UJI PERFORMANCE TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL TIPE SAVONIUS BERTINGKAT DENGAN VARIASI POSISI SUDUT

PERFORMANCE TEST VERTICAL AXIS WIND TURBINE SAVONIUS TYPE WITH VARIATION POSITION ANGLE

Septian Harry Pamuji, Ida Bagus Alit, Nurchayati
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit No. 62 Mataram NTB Telp. (0370)636126 ext.128, (0370)636087
Email : harrypamuji08@gmail.com

ABSTRAK

Energi angin merupakan salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui. Turbin angin *Savonius* merupakan salah satu turbin angin poros vertikal. Turbin angin poros vertikal memiliki *Self Starting* yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun dengan kecepatan angin yang rendah, selain itu juga dapat berputar secara efektif dengan dorongan angin dari segala arah.

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh karakteristik *Performance* turbin angin dua tingkat dengan variasi kecepatan angin dan posisi sudut yang berbeda pada masing-masing tingkat. Pengujian dilakukan dengan sumber angin yang berasal dari empat buah kipas angin dengan menggunakan *Wind Tunnel*, kecepatan angin yang digunakan terdapat empat variasi yaitu 3,43 m/s 4,22 m/s, 4,75 m/s, dan 5 m/s. Variasi pengujian juga dilakukan dengan variasi posisi sudut turbin yaitu 0°, 30°, 45°, 60°, dan 90° pada tiap tingkat.

Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik kecepatan angin terhadap putaran rotor, kecepatan angin terhadap daya rotor, kecepatan angin terhadap *Tip Speed Ratio* (TSR), dan *Tip Speed Ratio* (TSR) terhadap koefisien daya (CP). Kecepatan putaran rotor maksimum dihasilkan pada kecepatan angin 5 m/s dengan posisi sudut 0° sebesar 150,60 rpm. Daya rotor maksimum dihasilkan pada kecepatan angin 5 m/s dengan posisi sudut 0° yaitu sebesar 1,53 Watt. Nilai CP maksimum yang dicapai turbin angin bertingkat tipe *Savonius* ini adalah 12 % diperoleh pada saat TSR sebesar 0,61 dengan kecepatan angin 5 m/s. Sehingga dari semua variasi sudut yang dilakukan, didapatkan hasil yang terbaik pada variasi sudut 0°.

Kata Kunci : Turbin angin, *Savonius*, koefisien daya, *Tip Speed Ratio*

ABSTRACT

Wind energy is one of the environmentally renewable energy. Savonius wind turbine is a vertical axis wind turbine. The vertical axis wind turbines have a good self starting to rotate the rotor even at low wind speeds, but it also can rotate effectively with the boost of the wind from all directions.

This research was conducted to obtain the characteristics of performance of two levels of wind turbines with variations in wind speed and the different positions of angle on each level. The test is done by using the wind tunnel with four fan as the source of the wind, using four variations of the wind speed by 3.43 m/s 4.22 m/s, 4.75 m/s and 5 m/s. The test was also done with the variation of angle positions from wind turbine by 0°, 30°, 45°, 60°, and 90° in each level.

The research result is shown in graph of wind speed against the rotor rotation, wind speed against the power of rotor, the wind speed against the Tip Speed Ratio (TSR), and Tip Speed Ratio (TSR) against the coefficient of power (CP). The maximum rotation speed of the rotor is generated at wind speed of 5 m / s with the angle position of 0°, it's amounted about 150.60 rpm.The maximum power of rotor generated at wind speed of 5 m/s with the angle position of 0°, it's about 1.53 Watt. The maximum value of CP is 12% and it was obtained at the time when the TSR about 0.61 with a wind speed by 5 m/s. The final results from all the angles variation obtained the best results was in the angle variations of 0°.

***Keywords** : Wind Turbine, Savonius, Coefficient of Performance, Tip Speed Ratio*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi semakin hari semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi yang sangat tinggi. Lebih dari 86 % dari energi dunia saat ini berasal dari bahan bakar fosil, sementara itu permintaan kebutuhan energi dunia semakin hari tumbuh secara pesat.

