PENGARUH VARIASI DIAMETER DAN JUMLAH SUDU PADA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL TIPE SAVONIUS TERHADAP UNJUK KERJA

THE EFFECT OF DIAMETER AND NUMBER OF BLADE TO THE PERFORMANCE OF SAVONIUS VERTICAL WIND TURBINE

Syukron Hamdi, Ida Bagus Alit, I Made Mara
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit No. 62 Mataram NTB Telp. (0370)636126 ext.128, (0370)636087
Email : syukron.hamdi@ymail.com

ABSTRAK

Turbin angin adalah salah satu mesin konversi energi yang merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik pada porosnya. Turbin angin savonius memiliki kemampuan self-starting yang bagus sehingga hanya membutuhkan angin dengan kecepatan rendah untuk dapat memutar rotor dari turbin angin ini. Kekurangan turbin jenis ini adalah memiliki efisiensi yang rendah akibat adanya gaya hambat yang terjadi pada sudu. Untuk mengurangi gaya hambat maka ditambahkan sebuah konsentrator.

Pada pengujian ini rasio konsentrator yang digunakan sebesar 6:1. Dalam penelitian ini kecepatan angin yang digunakan yaitu 2,40 m/s, 3,43 m/s 4,22 m/s, 4,75 m/s, dan 5,0 m/s. Penelitian ini juga memvariasiakan diameter dan jumlah sudu yaitu diameter sudu 18 cm dan 6 cm dengan jumlah sudu 2, 3, dan 4.

Hasil dari penelitian ini adalah putaran rotor dan daya rotor maksimum dihasilkan pada kecepatan angin 5 m/s dengan diameter sudu 6 cm dan jumlah sudu 4 menggunakan konsentrator sebesar 248,73 rpm dan 4,67 *Watt*. Koefisien daya rotor maksimal yang didapat sebesar 0.39 pada turbin angin dengan konsentrator pada kecepatan angin 4,75 m/s dengan diameter sudu 6 cm dan jumlah sudu 4.

Kata Kunci : Diameter sudu, Koefisien daya, Konsentrator, Turbin angin *Savonius*.

ABSTRACT

Wind turbine is one of the energy conversion machine that converts the kinetic energy of wind into mechanical energy on its axis. Savonius wind turbine self-starting ability is good so it only requires a low wind speed to be able to rotate the rotor of the wind turbine. Disadvantages of this turbine is to have a low efficiency due to the drag that occurs on the blade. To reduce drag then added to a concentrator.

This research concentrator ratio that was used 6:1. In this research wind velocity was used is 2,40 m/s, 3,43 m/ s 4,22 m/s, 4,75 m/s and 5,0 m/s. This research also varying the diameter and number of blades that the diameter of the blade such 18 cm and 6 cm in the number of blades 2, 3, and 4.

The results of this research is sluing rotor and the rotor maximum power generated at wind speed of 5 m/s with a diameter of 6 cm blade and the blade number 4 using concentrator at 248,73 rpm and 4,67 Watt. Maximum rotor power coefficient Obtained at 0,39 on a wind turbine with wind concentrator at a speed of 4,75 m/ s with a diameter of 6 cm blade and blade number 4.

Keywords : *Diameter of Blade, Coefficient of performance, Concentrator, Savonius Wind Turbine.*

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini pemanfaatan energi sudah diarahkan pada penggunaan energi terbarukan. Misalnya energi air, energi angin, energi matahari, energi panas bumi, dan energi nuklir. Semua energi tersebut telah memenuhi kriteria sehingga dalam pemanfaatannya dapat menghemat energi fosil yang ketersediannya di alam semakin hari semakin menipis. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan energi angin (Farel, 2013).

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 penggunan turbin angin. Turbin angin adalah kincir angin yang saat ini banyak digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Salah satu jenis turbin angin adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin untuk menghasilkan energi listrik.

Prinsip kerja dari turbin angin untuk pembangkit listrik 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 jenis Savonius merupakan salah satu turbin angin sumbu vertikal (TASV). Turbin angin jenis Savonius ini 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 turbin angin jenis Savonius relatif tinggi (Bayu, 2011).

Untuk meningkatkan efisiensi dari turbin angin jenis Savonius ini maka digunakan penambahan konsentrator. Penggunaan penambahan konsentrator yang memiliki efisiensi paling bagus adalah dengan menggunakan rasio konsentrator luas bukaan 6:1 (Aditya, 2015).

Melihat dari latar belakang ini maka maka perlu dilakukan studi eksperimental untuk dapat mengetahui seberapa besar pengaruh variasi kecepatan angin, diameter sudu dan jumlah sudu pada unjuk kerja turbin angin poros vertikal tipe Savonius. Dengan memanfaatkan variasi diameter dan jumlah sudu turbin angin Savonius dapat diketahui untuk menentukan variasi yang mana yang lebih bagus terhadap *performance* turbin angin Savonius.

2. DASAR TEORI

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfir yang tidak merata oleh sinar matahari. Karena bergerak angin memiliki energi kinetik. Energi angin dapat di konversikan atau di transfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan turbin angin.

Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam sistem konversi energi angin (SKEA). Turbin angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik atau menggerakkan pompa untuk pengairan.

2.1 Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Besarnya energi kinetik yang tersimpan pada angin dengan massa (m) dan kecepatan (v) dapat dirumuskan sebagai berikut (D'Ambrosio, 2010).

