



## KINERJA KINCIR ANGIN SUMBU VERTIKAL DENGAN MODEL SUDU BENGKOK $90^{\circ}$ UNTUK VARIASI JUMLAH SUDU (2, 3, DAN 4 SUDU)

Luther Sule<sup>(1)</sup>, Petrus Sampelawang<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Departemen Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

<sup>(2)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja  
E-mail: [luther.sule@yahoo.co.id](mailto:luther.sule@yahoo.co.id)

### ABSTRACT

*This study aims to design a vertical axis wind turbine that can effectively harness the power of wind. This was performed by designing and testing a vertical axis wind turbine with 2, 3 and 4 blades bent at  $90^{\circ}$  angles in wind speeds between 1.6 m/s and 4.2 m/s for every type of wind turbine. The results show that 2-blade vertical axis wind turbines coefficient of power ( $C_p$ ) = 0.28 is most capable of converting wind power into electricity with wind speeds of 3.4 m/s and 3-blade wind turbines  $C_p$  = 0.40 in wind speeds of 2.2 m/s, and 4 blade wind turbines  $C_p$  = 0.25 performed best in wind speeds of 2.4 m/s. The  $C_p$  of all three wind turbines decreased as wind speeds increased to 4.2 m/s. The examination and calculation analysis results indicate that 3-blade wind turbines work more effectively than 2-blade and 4-blade wind turbines due to the asymmetric positioning creating a relatively small drag, and the distance between each blade and the shaft of the wind turbine creates a rift allowing for wind to flow which results in the blades hitting other. This increases the blades momentum leading to less turbulence for 3-blade wind turbines.*

**Keywords:** wind turbines, wind speeds, blades bent, blades momentum, number of blades, coefficient of power

### 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  $90^{\circ}$  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  $90^{\circ}$  mampu memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik dengan koefisien power 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 menerpa sudu lainnya dan ini akan meningkatkan gaya momen pada sudu sehingga aliran turbulensi yang terdapat pada kincir angin 3 sudu relatif kecil.*

**Kata kunci :** Kincir Angin , Tipe sudu bengkok  $90^{\circ}$  , Jumlah Sudu ,  $C_p$  (koefisien power)

### 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. (*Sampelawang & Pasae, 2019.*)

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 vertikal relatif 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 vertikal tipe sudu bengkok 90° dengan bervariasi 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 2018 dengan perancangan kincir angin sumbu vertikal 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 diukur 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.

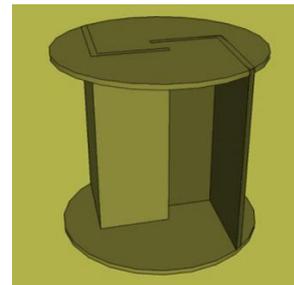
### 2.6 .Prosedur Kerja

#### 1. Tahap Persiapan

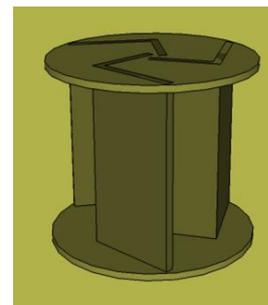
- Menyiapkan alat dan bahan penelitian yang akan digunakan
- Menyusun /membuat rangkaian kincir angin savonius sudu lengkung
- Menyiapkan variasi sudu lengkung 2, 3 dan 4.
- Menyusun rangkaian kincir angin savonius tipe lengkung dengan variasi sudu 2, 3 dan 4.
- Perancangan kincir angin savonius tipe lengkung dengan variasi sudu 2,3 dan 4.



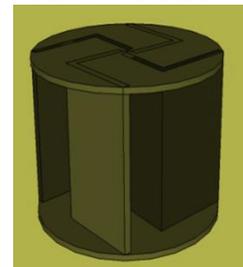
Gambar 2.1. Model Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu bengkok 90° dengan 2, 3 dan 4 sudu



Gambar 2.2. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu 90° 2 sudu

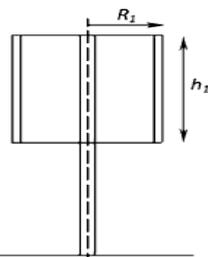
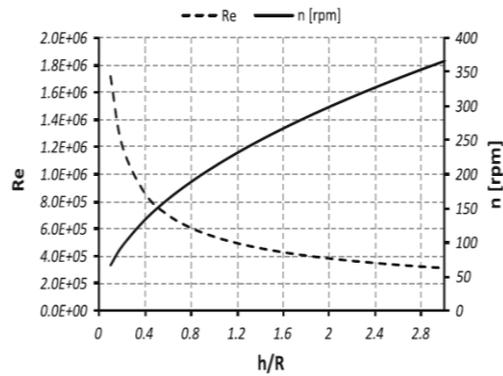


