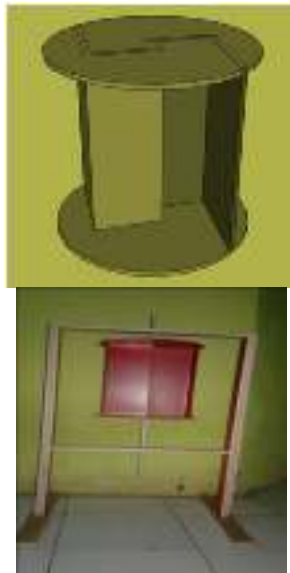
#### 1. Tahap Persiapan

- a. Menyiapkan alat dan bahan penelitian yang akan digunakan Menyusun /membuat rangkaian kincir angin savonius sudu lengkung

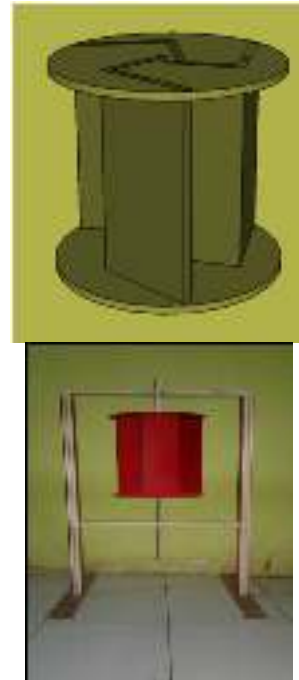
- b. Menyiapkan variasi sudut lengkung 2, 3 dan 4.
- c. Menyusun rangkaian kincir angin savonius tipe lengkung dengan variasi sudut 2, 3 dan 4.
- d. Perancangan kincir angin savonius tipe lengkung dengan variasi sudut 2,3 dan 4.



**Gambar 1. Model Kincir Angin sumbu vertical tipe sudut bengkok 90° dengan 2, 3 dan 4 sudut**



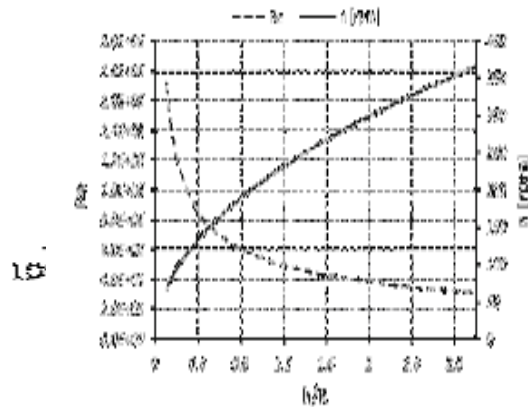
**Gambar 2. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudut 90° 2 sudut**



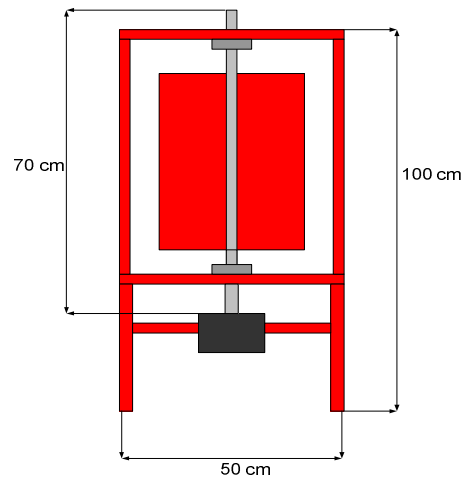
**Gambar 3. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudut 90° 3 sudut**



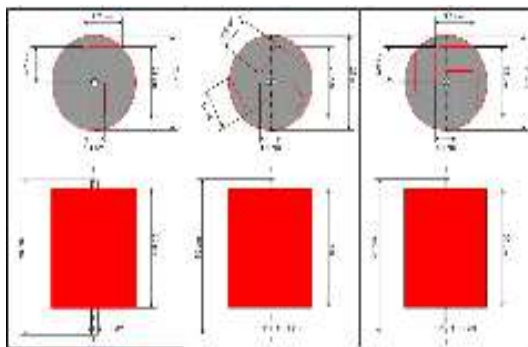
**Gambar 4. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudut 90° 4 sudut**