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (2\text{-}1)$$

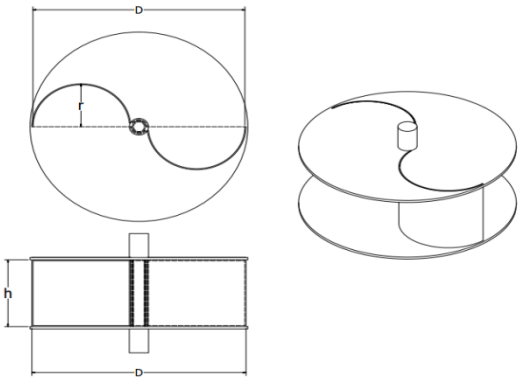
Dimana : Ek = Energi kinetik (joule)
m = Massa udara (kg)
v = Kecepatan angin (m/s)

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

$$\dot{m} = \rho A \upsilon \qquad (2\text{-}2)$$

Dimana : $\dot{m}$ = Massa udara (kg/s)
ρ = Kerapatan udara (ρ = 1,22 kg/m^3)
A = Luas penampang turbin (m^2)
υ = Kecepatan angin (m/s)

Luas daerah sapuan untuk turbin angin *Savonius* dapat dihitung dari dimensi rotor sebagai berikut :



Gambar 1 Diagram Skematik dari Turbin Angin Rotor *Savonius* (sumber : Ali, 2013)

$$A = hD \qquad (2\text{-}3)$$

Dimana : D = Diameter rotor (m)
h = Tinggi sudu (m)

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah :

$$P = \frac{1}{2}\rho A v^3 \qquad (2\text{-}4)$$

Dimana : P = Daya angin (Watt)
ρ = Kerapatan udara (kg/m^3)
A = Luas penampang (m^2)
v = Kecepatan angin (m/s)

Setiap rotor dari turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Dengan memasukkan koefisien daya (Cp), maka daya mekanik aktual (P) yang diperoleh dari energi kinetik angin menjadi (Balineni, 2011).

$$P_{act} = Cp\frac{1}{2}\rho A v^3 \qquad (2\text{-}5)$$

Dimana : P_{act} = Daya mekanik aktual *(Watt)*
Cp = Koefisien daya
ρ = Kerapatan udara (ρ=1,22 kg/m^3)
A = Luas penampang turbin (m^2)
υ^3 = Kecepatan angin (m/s)

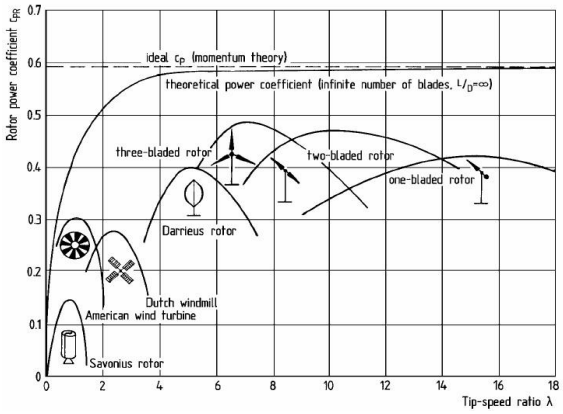
2.2 *Tip Speed Ratio (TSR)*

Tip speed ratio adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin dengan nominal yang tertentu maka *Tip Speed Ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin angin tipe horizontal akan memiliki *Tip Speed Ratio* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe vertikal. *Tip Speed Ratio* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$TSR = \frac{\pi D n}{60 v} \qquad (2\text{-}6)$$

Dimana : TSR = *Tip Speed Ratio*
π = 3.14
D = Diameter rotor (m)
n = Putaran rotor (rpm)
v = Kecepatan angin (m/s)

Setiap jenis rotor turbin angin memiliki nilai koefisien daya yang berbeda-beda. Berikut grafik yang menunjukkan variasi nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) dan koefisien daya (CP) untuk berbagai jenis turbin angin.



Gambar 2. Nilai Koefisien Daya Dan *Tip Speed Ratio* Untuk Berbagai Turbin Angin. (Hau, 2006)

2.3 Daya Generator

Dengan mengukur besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan, dapat diketahui besarnya daya generator. Daya generator dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Kusbiantoro, 2013) :

$$P_g = VI \qquad (2\text{-}7)$$

dimana : P_g = Daya generator (Watt)
V = Tegangan (volt)
I = Arus (ampere)

2.4 Koefisien Daya (Cp)

Koefisien Daya ialah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya angin, nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai ideal yaitu sebesar 0.593. Persamaan koefisien daya sebagai berikut :

$$CP = \frac{Daya\ rotor}{Daya\ angin}$$

$$CP = \frac{P_g/\eta_g}{\frac{1}{2}\rho A v^3} \qquad (2\text{-}8)$$

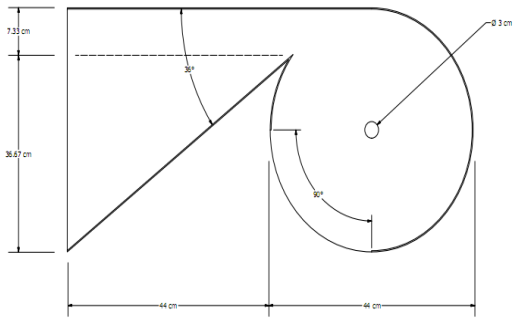
Dimana :
Cp = *Coefficient of performance*
P_g = Daya Generator (Watt)
ρ = Kerapatan udara (1,22 kg/m^3)
A = Luas penampang turbin (m^2)
υ = Kecepatan angin (m/s)
η_g = Effisiensi generator (85%)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis membuat alat pengujian menggunakan bahan yang sudah dipersiapkan menggunakan acuan dari gambar perancangan yang telah direncanakan.

