

RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL JENIS SAVONIUS DENGAN VARIASI JUMLAH *STAGE* DAN *PHASE SHIFT ANGLE* UNTUK MEMPEROLEH DAYA MAKSIMUM

Fachrudin Suhardiman Lutfi, Gunawan Nugroho, Ali Musyafa

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. AriefRahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: fsuhardimanlutfi@gmail.com, Gunawan@ep.its.ac.id, Musyafa@ep.its.ac.id,

Abstrak—Potensi energi angin menurut badan LITBANG tentang teknologi SKEA di Indonesia telah dimulainya sejak tahun 1980-an dengan rancangan bangun rekayasa dengan berbagai prototipe SKEA untuk pembangkit tenaga listrik maupun untuk sistem pemompaan air. Dalam penelitian Tugas Akhir ini mengkaitkan rancangan bangun turbin angin vertikal jenis Savonius dengan memvariasikan jumlah *stage* dan *phase shift angle* terhadap daya maksimum yang akan diperoleh. Permasalahan dalam jumlah *stage* adalah sudut fase antar sudu pada satu *stage* ke *stage* lainnya.

Dari penelitian yang diujikan ini menggunakan delapan variasi dengan memvariasikan jumlah *stage* dan *phase shift angle*. Turbin angin Savonius dengan kinerja maksimum terbaik sebesar 179,6 rpm untuk kecepatan angin 4,6 m/s dimiliki oleh turbin dengan variasi III. Dan untuk kecepatan turbin angin (rpm) yang dipengaruhi oleh generator kinerja maksimum terbaik sebesar 162,9 rpm untuk kecepatan angin 4,6 m/s dengan tegangan keluaran sebesar 367 mV dan 5,32 mA dimiliki oleh turbin dengan variasi I. Untuk daya maksimum terbaik pada kecepatan 4,6 m/s dimiliki oleh variasi III yaitu sebesar 2022,6 μ W.

Kata kunci : Turbin angin Savonius, jumlah *stage* dan *phase shift angle*.

I. PENDAHULUAN

Potensi energi angin menurut badan LITBANG tentang teknologi SKEA di Indonesia telah dimulainya sejak tahun 1980-an dengan rancangan bangun rekayasa dengan berbagai prototipe SKEA untuk pembangkit tenaga listrik maupun untuk sistem pemompaan air. Pada tahun 2009, kapasitas terpasang dalam sistem konversi angin di seluruh Indonesia mencapai 1,4 MW yang tersebar di Pulau Selayar (Sulawesi Utara), Nusa Penida (Bali), Yogyakarta, dan Bangka Belitung. Dalam penelitian Tugas Akhir ini mengkaitkan rancangan bangun turbin angin vertikal jenis Savonius dengan memvariasikan jumlah *stage* dan *phase shift angle* terhadap daya maksimum yang akan diperoleh.

Pada penelitian sebelumnya, dilakukan penelitian jumlah *stage* dengan turbin angin helix [1]. Pada penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa jumlah *stage* dengan *aspect ratio* yang tepat dapat meningkatkan performa Savonius. Permasalahan dalam jumlah *stage* adalah sudut fase antar sudu pada satu *stage* ke *stage* lainnya. Daya maksimum yang terjadi pada turbin angin Savonius 2 *stage* atau lebih adalah superposisi antar *stage* menurut orientasi nyamasi

ng-masing. Sehingga dugaan awal pengaruh banyaknya jumlah *stage* dengan *phase shift angle* yang tepat dari 1 *stage* ke 2 *stage* dapat meningkatkan daya yang dihasilkan pada turbin Savonius.

Sehingga tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menganalisa rpm sebagai pengaruh banyaknya *stage* dan *phase shift angle* antar sudu dari *stage* satu ke yang lain. Melakukan modifikasi banyaknya *stage* dan *phase shift angle* turbin Savonius untuk mengetahui daya maksimum yang dihasilkan untuk setiap variasi.

II. PERANCANGAN DAN METODE PENGUJIAN

Dalam pengerjaan penelitian kali ini yaitu melakukan penelitian dengan membuat turbin angin Savonius dan memvariasikan jumlah *stage* dengan mengubah *phase shift angle* pada turbin angin 2 *stage* dan turbin angin 3 *stage* dan disimulasikan dengan menggunakan kecepatan Wind Tunnel.