Salah satu sumber energi terbarukan adalah energi angin. Energi angin merupakan salah satu energi yang ramah lingkungan, sumber energi yang berlimpah dan dapat diperbaharui sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan. Potensi angin di Indonesia pada umumnya memiliki kecepatan angin yang rendah berkisar antara 3 m/s – 7 m/s, sehingga jenis turbin angin vertikal dirasa sangat cocok untuk digunakan pada kondisi kecepatan angin rendah.

Pada umumnya bentuk turbin angin yang banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal, walau demikian turbin angin sumbu vertikal menjadi alternatif untuk menghasilkan energi listrik disebabkan oleh beberapa keuntungan. Turbin angin vertikal memiliki *Self Starting* yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun kecepatan angin rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relatif tinggi (Sargolzaei, 2007). Selain itu juga kelebihan dari turbin angin sumbu vertikal (TASV) yaitu dapat berputar secara efektif dengan dorongan angin dari segala arah, sehingga sangat cocok untuk daerah yang arah anginnya bervariasi. Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal (TASH), untuk mendapatkan putaran yang efektif turbin

harus diarahkan pada posisi berlawanan dengan arah angin, ketika kondisi angin bervariasi maka turbin jenis sumbu horizontal (TASH) tidak dapat berputar dengan maksimal karena harus mencari posisi efektif dari arah angin terlebih dahulu. Turbin angin sumbu vertikal memiliki efisiensi yang kecil karena memanfaatkan gaya *drag*. Daya yang diperoleh berasal dari selisih antara gaya penggerak Fw *drive* – Fw *brake*.

II. LATAR BELAKANG

Angin adalah udara yang bergerak dan merupakan satu bentuk energi yang tersedia di alam yang disebabkan oleh perbedaan tekanan pada atmosfer bumi. Perbedaan tekanan ini dapat dipengaruhi oleh sinar matahari. Daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi dari daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Energi angin dapat di konversikan atau di tranfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan turbin angin.

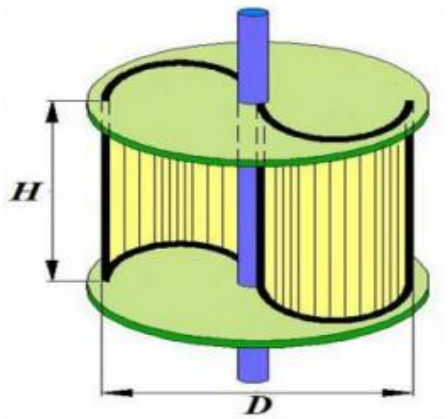
A. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

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

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2$$

dimana : Ek = Energi kinetik (joule)
m = Massa udara (kg)
v = 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

dimana : D = Diameter rotor (m)
H = Tinggi sudu (m)

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

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

dimana : P_w = 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).

$$\mathrm{P} = \mathrm{Cp}\frac{1}{2}\rho \mathrm{A} v^3$$

B. *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:

$$\text{TSR} = \frac{\pi D n}{60 v}$$

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.

C. 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 :

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

$$CP = \frac{P_g/\eta_g}{\frac{1}{2}\rho A v^3}$$

D. Daya Generator

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

$$P_g = VI$$

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

E. Daya Generator

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

$$P_g = VI$$

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

III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan tentang perancangan sudu turbin angin bertingkat dengan variasi posisi sudut dan teknik pengujian sehingga didapatkan *performance* turbin angin.

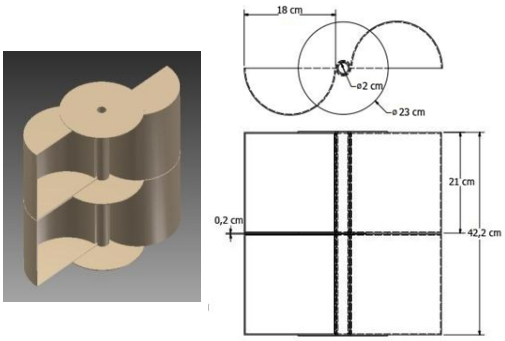
A. Tahap Perancangan

Pada tahap perancangan ini penulis menggambar dan merancang sudu turbin angin jenis *Savonius* dua tingkat menggunakan *Software Inventor*.