Gambar 2.3. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu 90° 3 sudu



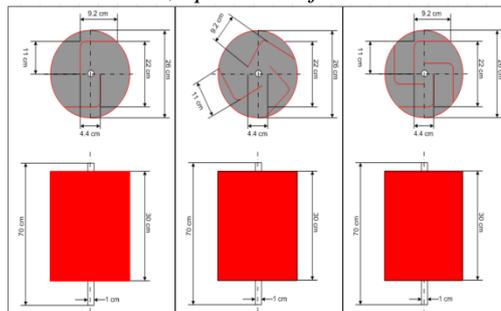


Gambar 2.4. Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu  $90^\circ$  4sudu

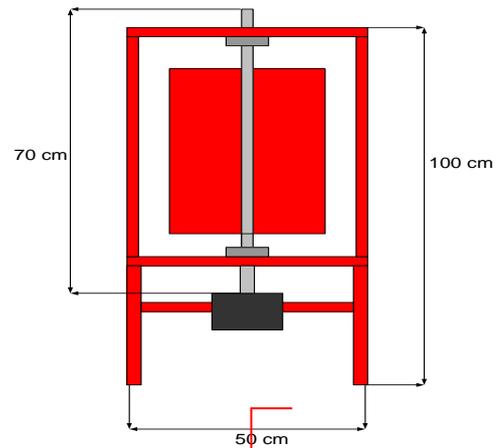


LOWER EFFICIENCY

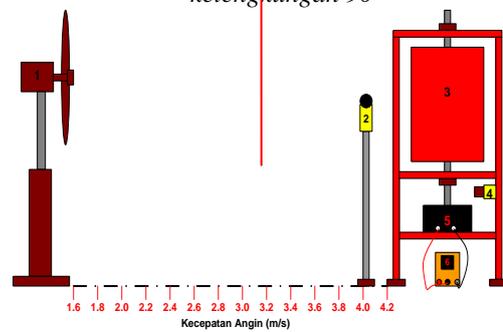
Gambar 2.5. Pengaruh aspek rasio ( $h / R$ ) = 2,8 pada kinerja VAWT



Gambar 2.6. Dimensi Model Kincir Angin sumbu vertical tipe sudu  $90^\circ$  dengan 2, 3 dan 4 sudu.



Gambar 2.7. Dimensi Rangka dan poros Kincir Angin Savonius kelengkungan  $90^\circ$



Gambar 2.8. Desain penelitian

**Keterangan:**

1. Kipas angin
2. Anemometer
3. Kincir Angin kelengkungan  $90^\circ$
4. Tachometer
5. Generator DC
6. Multimeter





Gambar 2.9. Rangkaian penelitian

## 2.7. Tahap Percobaan

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

- Rasio overlap (*overlap ratio*)
- Aspek rasio (*aspect ratio*)
- Jumlah *bucket*
- 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:

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Keterangan :  $P_A$  = daya angin (*watt*)

$\rho$  = densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  = luas penampang turbin ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan udara ( $\text{m/s}$ )

### 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  $P_{\text{generator}} = V \times I$

Keterangan:

$P_{\text{generator}}$  = Daya generator listrik (*Watt*)

$V$  = Tegangan generator listrik (*Volt*)

$I$  = Arus listrik (*Ampere*)

### c. Brake horse power (BHP)

$$\text{BHP} = \frac{P_{\text{generator}}}{\eta_{\text{generator}}}$$

Keterangan:

$\text{BHP}$  = *Brake Horse Power* (*watt*)

$P_{\text{generator}}$  = Daya generator listrik (*watt*)

$\eta_{\text{generator}}$  = Efisiensi generator listrik (%)

### d. Torsi (T)

$$T = \frac{\text{BHP}}{2\pi n/60}$$

Keterangan :

$T$  = Torsi (*Nm*)

$\text{BHP}$  = *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:

$$\lambda = \frac{\omega.R}{v_w}$$

Keterangan :