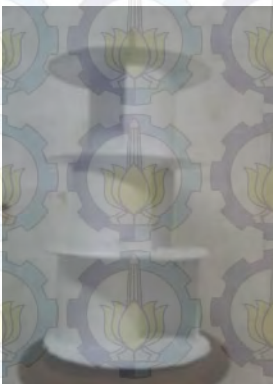
Pada penelitian ini dibuat turbin angin Savonius dengan 2 variasi jumlah *stage* dan *phase shift angle* ini menggunakan beberapa parameter yaitu *overlap ratio* adalah 20%, *aspect ratio* adalah 4,0, *end plate parameter* adalah 1:1. Ukuran sudu turbin untuk 2 *stage* sebesar 20 cm. Untuk sudu turbin 3 *stage* sebesar 13,5 cm. Spesifikasi turbin Savonius seperti dibawah ini:

Tabel 2.1 Spesifikasi Rotor Turbin Savonius

Model	Savonius
Jumlah Sudu	2 buah
Bahan Sudu	PVC
Diameter Sudu	10 cm
Diameter End Plate	21 cm
Tinggi Rotor	36 cm
Massa Rotor	0,95 Kg



Gambar 2.2 Turbin 2 stage



Gambar 2.3 turbin 3 stage

Turbin yang digunakan merupakan turbin jenis poros vertikal dengan jumlah blade 2. Model blade adalah Savonius dengan variasi jumlah stage dengan mengubah *phase shift angle* pada turbin angin 2 stage dan turbin angin 3



Gambar 2.4 Pemandu Angin buatan

Setelah hitung uji rotor turbin angin dengan menggunakan pemandu angin buatan untuk mengetahui rotor turbin angin mana yang menghasilkan daya yang lebih besar. Seperti pada gambar 3.4 pengambilan data dilakukan. Adapun langkah – langkah penelitian yang dilakukan antara lain : melakukan pengukuran data kecepatan angin berdasarkan data kecepatan angin dan dimensi Wind Tunnel tersebut, melakukan pembuatan rotor turbin angin dengan 3 variasi jumlah *stage*, melakukan langkah pengujian yaitu pemasangan rotor turbin angin pada rangka, melakukan pengujian dengan berbagai variasi

kecepatan angin yaitu 1 sampai 5 m/s dan melakukan pengambilan data kecepatan angin menggunakan anemometer, melakukan pengambilan data kecepatan putaran rotor per menit (rpm) menggunakan stroboskop dan melakukan pengambilan data besarnya daya dengan pengukuran tegangan (*volt*) dan arus listrik dari motor.

Berdasarkan data penelitian tersebut, melakukan analisis performa daya maksimal yang dihasilkan. Setelah melakukan kegiatan di atas maka dapat diambil kesimpulan dari hasil analisa data apakah tujuan dari penelitian tugas akhir ini telah terpenuhi atau tidak. Di bawah ini adalah desain 3 variasi jumlah *stage* dan *phase shift angle*. Pengujian sistem dilakukan dengan cara mengganti variasi *phase shift angle* untuk setiap *stage*. Data yang diambil merupakan data rpm, torsi, tegangan, dan arus untuk setiap variasinya, variasi tersebut meliputi :

- Variasi I : Turbin Savonius konvensional
- Variasi II : 2 stage, sudut *phase* 0°
- Variasi III : 2 stage, sudut *phase* 45°
- Variasi IV : 2 stage, sudut *phase* 90°
- Variasi V : 3 stage, stage 2 sudut *phase* 0°, stage 3 sudut *phase* 0°
- Variasi VI : 3 stage, stage 2 sudut *phase* 45°, stage 3 sudut *phase* 0°
- Variasi VII : 3 stage, stage 2 sudut *phase* 45°, stage 3 sudut *phase* 45°
- Variasi VIII : 3 stage, stage 2 sudut *phase* 45°, stage 3 sudut *phase* 90°

