

Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Dengan Poros Vertikal

CORIANNISAA^a, SARIPA^{a*}^aSekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu, Jl. Kampus Ronggolawe Blok B/I Mentul Cepu Blora Jawa Tengah*Email: hidayatullohsarip566@gmail.com**Tentang naskah:**

-diterima, 30 Apr. 2021
-direview, 03 Mei 2021
-diterbitkan, 04 Mei. 2021

Kata kunci:

Jumlah Sudu, Kinerja,
Poros Vertikal

Intisari

Turbin angin merupakan salah satu mesin konversi energi yang berfungsi untuk merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik putaran sudu Turbin. Turbin angin savonius cocok untuk diterapkan di negara Indonesia yang memiliki letak geografis pegunungan. Secara umum turbin angin savonius hanya memanfaatkan gaya dorong dari angin, sehingga semakin besar gaya dorong, maka koefisien daya turbin angin juga semakin meningkat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah memvariasikan jumlah sudu (2, 4, dan 6) buah dengan variabel bebas kecepatan angin sebesar 4m/s dan 5 m/s. Sedangkan variabel terikatnya adalah Daya angin, Daya generator, Torsi, Daya rotor, TSR dan Koefisien Daya. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa turbin angin poros vertikal dengan jumlah sudu yang lebih banyak mempunyai kinerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu yang lebih sedikit. Koefisien Daya (Cp) turbin angin poros vertikal pada kondisi angin dilapangan, mengalami peningkatan untuk setiap penambahan jumlah sudunya pada kecepatan angin 4 m/s didapatkan nilai Cp sebesar 0,935% , 1,118% dan 1,443%. Sedangkan pada kecepatan angin 5 m/s didapatkan nilai Cp sebesar 0,562% , 0,676% dan 0,832%. Hasil koefisien daya (Cp) tersebut menunjukkan bahwa semakin meningkatnya jumlah sudu turbin maka nilai koefisien daya juga semakin meningkat berarti jumlah sudu berpengaruh terhadap Kinerja Turbin angin poros vertikal.

Abstract

The wind turbine is an energy conversion machine that functions to convert wind kinetic energy into mechanical energy for the turbine blade rotation. Savonius wind turbines are suitable for application in Indonesia which has a geographic location. In general, the savonius wind turbine only utilizes the thrust from the wind, so that the greater the thrust, the wind turbine power coefficient also increases. The method used in this study was to vary the number of blades (2, 4, and 6) with the independent variable wind speed of 4 m / s and 5 m / s. While the dependent variable is wind power, generator power, torque, rotor power, TSR and power coefficient. The results in this study indicate that the vertical shaft wind turbine with a higher number of blades has a higher performance than the smaller number of blades. The coefficient of power (Cp) of vertical shaft wind turbines in field wind conditions has increased for each additional number of blades at a wind speed of 4 m / s, getting Cp values of 0.935%, 1.118%, and 1.443%. Whereas at a wind speed of 5 m / s, the Cp value is 0.562%, 0.676% and 0.832%. The results of the power coefficient (Cp) show that the search for the number of turbine blades, the value of the power coefficient also increases, which means that the number of blades has an effect on the performance of the vertical shaft wind turbine.

Keyword:

Number of blade, Performance,
Vertical shaft

1. Pendahuluan

Pengembangan energi alternatif baru dan terbarukan sedang digalakkan melalui kebijakan-kebijakan pemerintah untuk mendorong dan memfasilitasi pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan (hydro, matahari, panas bumi, biomassa dan angin). Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel.(Daryanto,2007)

Angin merupakan salah satu dari

sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan sehingga sangat potensial untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan energi bahan bakar minyak. Contoh nyata kemajuan pesat dibidang *engineering* atau rekayasa ini adalah makin banyaknya penggunaan turbin angin. Turbin angin adalah kincir angin yang saat ini banyak digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi kinetik angin menjadi

energi mekanis pada sudu, sehingga dapat menggerakkan poros generator yang akan menghasilkan listrik. Unjuk kerja turbin angin dapat dilihat dari *break horse power*, torsi dan efisiensi yang dihasilkannya. (Andreas, 2014).