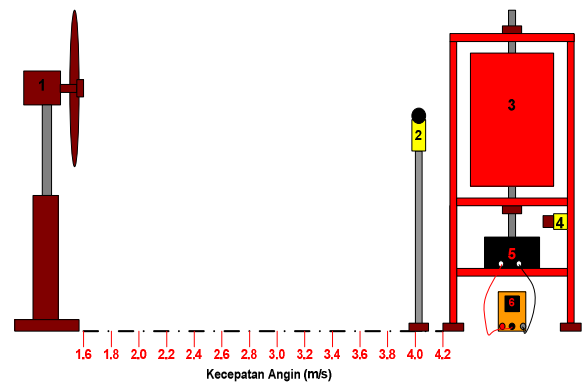
**Gambar 5. Pengaruh aspek rasio ( $h / R$ ) = 2,8 pada kinerja VAWT**



**Gambar 7. Dimensi Rangka dan poros Kincir Angin Savonius kelengkungan 90°**



**Gambar 6. Dimensi Model Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu 90° dengan 2,3,4 sudu**



**Gambar 8. Desain penelitian**

Keterangan:

1. Kipas angin
2. Anemometer
3. Kincir Angin kelengkungan 90°
4. Tachometer
5. Generator DC
6. Multimeter



Gambar 9. Rangkaian penelitian

### 2.7. Tahap Percobaan

- a. Menghidupkan *blower* (kipas angin)
- b. Mengatur kecepatan angin pada *blower* (kipas angin)
- c. Pengukuran putaran poros kincir angin dengan digital *tachometer*, penangkap *Sensor tachometer* dipasang pada poros kincir angin tepatnya di bawah puli dan mencatat hasilnya.
- d. Pengukuran kecepatan angin menggunakan *anemometer* langsung dipegang oleh penguji yang mengambil posisi berdekatan perangkat alat uji tetapi tidak menghalangi aliran angin ke

sudukincir angin dan mencatat hasilnya

- e. Pengukuran tegangan dan arus keluaran generator DC dengan menggunakan multimeter
- f. Melakukan pengujian untuk setiap sudu yang berbeda yaitu 2, 3 dan 4 sudu.

### 2.8. Teknik Pengolahan Analisis Data

Teknik pengolahan data dilakukan dengan model penyajian seperti dalam bentuk tabel dan grafik, dimana data dihitung menggunakan rumus.

### 2.9. Performasi Rotor Kincir Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

Beberapa peneliti telah banyak melakukan pengujian dan pengembangan untuk meningkatkan performasi rotor Savonius. Ada beberapa parameter yang menentukan performasi dari rotor Savonius, diantaranya adalah:

1. Rasio overlap (*overlap ratio*)
2. Aspek rasio (*aspect ratio*)
3. Jumlah *bucket*
4. Tingkatan *bucket*

Menurut Budi dan Mukhtar, karakteristik teoritis kincir angin savonius dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini:

a. Daya angin

Daya yang dihasilkan dari konversi energi angin oleh kincir angin sebanding dengan pangkat tiga kecepatan angin. Adapun daya yang dihasilkan kincir angin dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

- $P_A$  = daya angin (watt)
- $\rho$  = densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )
- $A$  = luas penampang turbin ( $\text{m}^2$ )
- $v$  = kecepatan udara (m/s)

b. Pengujian Daya Generator

Sebagaimana telah disebutkan, bahwa shaft dari turbin angin akan dikoneksikan dengan generator DC untuk dapat diukur tegangan yang dihasilkan dan menghitung daya yang dihasilkan dengan persamaan

$$P_{\text{generator}} = V \times I \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- $P_{\text{generator}}$  = Daya generator listrik (Watt)
- $V$  = Tegangan generator listrik (Volt)
- $I$  = Arus listrik (Ampere)