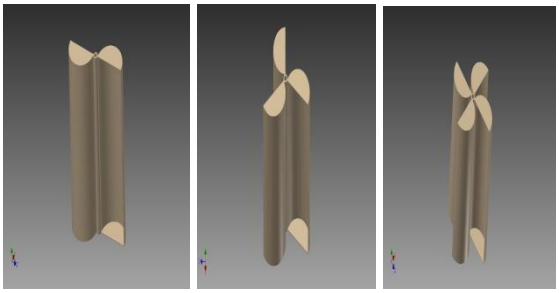
3.1. Perancangan dan Pembuatan

Pada tahapan ini penulis merancang dimensi sudu yang akan digunakan dengan menggunakan *software inventor*.

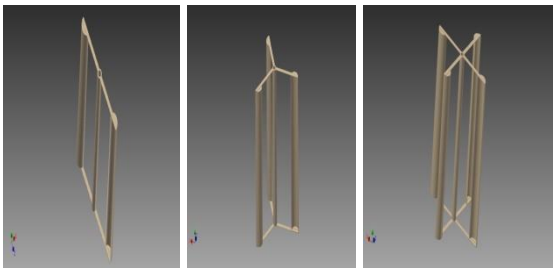


Gambar 3.1. Konsentrator Rasio Bukaan 6:1.

(7)



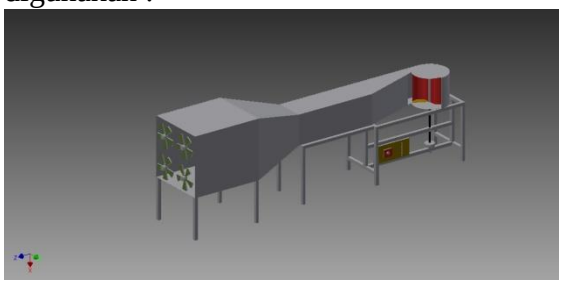
Gambar 3.2. Variasi Jumlah Sudu Dengan Diameter 18 cm.



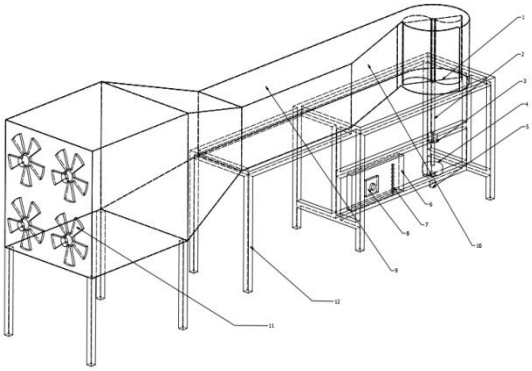
Gambar 3.3. Variasi Jumlah Sudu Dengan Diameter 6 cm.

3.2. Tahap Pengambilan Data

Pada tahapan ini , penulis melakukan pengujian di laboratorium produksi Fakultas Teknik Universitas Mataram dengan menggunakan bantuan kipas angin dan selektor untuk mendapatkan kecepatan angin 2,0 m/s sampai 5,0 m/s.. Kemudian peneliti akan memvariasikan dimensi dan jumlah sudu untuk mengetahui besar pengaruh perbedaan dimensi dan jumlah sudu terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin yang direncanakan. Berikut adalah susunan alat penelitian yang akan digunakan :



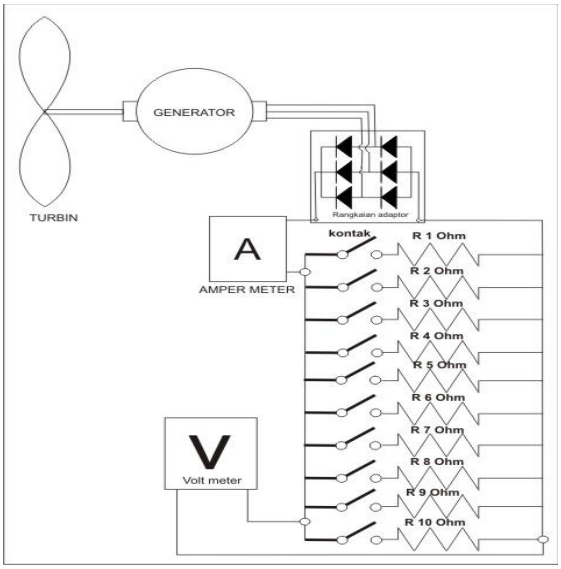
Gambar 3.4. Alat Penelitian



Gambar 3.5 Gambar Simetrik Bagian-Bagian Alat.

Keterangan :

1. Sudu turbin
2. Poros turbin
3. Bantalan
4. Generator
5. Poros generator
6. Meja instalasi
7. Rangkaian tahanan
8. Dimmer
9. Tunnel
10. Konsentrator
11. Kipas angin
12. Kerangka/kaki Alat penelitian



Gambar 3.6. Rangakain Instalasi Pengujian.