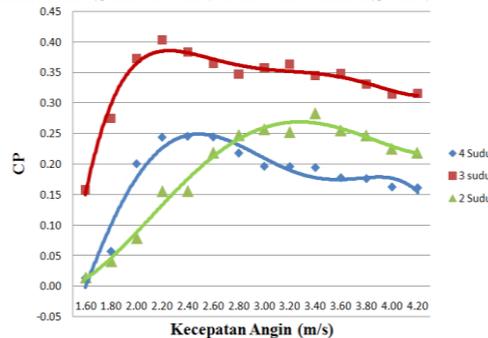
$\lambda$  =tip speed ratio

$\omega$  =kecepatan sudut turbin (rad/s)

$R$  =jari-jari turbin (m)

$v_w$  =kecepatan angin (m/s)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3.1. Grafik hubungan antara Kecepatan angin terhadap koefisien daya

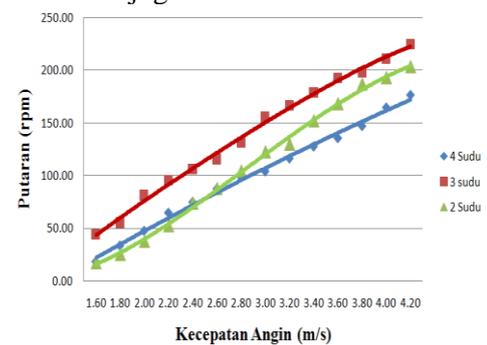
Dari gambar 3.1. dapat dilihat hubungan antara kecepatan angin terhadap koefisien power, dimana semakin meningkatnya kecepatan angin maka kenaikan BHP semakin besar. Hal ini dikarenakan koefisien power merupakan perbandingan antara BHP dengan daya angin. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut yaitu  $C_p = \frac{BHP}{P_{Angin}}$ .

Pada 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

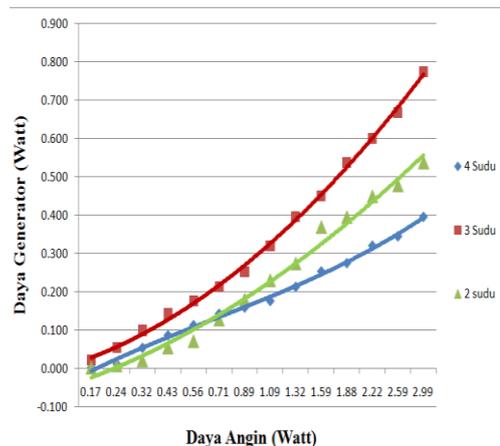
0,25 pada kecepatan angin 2,4 m/s dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin sampai pada kecepatan angin 4,2 m/s.

Terjadinya penurunan koefisien energi 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.



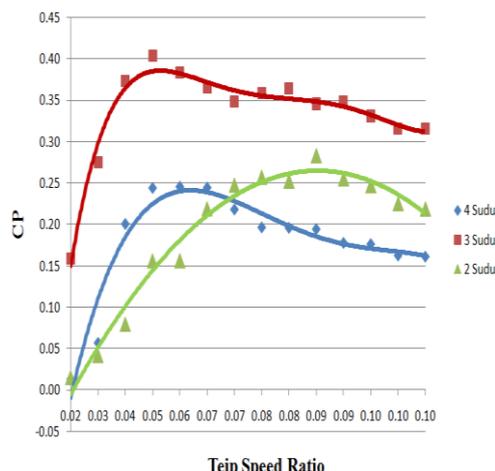
Gambar 3.2. Hubungan kecepatan angin dan putaran kincir angin

Dari Gambar 3.2. 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 di sebabkan karena pada kincir angin dengan jumlah sudu ganjil besarnya tumbukan angin terhadap returning blade lebih kecil sehingga menghasilkan torsi negatif 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 di sebabkan 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 3.3..Hubungan Daya Input (Kinetik Angin) dengan Daya Generator

Dari Gambar 3.3. dapat diamati, bahwa kincir angin kelengkungan  $90^\circ$  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  $90^\circ$  pada kecepatan 4,2 m/s (daya angin 2,99 watt ) adalah untuk 2 sudu daya keluaran generator = 0,537 Watt dengan, untuk 3 sudu daya keluran generator = 0,774 watt dan untuk 4 sudu daya keluaran generator = 0,395 watt.