c. Brake horse power (BHP)

$$\text{BHP} = \frac{P_{\text{generator}}}{\eta_{\text{generator}}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- BHP = Brake Horse Power (W)
- $P_{\text{generator}}$  = Daya generator listrik (W)
- $\eta_{\text{generator}}$  = Efisiensi generator listrik(%)

d. Torsi (T)

$$T = \frac{\text{BHP}}{2\pi n/60} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- $T$  = Torsi (Nm)
- BHP = Brake Horse Power (Watt)
- $N$  = Putaran Poros (rpm)

e. Tip Speed Ratio (TSR)

Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan ujung vane dengan kecepatan angin yang melewatinya. TSR

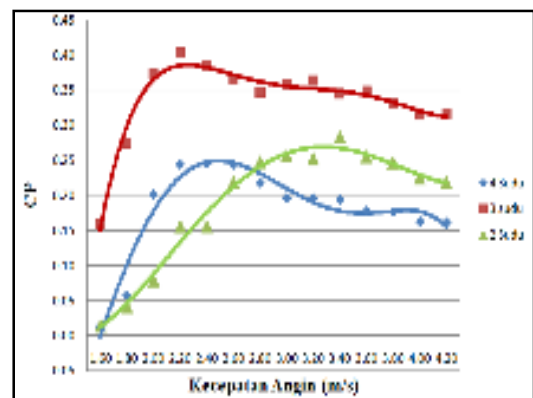
merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan hubungan antara kecepatan angin dengan rata-rata putaran dari kincir angin. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah-ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Turbin angin tipe lift memiliki TSR yang lebih besar dibanding dengan turbin angin tipe drag. Adapun persamaan untuk memperoleh harga besaran ini adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega.R}{v_w} \dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- $\lambda$  = tip speed ratio
- $\omega$  = kecepatan sudut turbin (rad/s)
- $R$  = jari-jari turbin (m)
- $v_w$  = kecepatan angin (m/s)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 10. Grafik hubungan antara Kecepatan angin terhadap Koefisien Daya

Dari gambar 10 dapat kita lihat hubungan antara kecepatan angin terhadap koefisien power, dimana semakin meningkatnya kecepatan angin maka kenaikan BHP semakin besar. Hal ini dikarenakan koefisien power merupakan perbandingan



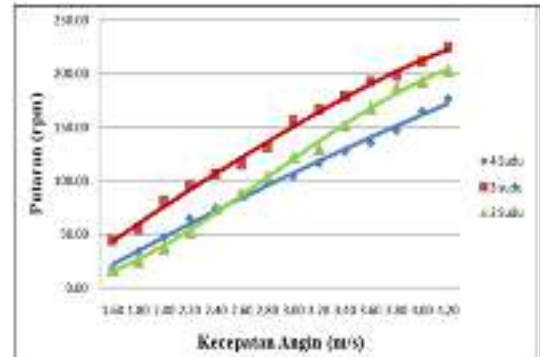
antara BHP dengan daya angin. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut yaitu

$$C_p = \frac{BHP}{P_{Angin}}$$

Pada gambar 10 Dapat kita lihat bahwa pada kincir dengan 3 sudu mempunyai nilai koefisien power yang lebih tinggi dibandingkan dengan kincir 2 sudu dan 4 sudu. Untuk kincir angin 2 sudu koefisien power optimum diperoleh adalah 0,28 pada kecepatan angin 3,4 m/s dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s.

Untuk kincir angin 3 sudu koefisien power optimum yang diperoleh adalah 0,40 pada kecepatan angin 2,2 m/s dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s. Dan Untuk kincir angin 4 sudu koefisien power optimum yang diperoleh adalah 0,25 pada kecepatan angin 2,4 m/s dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s.