Setelah peralatan dirakit sesuai dengan gambar maka pengambilan data dapat dilakukan. Adapun proses pengambilan data ialah sebagai berikut :

1. Mengatur kecepatan angin pada *Tunnel* dengan cara memutar *Dimmer* hingga kecepatan angin yang sudah ditentukan yaitu kecepatan angin yang berkisar antara 2,0 m/s sampai 5,0 m/s. Selanjutnya dilakukan pengambilan data kecepatan putaran rotor dengan menggunakan alat ukur *Digital Tachometer* dan pengambilan data tegangan awal sebelum menggunakan beban hambatan dengan alat ukur *Digital Multimeter*. Pengukuran kecepatan angin dan tegangan awal dilakukan secara bersamaan, setelah itu hasil yang diperoleh dicatat.

2. Setelah proses pertama selesai, maka langkah selanjutnya yaitu mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator dengan penambahan beban hambatan. Penambahan beban hambatan yang digunakan adalah 22 ohm kemudian hasilnya dapat dicatat. Pengambilan data tegangan dan arus dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan dua buah alat ukur *Digital Multimeter*, kemudian hasil yang diperoleh dapat dicatat.

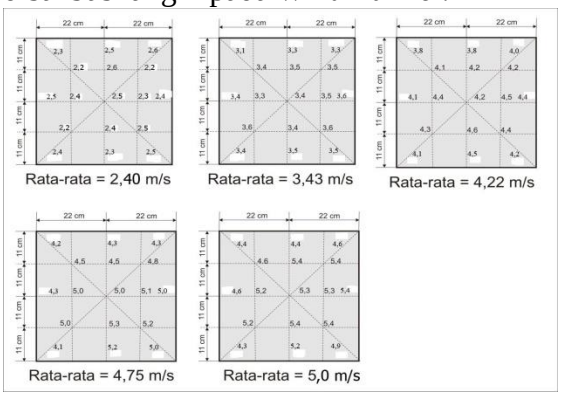
3.3. Keterangan Simbol

1. $C0D_6S_2$ = Tanpa menggunakan konsentrator diameter 6 cm dengan jumlah sudu 2
2. $C1D_6S_2$ = Menggunakan konsentrator diameter 6 cm dengan jumlah sudu 2.
3. $C0D_6S_3$ = Tanpa menggunakan konsentrator diameter 6 cm dengan jumlah sudu 3
4. $C1D_6S_3$ = Menggunakan konsentrator diameter 6 cm dengan jumlah sudu 3.
5. $C0D_6S_4$ = Tanpa menggunakan konsentrator diameter 6 cm dengan jumlah sudu 4
6. $C1D_6S_4$ = Menggunakan konsentrator diameter 6 cm dengan jumlah sudu 4.
7. $C0D_{18}S_2$ = Tanpa menggunakan konsentrator diameter 18 cm dengan jumlah sudu 2
8. $C1D_{18}S_2$ = Menggunakan konsentrator diameter 18 cm dengan jumlah sudu 2.
9. $C0D_{18}S_3$ = Tanpa menggunakan konsentrator diameter 18 cm dengan jumlah sudu 3.
10. $C1D_{18}S_3$ = Menggunakan konsentrator diameter 18 cm dengan jumlah sudu 3.
11. $C0D_{18}S_4$ = Tanpa menggunakan konsentrator diameter 18 cm dengan jumlah sudu 4.
12. $C1D_{18}S_4$ = Menggunakan konsentrator diameter 18 cm dengan jumlah sudu 4.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan data hasil penelitian. Data yang didapat akan digunakan sebagai bahan perhitungan untuk mengetahui karakteristik *Performance* turbin angin beserta pembahasannya.

Dalam pengujian ini, sumber angin yang digunakan berasal dari empat buah kipas angin dan menggunakan dimmer sebagai pengatur kecepatan kipas sehingga didapat kecepatan angin yang diinginkan. Selanjutnya dilakukan pengukuran kecepatan putaran rotor pada turbin yang akan digunakan untuk menghitung nilai *Tip Speed Ratio* (TSR). Kemudian dilakukan pengukuran tegangan (Volt) dan Arus (Ampere) dengan menambahkan hambatan. Hambatan yang digunakan untuk mengetahui arus pada setiap variasi sudu yaitu 22 ohm. Hasil dari pengukuran tegangan dan arus yang didapat akan digunakan untuk menghitung daya generator. Berikut ini tabel data pengukuran putaran rotor dan tegangan pada kecepatan angin yang diatur oleh putaran dimmer. Berikut ini gambar distribusi angin pada *Wind Tunnel*.



Gambar 4.1 Distribusi Kecepatan Angin Rata-Rata Pada *Wind Tunnel*.

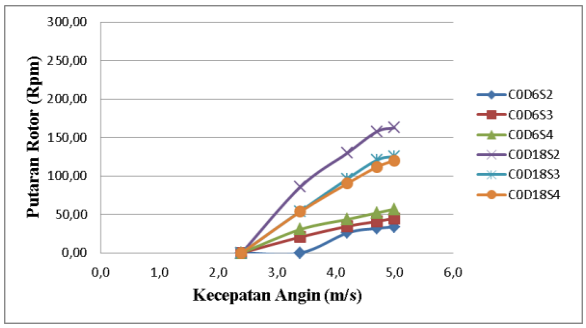
Tabel 4.1. Data Pengujian Putaran Rotor dan Tegangan Tanpa Konsentrator