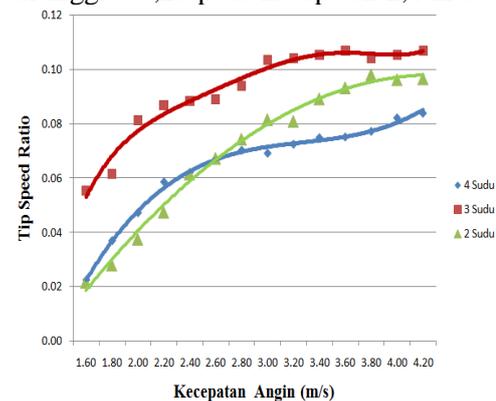


Gambar 3.4. Grafik hubungan tip speed ratio dengan Cp

Dari Gambar 3.4. 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 negatif 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.

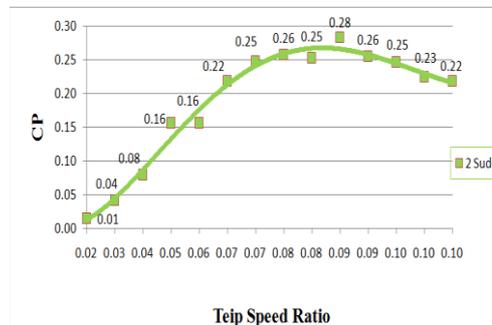
Dimana untuk 2 sudu koefisien power tertinggi = 0,28 pada kecepatan angin 3,4 m/s , untuk 3 sudu koefisien power tertinggi = 0,40 pada kecepatan 2,2 m/s dan untuk 4 sudu koefisien power tertinggi = 0,25 pada kecepatan 2,4 m/s.



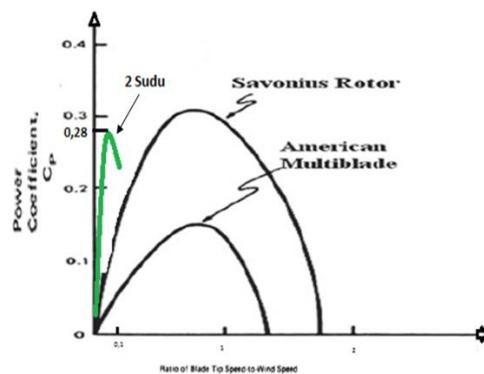
Gambar 3.5. Grafik hubungan kecepatan Angin dan tip speed ratio

Pada Gambar 3.5. 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.

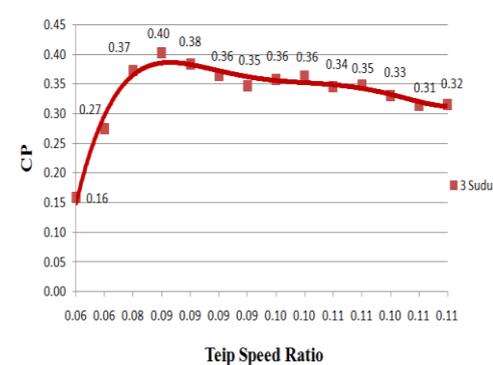


Gambar 3.6. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu

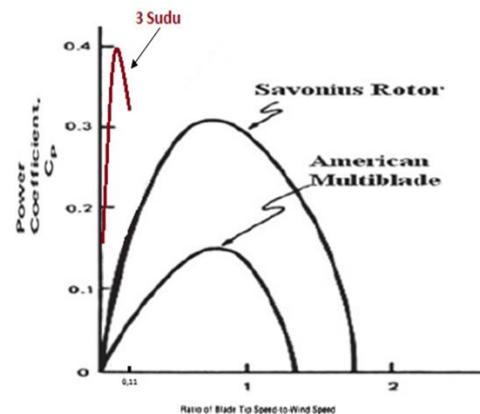


Gambar 3.7. Grafik Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° dua sudu, Kincir angin savonius dan kincir angin Amerika multiblade

Dari gambar 3.6 dan 3.7 dapat disimpulkan 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.