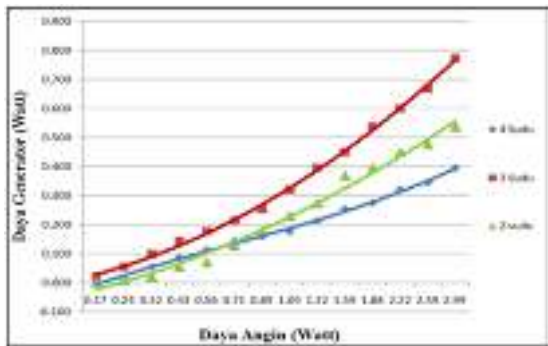
Terjadinya penurunan koefisien energy dikarenakan, kenaikan daya poros yang tidak sebanding dengan daya angin yang semakin besar, semakin tinggi kecepatan angin maka losses yang terjadi juga akan semakin besar yang mengakibatkan nilai koefisien power yang dihasilkan juga semakin menurun.



**Gambar 11. Grafik hubungan kecepatan angin dan Putaran Kincir angin**

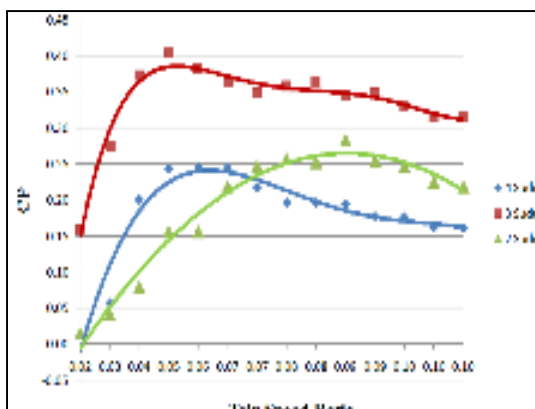
Dari Gambar 11. ditunjukkan bahwa kincir angin tipe sudu 90° dengan jumlah sudu 3, memiliki nilai Rpm yang lebih baik, dibandingkan dengan kincir angin dengan jumlah sudu 2 dan 4. Hal ini disebabkan karena pada kincir angin dengan jumlah sudu ganjil besarnya tumbukan angin terhadap returning blade lebih kecil sehingga menghasilkan torsi negative yang lebih kecil yang menyebabkan kincir dapat berputar secara maksimal. Pada kincir sudu genap kincir angin dengan 2 sudu memiliki nilai rpm yang lebih baik dari 4 sudu. Hal ini disebabkan karena jumlah sudu juga berpengaruh terhadap massa kincir dimana kincir dengan 4 sudu memiliki massa yang lebih besar sehingga nilai rpm nya lebih rendah dari pada kincir dengan 2 sudu.





Gambar 12. Grafik hubungan Daya Input (Kinetik Angin) dengan Daya Generator

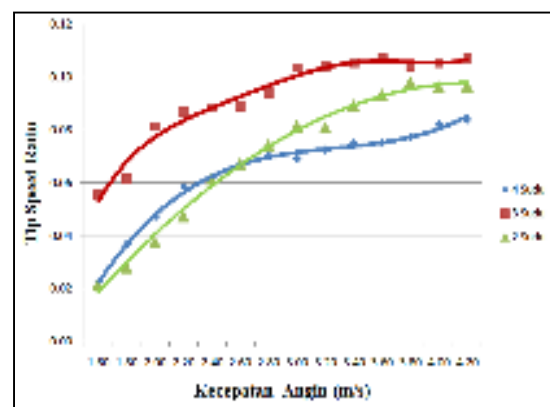
Dari Gambar 12. dapat diamati, bahwa kincir angin kelengkungan 90° dengan 3 sudu mampu mengekstraksi daya angin menjadi daya generator (*output*) lebih baik dibandingkan dengan kincir angin 2 dan 4 sudu. Hal ini dikarenakan kincir angin 3 sudu memiliki nilai rpm yang lebih tinggi dibandingkan dengan kincir 2 sudu dan 4 sudu. Dimana daya yang dapat di capai kincir angin kelengkungan 90° pada kecepatan 4,2 m/s (daya angin 2,99 Watt) adalah untuk 2 sudu daya keluaran generator = 0,537 Watt, untuk 3 sudu daya keluaran generator = 0,774 watt dan untuk 4 sudu daya keluaran generator = 0,395 Watt.