Turbin angin merupakan salah satu konstruksi yang cukup banyak digunakan di berbagai negara sebagai penghasil tenaga listrik. Turbin angin menghasilkan listrik dengan cara menangkap energi kinetik yang terdapat pada angin, dimana energi kinetik tersebut kemudian menyebabkan baling-baling berputar dan memutar *generator*. (Tullah dkk, 2014)

Salah satu jenis turbin angin adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). TASV memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan dari susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin untuk menghasilkan energi listrik, maka dari itu kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. (Sargolzei, 2007). Sudu merupakan suatu penampang yang menampung bentuk aliran udara yang dibuat untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong pada saat tertentu yang dimanfaatkan oleh turbin angin. Gaya dorong yang dihasilkan oleh sudu inilah yang kemudian dimanfaatkan menghasilkan torsi. (Dharma dan Masherni, 2016).

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jumlah sudu pada kinerja turbin angin sumbu vertikal, maka perlu dilakukan uji eksperimental dengan menggunakan sumber energi angin yang berasal dari kipas angin. Dengan memanfaatkan variasi jumlah sudu pada turbin angin, diharapkan dapat diketahui untuk variasi yang mana yang lebih bagus terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal.

2. Dasar Teori

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan dengan arah aliran angin dari tempat yang

memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah yang memiliki suhu rendah ke tempat yang bersuhu tinggi. Turbin angin adalah sebuah sistem yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik pada poros turbin tersebut (Sargolzaei, 2007).

Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin belum dapat langsung dipergunakan, oleh karena itu diperlukan mesin yang dapat mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga dapat diteruskan menjadi energi listrik. Alat ini dinamakan dengan turbin angin atau sering disebut juga dengan kincir angin. Penggunaan turbin angin sebagai pembangkit energi listrik diawali pada akhir tahun 1890-an. Turbin angin ini khusus didesain untuk pembangkit energi listrik dan dibangun di Denmark. Turbin angin ini menyuplai energi listrik untuk daerah pedesaan. Pada tahun 1900 dibangun turbin angin di Cleveland, Ohio yang untuk pertama kalinya menggunakan *gear box* yang berfungsi untuk menaikkan putaran. (Napitupulu, 2013).

Turbin angin merupakan komponen utama untuk mendapatkan semaksimal mungkin hembusan angin. Adapun komponen-komponen utama pada turbin angin, yaitu :

- Baling-baling (sudu), yang berfungsi mengubah hembusan angin menjadi energi kinetik menjadi energi gerak untuk memutar generator listrik.
- Poros, berfungsi untuk meneruskan tenaga (*power*) dari rotor turbin angin ke generator atau yang akan digerakkan.
- Generator listrik, yang berfungsi mengubah energi kinetik menjadi arus listrik, yang kemudian diteruskan ke *Controller*. Untuk skala kecil umumnya menggunakan generator listrik DC.
- Unit pengontrol (*Controller*), bagian ini berfungsi mengubah arus listrik AC menjadi arus listrik DC (jika menggunakan generator AC) dan mengontrol pengisian arus listrik ke dalam *battery* agar tidak merusak *battery* karena pengisian aki yang berlebihan (*over charging*).

Turbin angin dapat dibedakan berdasarkan arah sumbu rotasi rotor, yaitu :

1. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)
2. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

2.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu

rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin angin sumbu vertikal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu horizontal. Berikut adalah tipe-tipe dari kincir angin sumbu vertikal:

Turbin angin savonius

Turbin angin savonius pertama kali ditemukan oleh sigurd J Savonius yang berasal dari negara Finlandia sekitar tahun 1922. Savonius adalah salah satu jenis turbin angin dengan vertical axis yang mampu mengubah energi angin horizontal menjadi energi kinetik rotasi. Konstruksi turbin angin menggunakan sudu membentuk seperti huruf “S” yang diletakkan pada lingkaran batas sudu seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1