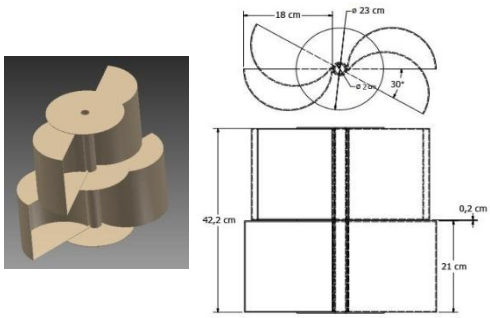
B. Tahap Perakitan

Proses perakitan merupakan suatu proses penggabungan komponen-komponen mesin atau suatu bahan menjadi satu kesatuan dengan memperhatikan urutan yang telah ditentukan, sehingga menjadi sebuah mesin yang siap digunakan sesuai dengan yang telah diperhitungkan dan tujuan yang telah direncanakan. Langkah awal untuk melakukan perakitan adalah melakukan pengecekan komponen-komponen yang hendak dirakit,

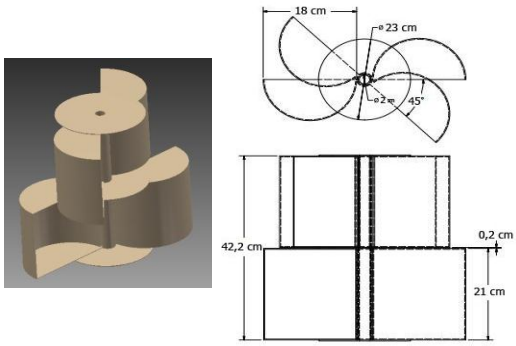
menyiapkan alat bantu dalam perakitan komponen - komponen serta mempersiapkan langkah - langkah perakitan. Dengan langkah perakitan yang tepat akan mempermudah dan mempercepat proses perakitan itu sendiri serta menjamin keberhasilan rancangan. Pada tahapan ini penulis membuat sudu turbin angin *Savonius* dengan menggunakan alat dan bahan yang telah disiapkan dan menggunakan acuan dari gambar perancangan yang telah direncanakan.