Gambar 13. Grafik hubungan tip speed ratio dengan Cp

Dari Gambar 13. Dari hasil analisis data menunjukkan bahwa kincir angin dengan 3 sudu memiliki nilai koefisien power yang jauh lebih baik di bandingkan dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu. Hal ini dikarenakan kincir angin 3 sudu mamapu menagkap daya angin dengan baik hal ini disebabkan karena tumbukan angin terhadap returning blade jauh lebih kecil sehingga menghasilkan torsi negative yang jauh lebih kecil yang menyebabkan kincir 3 sudu dapat berputar secara maksimal dan menghasilkan daya output yang lebih besar di banding dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu.

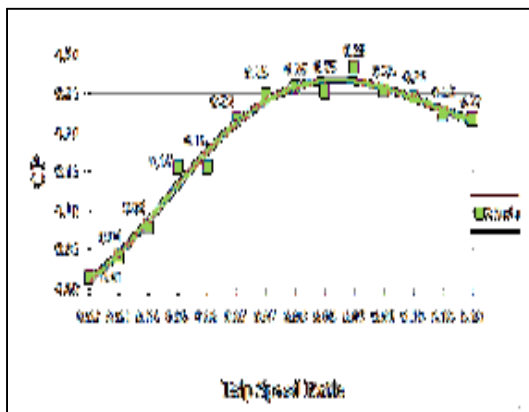
Dimana untuk 2 sudu koefisien power tertinggi = 0,28 pada kecepatan angin 3,4 m/s, untuk 3 sudu koefisien power tertinggi = 0,40 pada kecepatan 2,2 m/s dan untuk 4 sudu koefisien power tertinggi = 0,25 pada kecepatan 2,4 m/s.



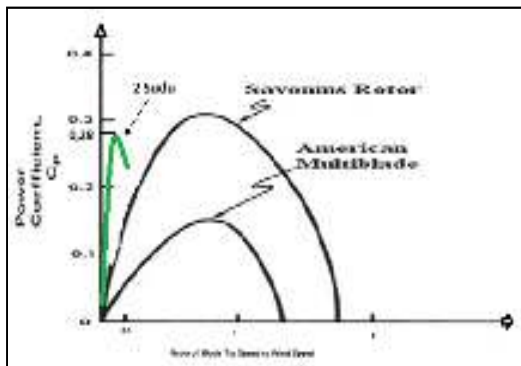
Gambar 14. Grafik hubungan kecepatan Angin dan tip speed ratio

Pada Gambar 14 nilai TSR memiliki *trend* yang sama dengan Rpm. Karena, TSR dalam hal ini memberikan arti perbandingan kecepatan output (rotor)

dengan kecepatan input (angin) atau dengan kata lain TSR sebanding dengan Rpm. Semakin mendatarnya grafik nilai TSR pada kecepatan angin besar, disebabkan karena karakteristik savonius yang kurang mampu mengkonversi angin dengan kecepatan angin tinggi. Berdasarkan grafik dan data hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai TSR dari kincir angin 3 sudu jauh lebih baik di bandingkan dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu. Dimana untuk 2 sudu TSR tertinggi = 0,1, untuk 3 sudu TSR tertinggi = 0,11 dan untuk 4 sudu TSR tertinggi 0,8.