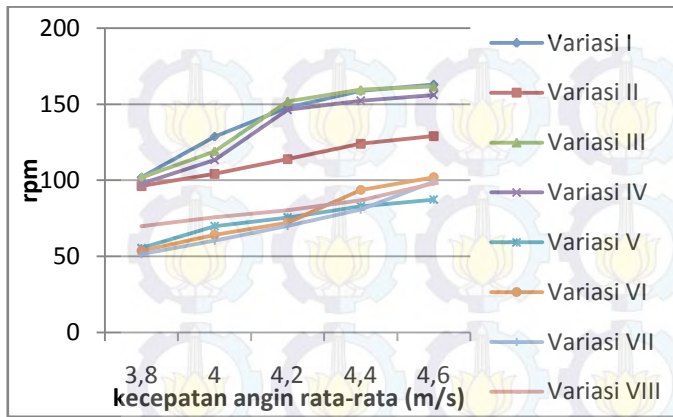
2.4 Pengambilan dan Analisa Data

- **Pengambilan data rpm**
Data rpm diukur dengan cara menggunakan stroboskop. Untuk pengambilan data rpm divariasikan kecepatan anginnya mulai dari 3 m/s sampai 4,8 m/s.
- **Pengambilan data Arus**
Data arus diambil dengan cara mencatat tampilan dari multimeter yang disetting pada arah DC Ampere pada *range* kecepatan angin yang telah ditetapkan.
- **Pengambilan data Tegangan**
Data tegangan diambil dengan cara mencatat tampilan dari multimeter yang disetting pada arah DC Volt pada *range* kecepatan angin yang telah ditetapkan. Untuk mengukur arus maka antara multimeter dengan beban dan sumber dirangkaikan seri. Sedangkan untuk mengukur tegangan adalah multimeter dirangkaikan paralel dengan sumber.

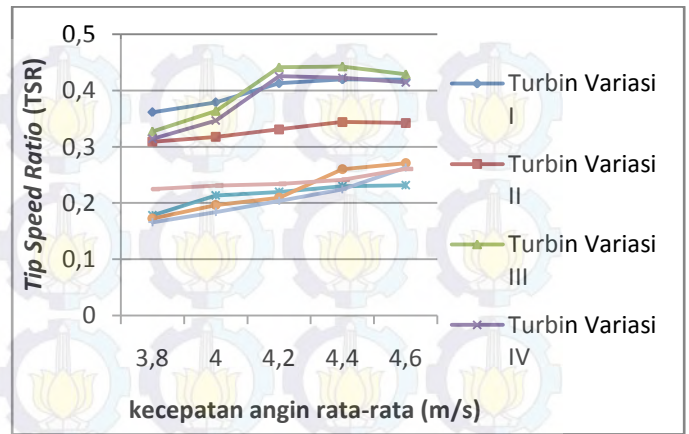
III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Data dan Pembahasan

Adapun data yang diambil dalam uji eksperimen ini adalah RPM dan tegangan dengan memvariasikan kecepatan angin antara 3,8 m/s – 4,6 m/s.



Grafik 3.1 Perbandingan Kecepatan Angin Rata-Rata dengan RPM Menggunakan Generator



Grafik 3.2 Perbandingan Tip Speed Ratio (TSR) dengan Kecepatan Angin Rata-Rata

Pembahasan

➤ **Pembahasan nilai RPM**

Dari grafik 3.1 terlihat bahwa semakin besar kecepatan angin maka nilai rpm akan meningkat secara linier. Dari grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa nilai rpm dengan dan tanpa generator mempunyai bentuk tren grafik yang sama yaitu garis linier.

Terlepas dari hasil pengujian turbin konvensional maka kinerja maksimum terbaik pada kecepatan 4,6 m/s dimiliki oleh variasi III yaitu 179,6 rpm tanpa dipengaruhi oleh generator. Pada turbin variasi III digunakan turbin dengan model yaitu 2 stage dengan masing – masing *phase shift angle* untuk stage kedua 45° dan sudu turbinnya memiliki panjang masing – masing 20 cm. Dimana untuk turbin dengan variasi III ini mempunyai *end plate* yang berjumlah 3, hal itu sangat berpengaruh terhadap kinerja turbin. Yang dimana *end plate* sendiri dalam teoritisnya berfungsi sebagai pengarah datangnya angin pada sudu positif arah datangnya angin. Sedangkan pengaruh *phase shift angle* pada turbin variasi III ini menggunakan titik sudut 45°, dimana untuk setiap sudu pada stage nya menghadap ke sisi sudu positif semua. Hal itu dapat dijadikan alasan kalau setiap sudu turbin yang menghadap sisi positif datangnya arah angin akan membantu mendorong turbin untuk melakukan putaran pertama.

Untuk kinerja terburuk pada saat kecepatan angin 4,6 m/s dimiliki oleh variasi VII yaitu 110,0 rpm tanpa dipengaruhi generator. Pada turbin variasi VII digunakan turbin dengan model yaitu 3 stage dengan stage 2 dan stage 3 *phase shift angle* untuk setiap stage –nya 45° dan sudu turbinnya memiliki panjang masing – masing 13,5 cm. Nilai rpm yang kecil ini disebabkan oleh sudu turbin positif hanya berada pada stage 1 yang menyebabkan luas daerah sapuan angin semakin kecil. Pada variasi ini turbin sangat sulit berputar karena cenderung tidak seimbang, antara sudu positif dan sudu negatif arah datangnya angin.