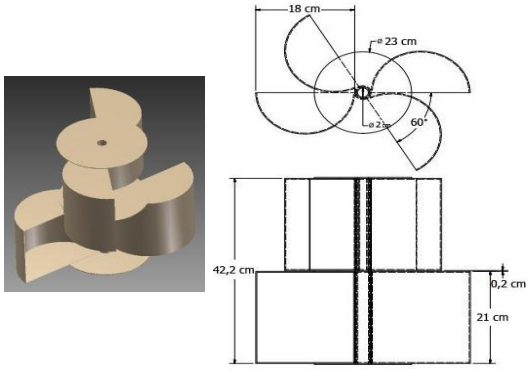
(a) Sudut 0°



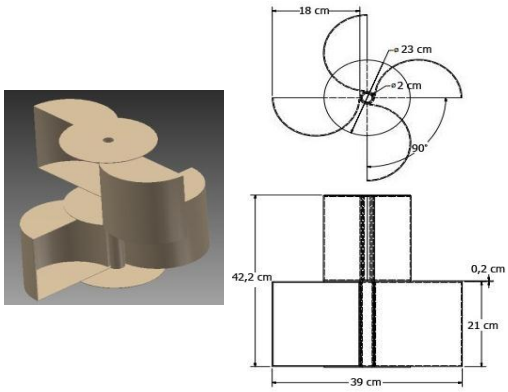
(b) Sudut 30°



(c) Sudut 45°



(d) Sudut 60°

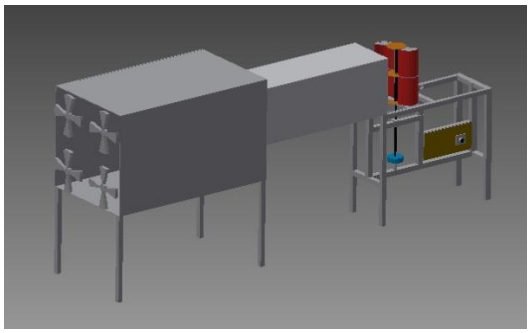


(e) Sudut 90°

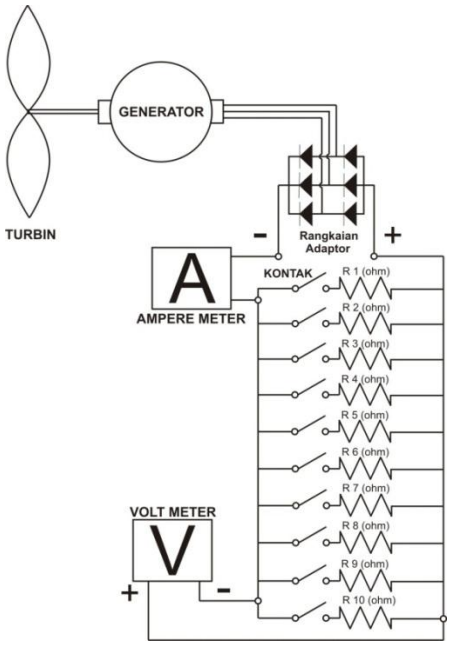
Gambar 2 Sudu Dengan Variasi Sudut (a) 0°, (b) 30°, (c) 45°, (d) 60°, dan (e) 90°

C. Tahap Pengambilan Data

Pada tahapan ini penulis melakukan pengujian menggunakan bantuan 4 buah kipas angin dan *Tunnel* untuk mendapatkan kecepatan angin yang diinginkan yaitu kecepatan angin yang berkisar antara 3 m/s sampai 5 m/s. Kemudian peneliti akan memvariasikan kecepatan angin dan posisi sudut pada tiap tingkat turbin angin untuk mengetahui pengaruh perbedaan posisi sudut turbin angin *Savonius* dua tingkat terhadap daya yang dihasilkan.



Gambar 3 Susunan Alat Penelitian



Gambar 5 Rangkaian 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 3 m/s sampai 5 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. Langkah selanjutnya yaitu mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator dengan penambahan beban hambatan. Penambahan beban hambatan dilakukan secara bertahap hingga kecepatan putaran rotor mencapai ± 20 rpm kemudian hasilnya dapat dicatat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengukuran tegangan dan arus yang didapat akan digunakan untuk menghitung daya generator. Berikut ini tabel data pengukuran putaran rotor, tegangan, dan arus pada kecepatan angin 3,43 m/s, 4,22 m/s, 4,75 m/s dan 5 m/s serta variasi sudut 0°, 30°, 45°, 60°, dan 90°.

Tabel 1 Data Pengujian Putaran Rotor

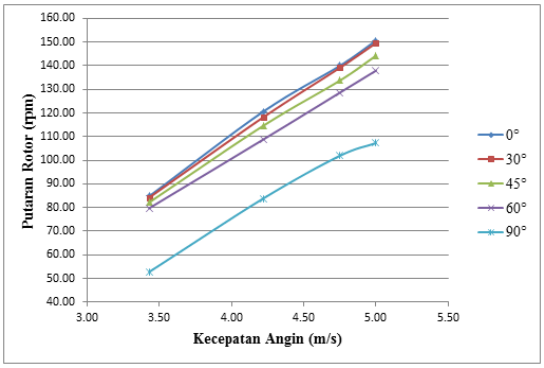
Sudut (derajat)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Rotor (rpm)		Rata-rata
		1	2	
0°	3.43	82.80	86.90	84.85
	4.22	119.80	121.40	120.60
	4.75	141.00	138.90	139.95
	5.00	148.70	152.50	150.60
30°	3.43	85.80	82.70	84.25
	4.22	116.80	119.60	118.20
	4.75	137.40	140.80	139.10
	5.00	150.70	148.40	149.55
45°	3.43	81.40	83.00	82.20
	4.22	118.70	110.50	114.60
	4.75	133.60	133.80	133.70
	5.00	146.90	141.50	144.20
60°	3.43	78.00	81.50	79.75
	4.22	109.80	107.80	108.80
	4.75	126.00	131.20	128.60
	5.00	139.50	136.30	137.90
90°	3.43	51.90	53.70	52.80
	4.22	83.50	84.20	83.85
	4.75	101.30	102.50	101.90
	5.00	106.90	107.70	107.30