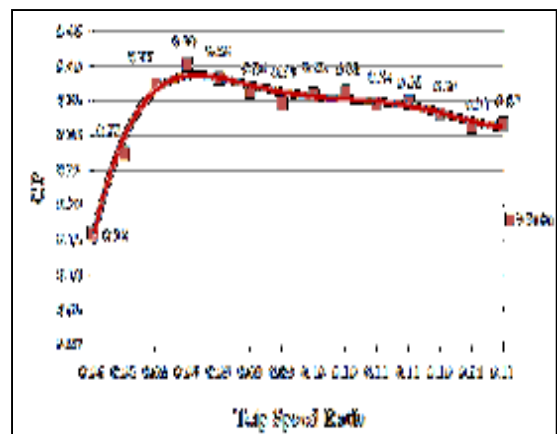
Gambar 15. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu



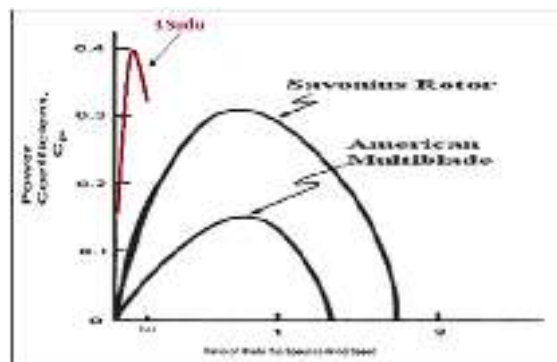
Gambar 16. Grafik Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe

**sudu 90° dua sudu , Kincir angin savonius dan kincir angin Amerika Multiblade**

Dari gambar 15 dan 16 dapat di simpulkan bahwa nilai koefisien power untuk kincir angin savonius jauh lebih baik dibandingkn dengan kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu dan kincir angin American Multiblade. Kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu nilai koefisien powernya lebih baik dari kincir angin American Multiblade. Tetapi nilai TSR kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° paling rendah dari kincir angin savonius dan kincir angin American Multiblade.



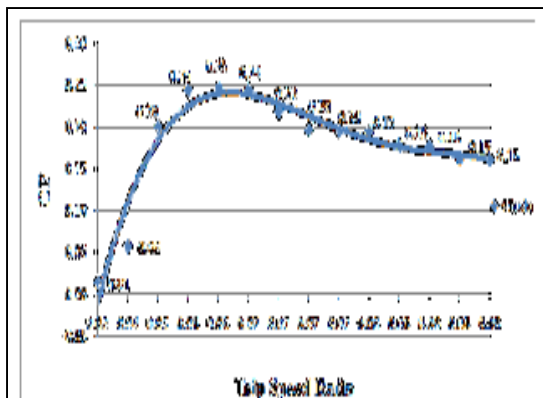
Gambar 17. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu



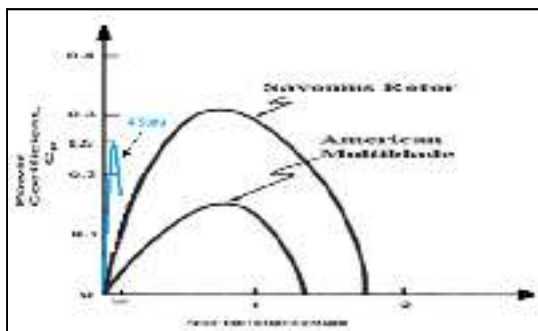
Gambar 18. Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir

**angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu, Kincir angin savonius dan kincir angin Amerika Multiblade**

Dari gambar 17 dan 18 dapat di simpulkan bahwa nilai koefisien power untuk kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu jauh lebih baik dibandingkan dengan kincir angin savonius dan kincir angin American Multiblade. Tetapi nilai TSR kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu paling rendah dari kincir angin savonius dan kincir angin American Multiblade.



**Gambar 19. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° empat sudu**



**Gambar 20. Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° empat sudu empat sudu , Kincir angin**

**savonius dan kincir angin Amerika Multiblade.**

Dari gambar 20 dapat di simpulkan bahwa nilai koefisien power untuk kincir angin savonius jauh lebih baik dibandingkan dengan kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° empat sudu dan kincir angin American Multiblade. Kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° nilai koefisien powernya lebih baik dari kincir angin American Multiblade. Tetapi nilai TSR kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° paling rendah dari kincir angin savonius dan kincir angin American Multiblade