Sudu	Kec. Angin (m/s)	Putaran (rpm) 1	Putaran (rpm) 2	Putaran (rpm) 3	Putaran Rata-rata	Tegangan 1	Tegangan 2	Tegangan 3	Tegangan Rata-rata
$C0D_6S_2$	3,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4,3	25,10	25,40	25,70	25,40	0,92	1,05	0,84	0,94
	4,7	32,50	31,40	31,90	31,93	2,77	2,33	1,86	2,32
	5	34,50	33,50	33,70	33,90	3,03	2,95	3,13	3,04
$C0D_6S_3$	3,4	21,40	19,80	20,80	20,67	1,38	1,31	1,22	1,30
	4,3	34,20	34,00	35,70	34,63	2,45	2,60	2,66	2,57
	4,7	40,50	39,90	42,40	40,93	2,97	2,89	3,15	3,00
	5	45,50	44,50	45,60	45,20	3,41	3,24	3,19	3,28
$C0D_6S_4$	3,4	30,60	29,80	31,40	30,60	1,80	1,74	1,79	1,78
	4,3	42,60	44,30	44,00	43,63	2,98	3,11	2,90	3,00
	4,7	52,30	51,60	52,10	52,00	3,78	3,97	3,88	3,88
	5	53,30	54,80	53,70	53,93	4,02	3,97	4,05	4,01
$C0D_{18}S_2$	3,4	85,20	85,90	86,40	85,83	6,82	7,07	6,92	6,94
	4,2	129,00	130,40	130,10	129,83	10,55	10,85	10,90	10,77
	4,7	158,00	157,20	157,50	157,57	12,92	13,05	12,95	12,97
	5	169,90	159,90	158,00	162,60	13,12	13,25	13,40	13,26
$C0D_{18}S_3$	3,4	54,40	54,00	54,20	54,20	4,25	3,91	4,08	4,08
	4,3	94,50	97,60	96,80	96,30	7,45	7,34	7,55	7,45
	4,7	120,50	120,70	120,50	120,57	9,72	9,82	9,68	9,74
	5	125,30	126,20	125,80	125,77	10,14	10,21	10,17	10,17
$C0D_{18}S_4$	3,4	52,80	54,80	53,20	53,60	4,02	4,16	4,22	4,13
	4,2	90,10	89,80	90,70	90,20	7,31	7,09	7,18	7,19
	4,7	111,90	112,60	110,30	111,60	9,11	9,20	8,98	9,10
	5	118,90	120,50	121,10	120,17	9,48	9,91	10,06	9,82

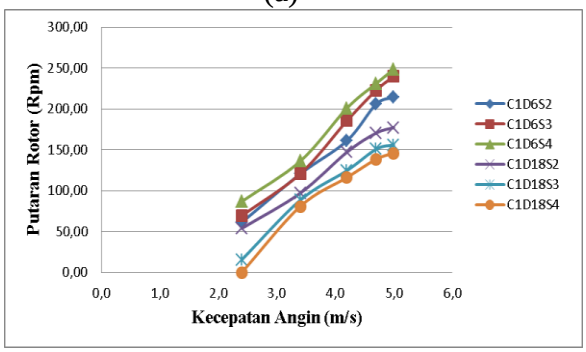
Tabel 4.2 Data Pengujian Putaran Rotor dan Tegangan Menggunakan Konsentrator

Sudu	Kec. Angin (m/s)	Putaran (rpm) 1	2	3	Putaran Rata-rata	Tegangan (volt) 1	2	3	Tegangan Rata-rata
$C1D_6S_2$	2,4	60,90	58,50	64,40	61,27	5,11	5,02	5,26	5,13
	3,4	122,40	120,70	118,50	120,53	9,78	9,94	9,87	9,86
	4,2	160,20	161,50	161,80	161,17	13,35	13,40	13,47	13,41
	4,7	205,20	206,70	206,00	205,97	16,96	17,13	17,02	17,04
	5,0	216,00	213,30	213,90	214,40	17,66	17,59	17,58	17,61
$C1D_6S_3$	2,4	68,50	70,10	69,80	69,47	5,59	5,10	5,72	5,47
	3,4	119,90	121,60	120,60	120,70	9,76	9,96	10,11	9,94
	4,2	184,50	185,40	186,80	185,57	15,53	15,50	15,48	15,50
	4,7	223,60	224,20	220,70	222,83	18,22	17,93	18,08	18,08
	5,0	238,40	241,30	240,20	239,97	19,86	19,90	19,70	19,82
$C1D_6S_4$	2,4	86,90	87,60	86,00	86,83	7,20	7,10	6,80	7,03
	3,4	131,70	138,70	137,80	136,07	11,28	11,43	11,59	11,43
	4,2	197,70	202,80	202,50	201,00	16,27	16,71	17,00	16,66
	4,7	228,10	232,90	232,20	231,07	19,00	18,90	18,80	18,90
	5,0	249,50	250,70	246,00	248,73	20,50	20,80	20,40	20,57
$C1D_{18}S_2$	2,4	55,60	54,10	52,20	53,97	4,04	4,13	4,22	4,13
	3,4	95,60	98,10	97,40	97,03	8,79	8,66	8,73	8,73
	4,2	147,00	147,40	147,20	147,20	12,28	12,11	12,51	12,30
	4,7	170,80	169,80	171,10	170,57	14,17	13,79	14,04	14,00
	5,0	177,20	177,80	176,60	177,20	14,93	14,86	14,70	14,83
$C1D_{18}S_3$	2,4	15,70	13,90	17,20	15,60	1,24	0,98	1,26	1,16
	3,4	88,50	88,70	88,40	88,53	6,49	6,50	6,61	6,53
	4,2	123,50	125,70	124,80	124,67	10,04	10,14	10,11	10,10
	4,7	151,60	151,30	149,70	150,87	12,30	12,24	12,40	12,31
	5,0	154,80	156,40	157,10	156,10	12,81	12,85	13,00	12,89
$C1D_{18}S_4$	2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3,4	80,80	80,50	81,20	80,83	5,72	5,80	5,82	5,78
	4,2	116,30	115,60	116,80	116,23	6,21	6,72	6,83	6,59
	4,7	138,40	138,70	138,60	138,57	8,25	8,59	9,26	8,70
	5,0	146,00	146,40	145,70	146,03	10,10	10,89	10,99	10,66