Tabel 2 Data Pengujian Tegangan Dan Arus

Sudut (derajat)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (volt)		Rata-rata	Arus (Ampere)		Rata-rata
		1	2		1	2	
0°	3.43	7.70	8.90	8.30	0.039	0.041	0.040
	4.22	10.25	10.85	10.55	0.074	0.071	0.073
	4.75	11.88	11.46	11.67	0.093	0.094	0.094
	5.00	12.76	12.15	12.46	0.115	0.095	0.105
30°	3.43	7.74	8.26	8.00	0.034	0.036	0.035
	4.22	10.23	9.87	10.05	0.067	0.066	0.067
	4.75	11.84	11.16	11.50	0.083	0.085	0.084
	5.00	11.99	12.44	12.22	0.089	0.087	0.088
45°	3.43	7.62	7.60	7.61	0.039	0.039	0.039
	4.22	9.68	10.37	10.03	0.066	0.068	0.067
	4.75	11.79	11.36	11.58	0.089	0.085	0.087
	5.00	12.24	12.86	12.55	0.089	0.093	0.091
60°	3.43	6.74	6.38	6.56	0.041	0.040	0.041
	4.22	9.37	9.03	9.20	0.068	0.070	0.069
	4.75	10.42	9.68	10.05	0.081	0.087	0.084
	5.00	10.98	11.33	11.16	0.089	0.085	0.087
90°	3.43	5.29	5.44	5.37	0.027	0.028	0.027
	4.22	6.72	6.77	6.75	0.063	0.060	0.062
	4.75	8.36	8.33	8.35	0.079	0.082	0.080
	5.00	8.78	8.64	8.71	0.083	0.082	0.083

A. Analisis Kecepatan Angin terhadap Putaran Rotor

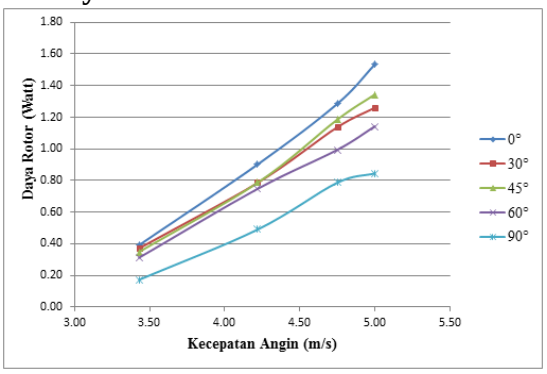
Dari data hasil pengujian dan perhitungan yang telah diketahui, maka dapat diketahui grafik hubungan kecepatan angin terhadap putaran rotor sebagai berikut.



Gambar 6 Hubungan Kecepatan Angin terhadap Putaran Rotor

Dari hasil penelitian didapatkan hasil bahwa variasi sudut 0° memiliki putaran rotor yang paling baik dari variasi sudut lainnya.

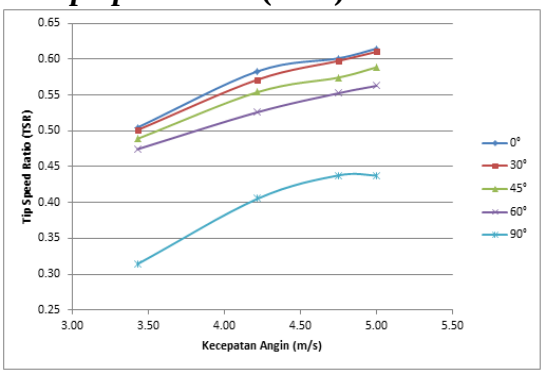
B. Analisis Kecepatan Angin terhadap Daya Rotor



Gambar 7 Hubungan Kecepatan Angin terhadap Daya Rotor

Dari hasil pengujian dan perhitungan secara matematis bahwa daya rotor yang paling besar dihasilkan pada variasi sudut 0° yaitu sebesar 1,53 Watt, sedangkan daya rotor yang paling kecil pada variasi sudut 90° yaitu sebesar 0,85 Watt pada kecepatan angin yang sama yaitu 5 m/s.

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

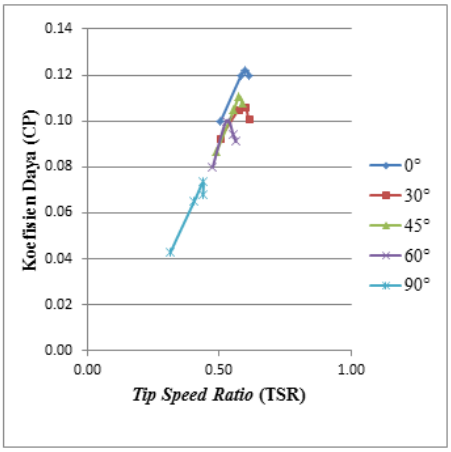


Gambar 8 Hubungan Kecepatan Angin terhadap *Tip Speed Ratio* (TSR)

Dari grafik hubungan kecepatan angin terhadap TSR diatas dapat diketahui bahwa nilai TSR tertinggi dihasilkan oleh variasi sudut 0° dan nilai TSR terendah dihasilkan oleh variasi sudut 90°, hal ini dikarenakan oleh putaran rotor dapat mempengaruhi nilai TSR.