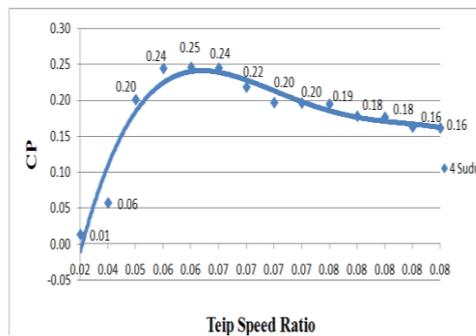


Gambar 3.8. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu

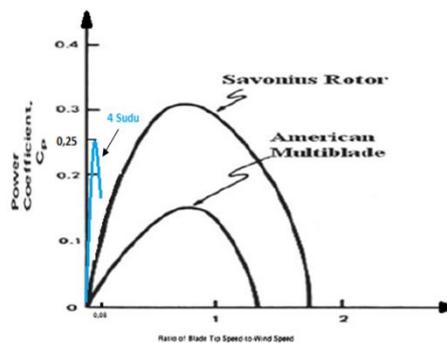


Gambar 3.9. Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan Cp pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu, Kincir angin savonius dan kincir angin Amerika multiblade

Dari gambar 3.8. dan gambar 3.9. dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien power untuk kincir angin sumbu vertikal tipe sudu 90° tiga sudu jauh lebih baik dibandingkn 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 3.10. Grafik Hubungan tip speed ratio dengan  $C_p$  pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu  $90^\circ$  empat sudu



Gambar 3.11. Perbandingan Hubungan tip speed ratio dengan  $C_p$  pada kincir angin sumbu vertikal tipe sudu  $90^\circ$  empat sudu, Kincir angin savonius dan kincir angin Amerika Multiblade

Dari gambar 3.11. dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien power untuk kincir angin savonius jauh lebih baik dibandingkan dengan kincir angin sumbu vertikal tipe sudu  $90^\circ$  empat sudu dan kincir angin American multiblade. Kincir angin sumbu vertikal tipe sudu  $90^\circ$  nilai koefisien powernya lebih baik dari kincir angin American Multiblade. Tetapi nilai TSR kincir angin sumbu vertikal tipe sudu  $90^\circ$  paling rendah dari kincir angin savonius dan kincir angin American multiblade

#### IV. KESIMPULAN

1. Rancangan kincir angin sumbu vertikal tipe sudu  $90^\circ$  tiga sudu memiliki nilai koefisien power yang lebih baik dibandingkan dengan kincir angin savonius dan kincir angin American

multiblade dan dapat digunakan pada kecepatan angin mulai dari 1 m/s.

2. Desain dari kincir angin sumbu vertikal tipe sudu  $90^\circ$  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  $90^\circ$  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  $90^\circ$  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 dibandingkan dengan kincir angin 2 sudu dan 4 sudu.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- Altan Burcin Deda. "An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining". *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (1673–1678), 2008.
- Bahri Syamsul W. Taufan Arif Adlie. 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.
- Bayu Mahendra, Rudy Soenoko, Djoko Sutikno. "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L". Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- Dewi Marizka Lustia. "Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk



- Optimasi Kinerja Turbin*". Surakarta : Universitas Sebelas Maret, 2010.
- Golecha, K., Eldho, T.I., Prabhu, S.V. "Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water turbine. *Applied Energy*". 2011.
- Haydarul Haqqqi. Gunawan Nugroho & Ali Musyafa. "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.
- Hendra A. "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius". Universitas Brawijaya, 2012.
- 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.
- Maolana Imam, Agus Sifa. "Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Drag Untuk Pompa Aerasi Kolam Ikan". Politeknik Indramayu, 2012.
- Melda Latif. "Efisiensi Prototipe Turbin Savonius Pada Kecepatan Angin Rendah". Padang : Universitas Andalas, 2013. *Jurnal Rekayasa Elektrika* Vol. 10, No. 3.
- Rizkiani Isti, Kamiran, & 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.
- Sampelawang, P., & Pasae, N. (2019.). *Kinerja Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Air Malea Di Desa Randan Batu Kecamatan Makale Selatan Kabupaten Tana Toraja*.
- 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.
- Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., Rosidin, N. "Perancangan, Pembuatan Dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius Dan Windside Untuk Penerangan Jaln Tol". Bandung: ITB, 2007.
- Soelaiman. "Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius". *Majalah Ilmiah STTR*, Cepu, 2006.
- Sumiati Ruzita. "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.
- White F.M."Mekanika Fluida, Jilid 2, Edisi Kedua". Jakarta : Erlangga, 1986.