Gambar 2. Turbin Angin Savonius

Pada perkembangannya turbin angin savonius ini mengalami perubahan bentuk rotor, tipe turbin angin savonius dibawah ini, terlihat dari bagian atas yaitu :

- Savonius tipe U, desainnya sangat sederhana dan juga dapat dirancang dengan mudah sehingga desain savonius untuk tipe U ini sedikit lebih efisien daripada tipe yang lain karena beberapa aliran udara dibelokkan oleh kedua sudu lalu keluar pada salah satu sisinya sehingga aliran di kedua sisi bilah sama besar.
- Savonius tipe L, desain yang paling efisien dari turbin angin savonius. Pada turbin angin Savonius tipe L ini tidak hanya memiliki keunggulan dari udara yang dibelokkan menjadi 2 kali tetapi juga sebagian vanes bertindak seperti sebuah airfoil ketika berada di tepi, membuat efek angkat kecil sehingga meningkatkan efisiensi. Dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar1. Bentuk rotor turbin angin

2.2 Sistem Transmisi

Sistem transmisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem transmisi sabuk. Transmisi sabuk adalah sistem transmisi tenaga / daya puntir dari poros yang satu ke poros yang lain melalui sabuk (*belt*) yang melingkar / melilit pada pulley yang terpasang pada poros-poros tersebut. Sistem ini bertujuan untuk meneruskan daya dan putaran atau mempermudah kerja dari putaran turbin dalam mengoptimalkan daya yang dihasilkan generator.

2.3 Energi Angin (Pa)

Angin adalah udara bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tekanan udara tinggi ke tekanan udara rendah. Energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutar sudu yang terdapat pada turbin angin, dimana sudu terhubung dengan poros dan memutar poros yang telah terhubung dengan generator dan akan menimbulkan arus listrik. Energi angin dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2(Nm) \quad (1)$$

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan (*v*) dan melewati daerah seluas (*A*) adalah :

$$V = v \cdot A \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ yaitu:

$$m = \rho \cdot A \cdot v \text{ (kg/s)} \quad (3)$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang sebagai energi yang ditunjukkan

dengan mensubstitusi persamaan (3) ke persamaan (1) menjadi:

$$Pa = \frac{1}{2} \rho A v^3 (W) \quad (4)$$

Dimana,

Pa = Daya Angin (W)

ρ = Densitas Udara (1,22 Kg/m³)

A = Luas Penampang Turbin (m²)

v = Kecepatan Angin (m/s)

2.2 Daya Generator

Dengan mengukur besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan, dapat diketahui besarnya daya generator. Daya generator dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Pg = V \times I \quad (5)$$

Dimana,

Pg = Daya Generator (W)

V = Tegangan (Volt)

A = Ampere (Ampere)

2.3 Daya Rotor

Pada umumnya perhitungan untuk menghitung daya pada gerak melingkar dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Pr = T \frac{\pi n}{30} \quad (6)$$

Dimana,

Pr = Daya Rotor (W)

T = Torsi (Nm)

n = Putaran Poros (rpm)

2.4 Torsi

Torsi adalah sebuah gaya yang bekerja pada poros yang dihasilkan oleh gaya dorong pada sumbu turbin angin, dimana gaya dorong ini memiliki jarak terhadap sumbu poros yang berputar. Torsi sebuah turbin angin dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{P_{generator}}{2\pi n} \quad (7)$$

Dimana,

T = Torsi (Nm)

Pg = Daya Generator (W)

n = Putaran Poros (rpm)

2.5 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio merupakan perbandingan antara kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin yang melalui rotor. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah-

ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Tip speed ratio dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{2\pi n r}{60.v} \quad (8)$$

Dimana,

r = Jari-jari Turbin (m)

n = Putaran Poros (rpm)

v = Kecepatan Angin (m/s)