➤ **Pembahasan nilai Tip Speed Ratio (TSR)**

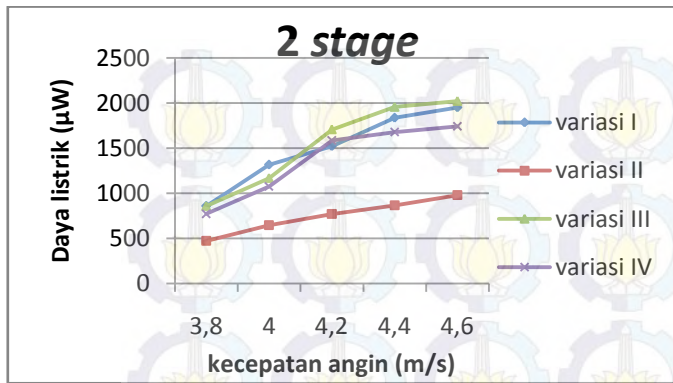
Berdasarkan eksperimen dan perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai Tip Speed Ratio (TSR) paling besar yang dihasilkan dari eksperimen tersebut.

Nilai Tip Speed Ratio (TSR) adalah kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Jika rotor berputar terlalu lambat, hal ini memungkinkan terlalu banyak angin untuk melewati turbin angin sehingga turbin angin terganggu untuk berputar. Dan dengan demikian energi angin yang melewati turbin angin tersebut tidak terekstrak sebanyak energi angin yang melewati sudu tersebut. Di sisi lain, jika rotor turbin berputar terlalu cepat tampaknya angin yang melewati rotor tersebut menciptakan sejumlah besar drag. Berdasarkan grafik 3.2 nilai Tip Speed Ratio (TSR) terbaik dimiliki oleh variasi III. Hal ini disebabkan karena variasi III menghasilkan putaran kecepatan ujung rotor dengan kecepatan angin bebas sesuai dengan apa yang disampaikan pada teori. Yaitu nilai Tip Speed Ratio akan menyerupai grafik parabola terbalik seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Pada turbin variasi III menggunakan model yaitu 2 stage dengan masing – masing *phase shift angle* untuk stage kedua 45° dan sudu turbinnya memiliki panjang masing – masing 20 cm. Nilai Tip Speed Ratio dihasilkan turbin variasi III dengan variasi I hampir sama. Putaran yang dihasilkan pada turbin variasi III ini sama besar dengan turbin konvensional dikarenakan luas sapuan yang dikenai angin atau sisi sudu positif datangnya angin luas.

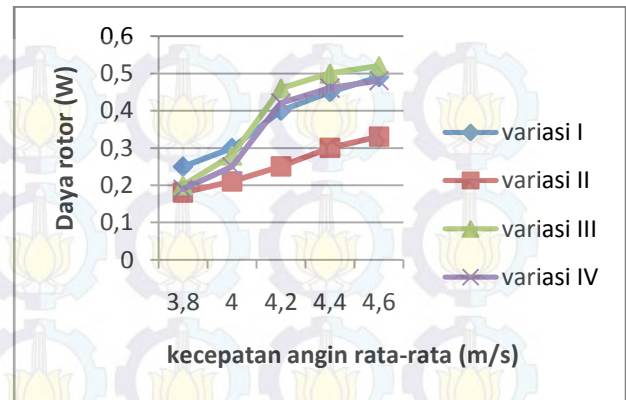
Nilai Tip Speed Ratio terburuk terjadi pada variasi V dan variasi VIII. Hal ini dikarenakan luas sapuan yang dikenai angin atau sisi sudu positif datangnya angin semakin menyempit. Dan beban yang dimiliki oleh rotor variasi ini berat untuk berputar. Sehingga nilai dari Tip speed ratio tergantung pada profil yang digunakan, jumlah pisau, dan jenis turbin angin yang digunakan.