4.1. Analisis Kecepatan Angin terhadap Putaran Rotor



(a)



(b)

Gambar 4.2 Grafik Hubungan Kecepatan Angin terhadap Putaran Rotor
(a). Tanpa Konsentrator, (b). Menggunakan Konsentrator.

Dari gambar 4.2 dan 4.3 dapat kita ketahui secara umum bahwa putaran rotor akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin untuk setiap variasi diameter dan jumlah sudu. Hal ini disebabkan karena kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap daya angin yang akan dihasilkan, semakin tinggi kecepatan angin maka semakin besar pula putaran rotor yang dihasilkan.

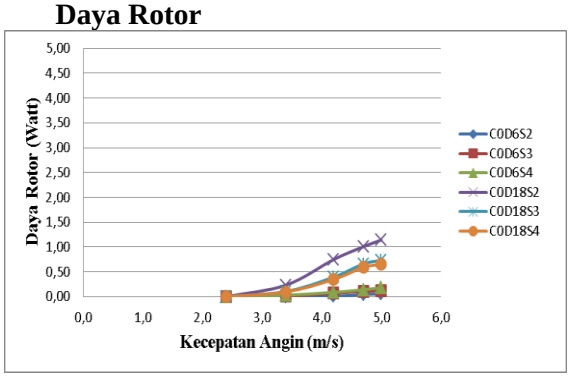
Dari gambar 4.2 dan 4.3 dapat kita ketahui putaran rotor terbesar dihasilkan oleh diameter sudu 18 cm tanpa menggunakan konsentrator dan diameter sudu 6 cm menggunakan konsentrator. Sedangkan jumlah sudu yang memiliki putaran rotor terbesar adalah dengan jumlah sudu 2 pada diameter sudu 18 cm dan jumlah sudu 4 pada diameter sudu 6 cm. Hal ini disebabkan karena diameter sudu 6 cm ini besarnya sesuai dengan luas bukaan pada konsentrator sehingga angin dapat menabrak sudu secara merata dan saat tanpa menggunakan konsentrator disebabkan karena diameter sudu 18 cm ini besarnya sesuai dengan luas bukaan dari tunnel itu sendiri sehingga angin dapat menabrak sudu secara keseluruhan.

Dari gambar 4.3 (b) menunjukkan bahwa pada turbin Savonius dengan jumlah sudu 2 memiliki nilai putaran rotor yang lebih baik, bila dibandingkan dengan jumlah sudu 3 dan 4. Hal ini terjadi karena pada turbin dengan jumlah sudu 2 mempunyai jarak atau kerenggangan antar sudu yang seimbang terhadap poros turbin serta dengan jumlah sudu yang banyak memiliki jarak antar sudu kecil sehingga turbulensi udara menjadi besar seiring meningkatnya kecepatan angin yang diberikan.

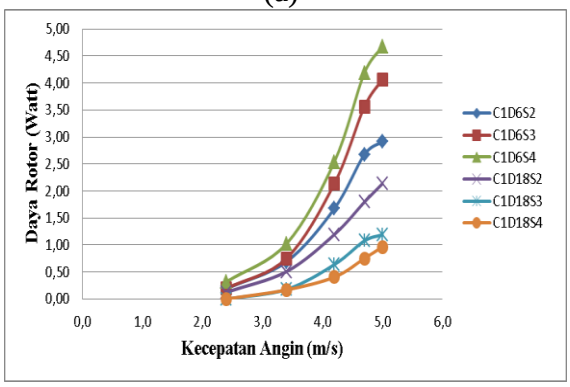
Penambahan konsentrator dapat meningkatkan putaran rotor yang dihasilkan pada turbin angin poros vertikal tipe Savonius ini. Hal ini dikarenakan

angin lebih terfokus sehingga putaran rotor yang dihasilkan semakin meningkat.

4.2. Analisis Kecepatan Angin terhadap Daya Rotor



(a)



(b)

Gambar 4.4 Grafik hubungan Kecepatan Angin terhadap Daya Rotor (a). Tanpa Konsentrator, (b). Menggunakan Konsentrator.

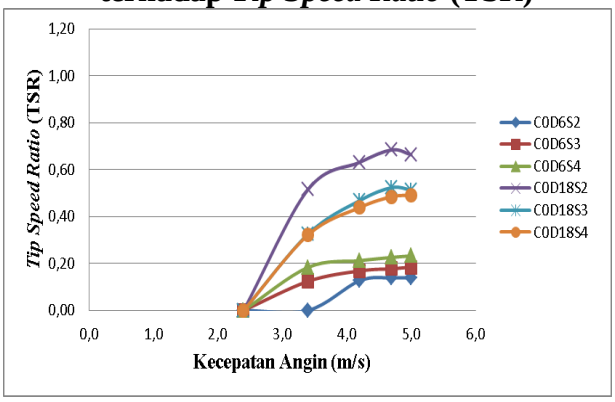
Dari grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap daya rotor pada gambar 4.4, dapat kita lihat secara umum bahwa untuk setiap variasi sudu terjadi peningkatan daya rotor seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.