2.6 Koefisien Daya

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya angin. Persamaan koefisien daya dapat diartikan sebagai berikut:

$$Cp = \frac{P_{rotor}}{P_{angin}} \times 100\% \quad (9)$$

Dimana,

Cp = Koefisien Daya (Cp)

Pr = Daya Rotor (W)

Pa = Daya Angin (W)

3. Metodologi

a. Bahan

Bahan yang diperlukan untuk pembuatan turbin angin poros vertikal adalah:

• Sudu

Sudu turbin merupakan daerah sapuan angin yang menerima energi angin sehingga dapat membuat turbin berputar. Bahan yang digunakan untuk membuat sudu adalah menggunakan pelat alumunium 0,6, dimana masing-masing sudu memiliki bentuk dan ukuran yang sama yaitu dengan tinggi sudu ± 60 cm dan lebar sudu ± 30 cm. Sedangkan bahan untuk penyangga sudu turbin angin menggunakan pelek sepeda dengan diameter 40 cm.

• Poros

Poros turbin angin terbuat dari besi ulir dengan diameter ± 1 cm yang nantinya disambungkan ke generator listrik dengan menggunakan sistem transmisi sabuk datar (*flat belt*).

b. Alat penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

• Anemometer

Sebuah alat pengukur kecepatan angin temperatur lingkungan.

• Digital Tachometer

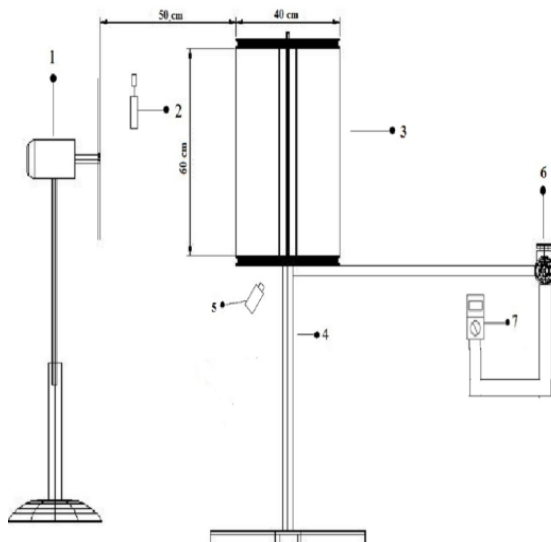
Digunakan untuk mengukur putaran poros pada turbin angin savonius.

- Digital multimeter

Digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada rangkaian beban.

3.1 Sketsa Alat Penelitian

Skema alat penelitian ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 3. Skema Alat Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

Hasil penelitian dan pengukuran turbin angin diperoleh nilai tegangan dan arus dan putaran poros untuk variasi jumlah sudu 2, 4, dan 6 yang disajikan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil pengujian

Jumlah Sudu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Putaran (rpm)
2	4 m/s	2,6	1,0	38,9
		2,7	1,0	42,5
		2,7	1,1	45,6
Rata – rata		2,67	1,03	42,33
2	5 m/s	2,7	1,1	49,7
		2,8	1,2	53,1
		2,8	1,2	53,3
Rata – rata		2,77	1,17	52,03
4	4 m/s	2,8	1,2	47,2
		2,8	1,2	45,7
		2,8	1,1	43,0
Rata – rata		2,8	1,17	45,3
4	5 m/s	3,0	1,4	60,2
		2,9	1,3	56,9
		2,9	1,3	55,2
Rata – rata		2,93	1,33	57,43
6	4 m/s	3,0	1,4	49,4
		3,0	1,4	49,5
		3,0	1,5	52,0
Rata – rata		3,0	1,43	50,3
6	5m/s	3,0	1,5	61,7
		3,1	1,6	65,9
		3,1	1,6	67,7
Rata – rata		3,07	1,57	65,1