**IV. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Rancangan kincirangin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu memiliki nilai koefisien power yang lebih baik dibandingkan dengan kincir angin savonius dan kincir angin American multiblade dn dapat digunakan pada kecepatan angin mulai dari 1m/s.
2. Desain dari kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dengan perbandingan aspek rasio  $(h / R) = 2,8$  mampu mencapai koefisien power yang lebih tinggi dibandingkan dengan kincir angin savonius dan kincir amerikan multiblade dimana kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu mampu mencapai koefisien power sekitar 0,4 diatas kincir angin savonius yang memiliki koefisien power sekitar 0,3.
3. Kincir Angin sumbu vertikal tipe sudu 90° mampu memanfaatkan energi

angin menjadi energi listrik dengan kemampuan maksimal yaitu untuk 2 sudu kemampuan maksimal nya yaitu 28% pada kecepatan angin 3,4 m/s, untuk 3 sudu kemampuan maksimal nya yaitu 40% pada kecepatan 2,2 m/s dan untuk 4 sudu kemampuan maksimal nya yaitu 25 % pada kecepatan angin 2,4 m/s dengan demikian bahwa 3 sudu memiliki kinerja yang jauh lebih baik di bandingkan dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada seluruh civitas akademik di Universitas Kristen Indonesia Toraja khususnya jurusan teknik mesin karena berkat dukungan prodi yang baik sehingga penulisan ini dapat terselesaikan dengan baik.

#### REFERENSI

- [1] Altan B.D. “*An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining*“. *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (1673–1678), 2008.
- [2] Bahri S.W., Taufan A.A., dan Hamdani. “*Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Empat Sudu Lengkung L*“. Universitas Samudra Langsa Kampus Meurandeh Langsa & Universitas Syiah Kuala, 2014. SNTMUT - 2014 ISBN: 978-602-70012-0-6.
- [3] Bayu, M., Rudy S., dan Djoko S. “*Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L*“. Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- [4] Dewi Marizka Lustia. “*Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin*“. Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 2010.
- [5] Golecha, K., Eldho, T.I., Prabhu, S.V.” *Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water turbine. Applied Energy*”.2011.
- [6] Haydarul H., Gunawan N. dan Ali M. “*Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Variasi Jumlah Blade Terintegrasi Circular Shield untuk Memperoleh Daya Maksimum*“. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 7, No. 7, (1-6) 2013.
- [7] Hendra A. “*Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius*“. Universitas Brawijaya, 2012.
- [8] Khan, M.J. “*Hydrokinetic Energi Conversion Systems And Assessment of Horizontal and Vertikal Axis Turbines for River and Tidal Applications: A Technology Status Review*” Power System Technologies, Canada, 2009.
- [9] Maolana I., dan Agus S. “*Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe*

- Drag Untuk Pompa Aerasi Kolam Ikan*". Politeknik Indramayu, 2012.
- [10] Melda L. "*Efisiensi Prototipe Turbin Savonius Pada Kecepatan Angin Rendah*". Padang: Universitas Andalas, 2013. *Jurnal Rekayasa Elektrika* Vol. 10, No. 3.
- [11] Rizkiani I., Kamiran, dan Subchan. "Analisis dan Simulasi Konversi Energi Angin Menjadi Energi Listrik Menggunakan Metode *Feedback Linearization Control*". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2012. *Jurnal Sains Dan Seni Its* Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012) Issn: 2301-928x.
- [12] Sargolzaei, J. "*Prediction of The Power Ratio in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks*". Zahedan: Baluchestan University, 2007. *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 1, No. 2.
- [13] Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N. "*Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius Dan Windside Untuk Penerangan Jaln Tol*". Bandung: ITB, 2007.
- [14] Soelaiman. "*Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius*". *Majalah Ilmiah STTR*, Cepu, 2006.
- [15] Sumiati R. "*Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang*". Padang: Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang Vol. 1, No. 1. 2012.
- [15] White, F.M. "*Mekanika Fluida, Jilid 2, Edisi Kedua*". Jakarta: Erlangga, 1986.