Dari gambar 4.4 dapat kita ketahui juga daya rotor sudu dengan diameter 6 cm lebih besar daripada sudu dengan diameter 18 cm yang menggunakan konsentrator karena sudu dengan diameter 6 cm besarnya sesuai dengan luas bukaan konsentrator sehingga angin dapat menabrak semua sudu dengan merata, sedangkan daya rotor sudu dengan diameter 18 cm lebih besar daripada sudu dengan diameter 6 cm yang tanpa menggunakan konsentrator karena sudu dengan diameter 18 cm besarnya sesuai dengan luas bukaan tunnel sehingga angin dapat menabrak sudu secara keseluruhan.

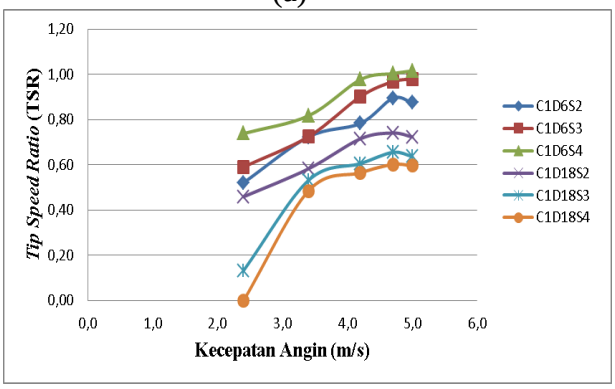
Jumlah sudu yang paling bagus pada kecepatan angin 2,0 m/s sampai 5,0 m/s yaitu 2 sudu dengan diameter sudu 18 cm dan 4 sudu dengan diameter sudu 6 cm.

Penambahan konsentrator juga mengakibatkan peningkatan kecepatan angin sehingga dapat mengakibatkan daya angin untuk memutar rotor semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin besar daya angin yang menabrak sudu turbin mengakibatkan putaran rotor yang semakin cepat. Sehingga daya rotor yang dihasilkan akan semkain besar juga.

4.3. Analisis Kecepatan Angin terhadap *Tip Speed Ratio* (TSR)



(a)



(b)

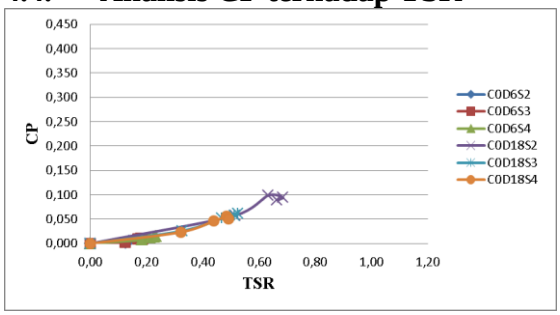
Tip speed ratio merupakan perbandingan putaran ujung rotor dan kecepatan angin. Dari gambar 4.5, peningkatan kecepatan angin dapat meningkatkan kecepatan putaran rotor. Peningkatan kecepatan angin juga terjadi akibat penggunaan konsentrator sehingga menyebabkan *Tip Speed Ratio* berubah. Dari gambar 4.5 dapat kita ketahui *Tip Speed Ratio* sudu dengan diameter 18 cm lebih besar daripada sudu dengan diameter

6 cm tanpa menggunakan konsentrator, sedangkan yang menggunakan konsentrator nilai *Tip Speed Ratio* yang lebih besar adalah sudu dengan diameter 6 cm. Jumlah sudu yang paling bagus pada kecepatan angin 2,0 m/s sampai 5,0 m/s yaitu 2 sudu dengan diameter 18 cm dan 4 sudu dengan diameter 6 cm.

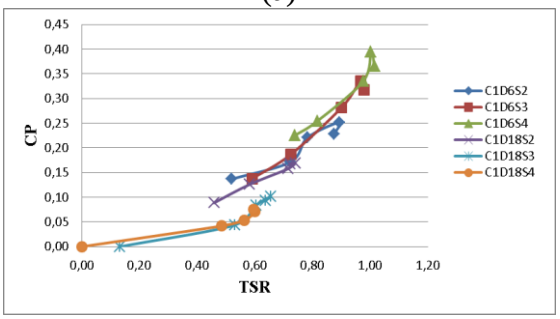
Dari gambar 4.5 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kecepatan angin maka TSR meningkat secara liniear. Hal ini terjadi karena TSR sangat bergantung pada nilai putaran rotor. TSR yang besar dapat mengakibatkan kerusakan pada sudu rotor sehingga diharapkan nilai TSR tidak boleh lebih besar daripada kecepatan angin bebas yang digunakan pada penelitian.

Pada penelitian ini Tip Speed Ratio yang paling besar dihasilkan pada diameter sudu 6 cm dan jumlah sudu 4 menggunakan konsentrator dengan kecepatan angin 5,0 m/s yaitu sebesar 1,02.

4.4. Analisis CP terhadap TSR



(a)



(b)

Gambar 4.6 Grafik hubungan (TSR) terhadap CP (a). Tanpa Konsentrator, (b). Menggunakan Konsentrator.