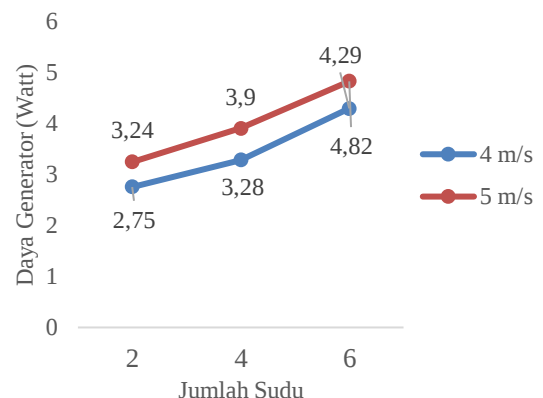
Hasil pengujian kinerja turbin angin seperti yang disajikan pada tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Kinerja Turbin angin dengan variasi jumlah sudu 2, 4 dan 6

Jumlah sudu	Kecepatan angin (m/s)	Putaran (rpm)	Daya Angin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Daya Rotor (Watt)	Torsi (Nm)	TSR	Cp (%)
2	4m/s	42,33	4,92	2,75	0,046	0,01034	0,221	0,935
	5m/s	52,03	9,61	3,24	0,054	0,00992	0,218	0,562
4	4m/s	45,3	4,92	3,28	0,055	0,01153	0,237	1,118
	5m/s	57,43	9,61	3,9	0,065	0,01081	0,24	0,676
6	4m/s	50,3	4,92	4,29	0,071	0,01358	0,26	1,443
	5m/s	65,1	9,61	4,82	0,080	0,01179	0,27	0,832

4.2 Pembahasan

4.2.1 Jumlah Sudu Terhadap Daya Generator

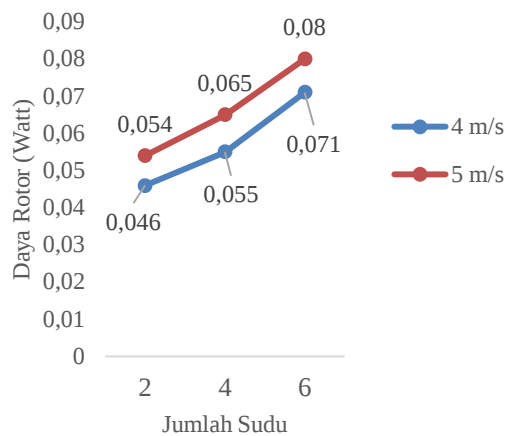


Gambar 4. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Daya Generator

Pada gambar 4 di atas untuk jumlah sudu 2 dan pada kecepatan 4 m/s, daya generator berangsur naik untuk tiap penambahan sudunya, dapat dilihat turbin angin yang menggunakan 2 sudu pada 4m/s mempunyai daya generator terendah yang di hasilkan yaitu 2,75 watt. Sedangkan untuk turbin angin yang menggunakan 6 sudu dan pada kecepatan angin 5m/s menghasilkan daya generator tertinggi yaitu 4,82 watt. Jadi, semakin tinggi kecepatan angin dan semakin banyak jumlah sudu maka semakin tinggi pula daya generator yang dihasilkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan

angin berbanding lurus dengan daya listrik yang dihasilkan generator.