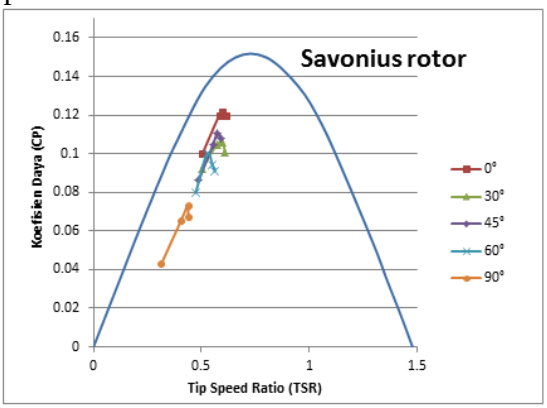
Dalam penelitian ini nilai TSR berada pada kisaran 0,31 hingga 0,61. Hal ini disebabkan karena variasi kecepatan angin yang digunakan pada pengujian adalah kecepatan angin rendah berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s.

D. Analisis CP terhadap TSR



Gambar 9 Hubungan *Tip Speed Ratio* (TSR) terhadap Koefisien Daya (CP)

Untuk nilai CP maksimal dihasilkan oleh variasi sudut 0° sebesar 0,12. Sementara nilai CP minimum dihasilkan pada sudut 90° yaitu sebesar 0,04. Hal ini disebabkan karena CP dipengaruhi oleh daya rotor, semakin meningkat daya rotor maka nilai CP akan semakin meningkat pula.



Gambar 10 CP dan TSR

Berdasarkan nilai koefisien daya (CP) dan *Tip Speed Ratio* (TSR) untuk berbagai jenis turbin angin pada dapat disimpulkan bahwa pergerakan grafik CP terhadap TSR berada di bagian dalam kubah umum grafik CP dan TSR turbin angin jenis *Savonius* seperti pada gambar di atas.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, kemudian melakukan analisa data dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi sudut 0° memiliki nilai paling tinggi yaitu sebesar 150,60 rpm pada kecepatan angin 5 m/s dibandingkan dengan variasi sudut lainnya. Putaran rotor yang paling kecil dihasilkan oleh variasi sudut 90° yaitu sebesar 107,30 rpm pada kecepatan angin yang sama yaitu 5m/s.
2. Daya rotor maksimum yang dihasilkan yaitu sebesar 1,53 Watt pada variasi sudut 0° saat kecepatan angin 5 m/s.
3. Nilai CP paling tinggi pada variasi sudut 0° dengan nilai CP sebesar 0,12 atau 12 % diperoleh pada saat *Tip Speed Ratio* sebesar 0,61 dengan kecepatan angin 5 m/s.
4. Dari semua variasi sudut yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil yang terbaik pada variasi sudut 0°.

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.

Bahri, Syamsul., Arief A, Taufan., Hamdani., 2014, *Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Empat Sudu Lengkung L*, Universitas Samudra Langsa, Aceh.

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.

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

Farid, Ahmad., 2014, *Optimasi Daya Turbin Angin Savonius Dengan Variasi Celah Dan Perubahan Jumlah Sudu*, Universitas Pancasakti, Tegal.

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

Hermawan., 2010, *Unjuk Kerja Model Turbin Angin Poros Vertikal tipe Savonius Dengan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Posisi Sudut Turbin*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin, Palembang, 13-15 Oktober 2010.

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*, Universitas Andalas, Padang.

Sargolzaei, J., 2007, *Prediction of The Power Ratio in Wind Turbine Savonius Rotors Using Artifical Neural Networks*. Zahedan, Baluchestan *University*.

Sumiati, R., 2012, *Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang*. Politeknik Negeri Padang, Padang.

White, F.M., 1986, *Fluid Mechanics.* McGraw Hill Book Company, New York.