Dari gambar 4.6 hubungan *Tip Speed Ratio* (TSR) terhadap *Coefficient of Performance* (CP) di atas, secara umum dapat kita ketahui bahwa *Coefficient of Performance* (CP) rotor semakin meningkat hingga mencapai titik maksimumnya dan kemudian akan menurun. Setiap variasi diameter dan jumlah sudu memiliki nilai Cp yang berbeda-beda, hal ini di pengaruhi oleh besar kecilnya daya rotor yang dihasilkan oleh turbin dengan diameter dan jumlah sudu yang berbeda-beda. Untuk nilai Cp maksimal dihasilkan oleh diameter sudu 6 cm dan jumlah sudu 4 dengan menggunakan konsentrator, sedangkan nilai Cp minimum dihasilkan pada diameter sudu 6 cm dan jumlah sudu 2 tanpa menggunakan konsentrator.

Dari gambar 4.6 grafik hubungan antara TSR terhadap Cp ada yang mengalami tren grafik berbentuk parabolik dan ada yang mengalami tren grafik yang terus meningkat seiring kecepatan angin bertambah. Tren grafik berbentuk parabolik dikarenakan kenaikan daya poros tidak sebanding dengan daya angin yang peningkatannya semakin besar.

Penurunan nilai Cp juga disebabkan semakin meningkatnya intensitas gesekan pada generator seiring bertambahnya putaran rotor, meningkatnya intensitas gesekan ini akan menyebabkan kenaikan daya rotor menurun sedangkan daya angin terus meningkat. Akibatnya kerugian akibat gesekan tiap satuan waktu semakin besar sehingga Cp terlihat menurun.

5. KESIMPULAN

1. Semakin tinggi kecepatan angin maka putaran rotor, TSR, dan daya rotor yang dihasilkan semakin besar.
2. Sudu dengan diameter 18 cm tanpa menggunakan konsentrator memiliki putaran rotor lebih tinggi daripada sudu dengan diameter 6 cm, sedangkan yang menggunakan konsentrator sebaliknya.

3. Jumlah sudu 2 dengan diameter sudu 18 cm yang lebih bagus jika tanpa menggunakan konsentrator, sedangkan jumlah sudu 4 dengan diameter 6 cm yang lebih bagus jika menggunakan konsentrator terhadap Cp.
4. Penambahan konsentrator akan meningkatkan putaran rotor turbin angin Savonius. Jika putaran rotor tinggi maka daya rotor dan TSR akan semakin meningkat.
5. Nilai standar deviasi pada putaran semakin menyebar (bervariasi) dari rata-ratanya, sedang untuk standar deviasi pada daya rotor dan TSR semakin homogen (hampir sama).
6. Nilai standar error lebih akurat pada data daya rotor, TSR, dan Cp dibandingkan dengan data putaran rotor.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, M.,H., 2013 : *Experimental Comparison Study For Savonius Wind Turbine of Two & Three Blades At Low Wind Speed*, *International Journal of Modern Engineering Research* (IJMER) Vol. 3, pp-2978-2986.

Anonim., 2011. https : //fisika79.wordpress.com/2011/04/ 21/massa-jenis/, diakses pada tanggal 02 november 2015.

Anonim., 2012. www. indoenergi.com /2012/07/jenis-jenis-turbin-angin, diakses pada tanggal 12 september 2015.

Anonim., 2015 .http: Turbin angin //id.wikipedia.org/wiki/ , diakses pada tanggal 12 juni 2015.

Arson, A.,J., 2015 : *Penambahan Konsentrator Pada Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.

Balineni, S.C., Krisnha, S.R., Kumar, B.S., Kumar, G.V., 2011, *Design and Fabrication of Savonius Vertical Axis Wind Turbin, Department of Mechanical Engineering Gokaraju Rangaraju Institute of Engineering and Technology*, Jawaharlal Nehru Technological University.

D'Ambrosio, M., Medaglia, M., 2010, *Vertical Axis Wind Turbines : History, Technology and Applications*, Jonny Hylander and Goran Siden, Swedia.

Dewi, M., L., 2010 ; *Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertical Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin*,Universitas Sebelas Maret,Surakarta.

Estrada, Edi., 2014, *Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal (Savonius) sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Kecil*, Universitas Mataram, Mataram.

Hau, Erich., 2006, *Wind Turbines : Fundamentals,Technologies, Application, Economics*, Springer, New York

Kusbiantoro, A., Soenoko, R., Sutikno, D., 2013 ;*Pengaruh Panjang Lengkung Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertical Savonius* , Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

Latif, M., 2013 ; *Efisiensi Prototype Turbin Savonius Pada Kecepatan Angin Rendah*, Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 10, No. 3, Versi Online (e-ISSN 2256-620x).

Mahendra, B., Soenoko, R., dan Sutikno, D., 2011, *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tipe L*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

Napitupulu, F., H., 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, Volume II, No.12, Issn 0216-7492.

Napitupulu, F.,H., Siregar, S., 2013 : *Perancangan Turbin Vertikal Axis Savonius Dengan Menggunakan 8 Buah Sudu Lengkung*, Jurnal Dinamis Vol.I, No.13, ISSN 0216-7492.

Rusnoto, Shofani, L., 2013 : *Pengaruh Susunan Sudut Turbin Angin Savonius Terhadap Karakteristik Daya Turbin*.

Setiawan, Andreas A., 2014 : *Pengaruh Jarak Celah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.