4.2.2 Jumlah Sudu Terhadap Daya Rotor

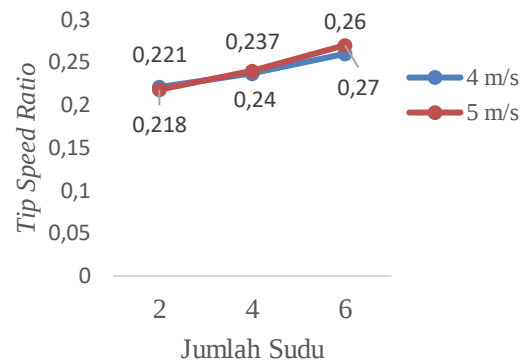


Gambar 5. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Daya Rotor

Pada gambar 5 dapat diketahui bahwa kecepatan angin berpengaruh terhadap daya rotor yang dihasilkan. Pada awal sampai akhir grafik hubungan antara jumlah sudu terhadap daya rotor pada kecepatan angin 4m/s dan 5m/s mengalami kecenderungan meningkat. Hal tersebut dapat dilihat pada turbin angin dengan jumlah sudu 2 dan pada kecepatan angin 4m/s diperoleh daya rotor 0,046 watt dan pada kecepatan angin 5m/s diperoleh daya rotor 0,054. Daya rotor maksimal didapat pada jumlah sudu 6 dan kecepatan angin 5 m/s yakni 0,080 watt. Hal ini terjadi karena pada turbin angin dengan jumlah sudu 6 buah mempunyai jarak antara sudu yang satu dengan lainnya terhadap poros sudu turbin mempunyai kerenggangan yang menjadikan aliran dapat mengalir dan menerpa sudu dibelakang poros dan ini akan meningkatkan daya dorong.

4.2.3 Jumlah Sudu Terhadap TSR

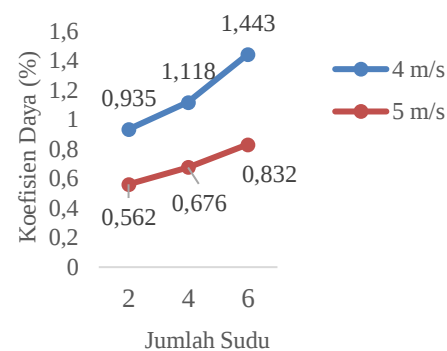
Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa *tip speed ratio* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin, artinya semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka semakin besar pula energi yang diberikan oleh angin terhadap turbin angin.



Gambar 6. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap TSR

Dari ketiga variasi jumlah sudu yang dilakukan, nilai *Tip speed ratio* maksimal pada kecepatan angin 5 m/s yang dihasilkan oleh 6 sudu yaitu sebesar 0,27 dan nilai *Tip Speed Ratio* minimal adalah 0,218 pada kecepatan angin 5 m/s dan jumlah sudu 2. Hal ini terjadi karena semakin banyak jumlah sudu dan semakin tinggi kecepatan angin maka TSR juga akan semakin tinggi, begitupun sebaliknya semakin sedikit jumlah sudu dan semakin kecil kecepatan angin maka luasan sudu penangkap anginnya sedikit dan kecepatan TSR juga semakin rendah.

4.2.4 Jumlah Sudu Terhadap Koefisien Daya



Gambar 7. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Koefisien Daya

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya kecepatan angin maka nilai dari Koefisien daya mengalami peningkatan untuk variasi jumlah sudu. Nilai terendah diperoleh pada jumlah sudu 2 dan pada kecepatan 5 m/s yaitu 0,562% , sedangkan nilai tertinggi pada jumlah sudu 6 pada kecepatan angin 4 m/s yaitu sebesar 1,443%.

Secara umum dapat kita ketahui bahwa *Coefficient power* turbin angin semakin meningkat hingga mencapai titik maksimumnya dan kemudian akan menurun. Setiap variasi jumlah sudu memiliki nilai *Coefficient power* yang berbeda-beda, hal ini dipengaruhi oleh besar kecilnya daya rotor yang dihasilkan oleh turbin angin dengan jumlah sudu yang berbeda-beda. Penurunan nilai C_p disebabkan semakin meningkatnya intensitas gesekan pada generator seiring bertambahnya putaran rotor. (Hamdi dkk, 2015).

5. Simpulan

Berdasarkan analisa maka kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian pengaruh jumlah sudu pada turbin angin dengan poros vertikal adalah :

1. Kecepatan angin dan jumlah sudu berpengaruh pada kinerja turbin angin, kinerja turbin angin paling tinggi didapat pada turbin dengan jumlah sudu 6. Pada kecepatan 5 m/s diperoleh daya generator 4,82 Watt, Daya rotor 0,08 Watt, dan TSR yang dihasilkan 0,27.
2. Kinerja turbin angin paling rendah didapat pada turbin angin dengan jumlah sudu 2. Pada kecepatan angin 4 m/s diperoleh daya generator 2,75 Watt, daya rotor 0,046 Watt, dan TSR yang dihasilkan 0,221. Hal ini dikarenakan pada turbin angin dengan jumlah sudu 2 mempunyai nilai daya rotor terendah dibanding dengan jumlah sudu yang lainnya, karena dengan jumlah sudu yang sedikit maka berat dari turbin angin juga akan bertambah sehingga membutuhkan gaya dorong yang lebih besar.
3. Semakin banyak jumlah sudu maka putaran rotor, daya generator, daya rotor, TSR dan koefisien daya yang dihasilkan juga semakin meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin.
4. Untuk jumlah sudu 6 nilai rata-rata rpm lebih tinggi dibandingkan dengan sudu 2 dan sudu 4. Rpm tertinggi didapat pada jumlah sudu 6 sebesar 65,1 rpm pada kecepatan angin 5 m/s sedangkan Rpm terendah didapat pada jumlah sudu 2 sebesar 42,33 rpm pada kecepatan 4 m/s.
5. Koefisien Daya (C_p) turbin angin poros vertikal pada kondisi angin dilapangan, mengalami peningkatan untuk tiap penambahan jumlah sudunya pada kecepatan angin 4 m/s didapatkan nilai

C_p sebesar 0,935% , 1,118% dan 1,443%. Sedangkan pada kecepatan angin 5 m/s didapatkan nilai C_p sebesar 0,562% ,0,676% dan 0,832% untuk tiap penambahan jumlah sudunya , ini berarti semakin banyak jumlah sudu maka nilai koefisien daya juga semakin meningkat.

Daftar Pustaka

- Adiyatma, H. 2012. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius. Universitas Brawijaya Malang.
- Daryanto, Y. 2007. Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Yogyakarta.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM). 2005. Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005 - 2025. Jakarta.
- Dharma, U. S., Masherni. 2016. Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertical Axis Savonius. *Turbo*. V (2).
- Hamdi, S., Alit, I., Mara, I. 2015. Pengaruh Variasi Diameter Dan Jumlah Sudu Pada Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Terhadap Unjuk Kerja. Universitas Mataram.
- Kusbiantoro, A., Soenoko, R., Sutikno, D. 2013. Pengaruh Panjang Lengkung Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius. Universitas Brawijaya Malang.
- Mahendra, B., Soenoko, R., Sutikno, D. 2011. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tipe-L. Universitas Brawijaya Malang.
- Mahmoud, H. N., El Haroun, A. A., Wahba, E., Masef, H. M. 2012. An Experimental Study On Improvement Of Savonius Rotor Performances. *Elsevier Alexandria engineering Journal*. 51. 19 - 25.
- Napitupulu, F., Mauritz, F. 2013. Uji Eksperimental Dan Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Jumlah Sudu Terhadap Daya Dan Putaran Turbin Angin Vertikal Axis Savonius Dengan Menggunakan Sudu Pengarah. *Jurnal Dinamis*. II (12).
- Permadi, M., Siregar, I. 2016. Uji Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis Crossflow Dengan Variasi Jumlah Blade. Universitas Negeri Surabaya.
- Sargolzei. 2007. Prediction Of The Power Ratio In Wind Turbine Savonius Rotor Using Artificial Neural Network.
- Sayoga, I., Wiratama, I., Mara, I., Catur, A. 2014. Pengaruh Variasi Jumlah Blade Terhadap Aerodinamik Performan Pada Rancangan Kincir Angin 300 Watt. IV (2).
- Setiawan, A. A. 2013. Pengaruh Jarak Celah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius. Universitas Brawijaya Malang.
- Soelaiman, F., Nathanael, P., Nanang, R. 2006. Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk penerangan Jalan Tol. Institut Teknologi Bandung.
- Tullah, A., Dhiputro, M., Soeharsono. 2014. Stres Analysis Pada Horizontal Axis Wind Turbine Blade. Universitas Tarumanegara Jakarta.