➤ **Pembahasan nilai daya listrik**

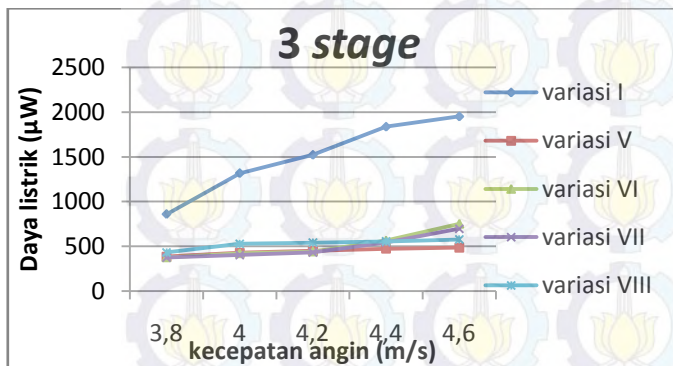
Berdasarkan eksperimen dan perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai daya paling besar yang dihasilkan dari eksperimen tersebut. Adapun hasil perhitungan dan pengukuran daya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:



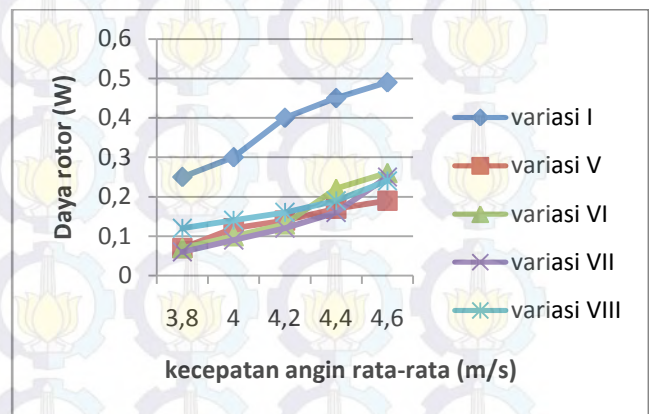
Grafik 3.3 Pengukuran Daya variasi I-IV VS Kecepatan Angin Rata-Rata



Grafik 3.5 Pengukuran Daya rotor variasi I-IV VS Kecepatan Rata-Rata Angin



Grafik 3.4 Pengukuran Daya variasi V-VIII VS Kecepatan Angin Rata-Rata



Grafik 3.6 Pengukuran Daya rotor variasi V-VIII VS Kecepatan Rata-Rata Angin

Berdasarkan grafik 3.3 dan 3.4 daya maksimum terbaik pada kecepatan 4,6 m/s dimiliki oleh variasi III yaitu sebesar 2022,6 μW . Hal ini disebabkan karena variasi III menghasilkan putaran yang relatif sama besar. Pada turbin variasi III menggunakan model yaitu 2 *stage* dengan masing – masing *phase shift angle* untuk *stage* kedua 45^0 dan sudu turbinnya memiliki panjang masing – masing 20 cm. Daya yang dihasilkan turbin variasi I dengan variasi III hampir sama. Putaran yang dihasilkan pada turbin variasi III ini sama besar dengan turbin konvensional dikarenakan luas sapuan yang dikenai angin atau sisi sudu positif datangnya angin luas.

Daya maksimum terburuk kecepatan 4,6 m/s terjadi pada variasi VIII dengan rpm sebesar 576,1 μW . Hal ini dikarenakan luas sapuan yang dikenai angin atau sisi sudu positif datangnya angin semakin menyempit. Dan beban yang dimiliki oleh rotor variasi ini berat untuk berputar.

➤ **Pembahasan Daya Rotor**

Setelah diketahui berdasarkan eksperimen dan perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai daya listrik paling besar yang dihasilkan dari eksperimen tersebut. Adapun hasil perhitungan dan pengukuran daya dapat dilihat pada grafik dibawah ini:

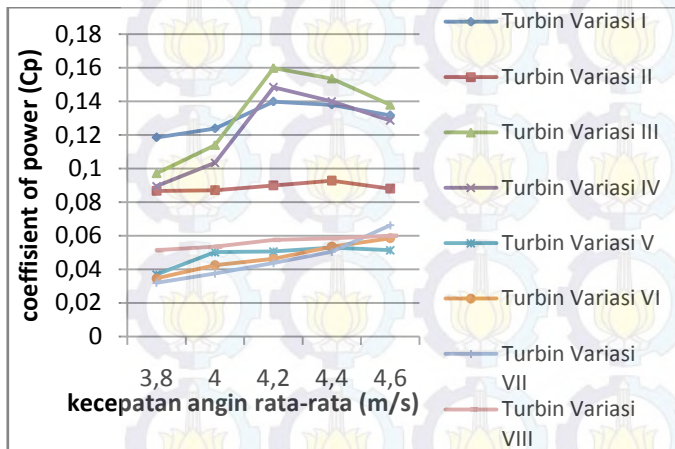
Berdasarkan grafik 3.5 dan 3.6 daya maksimum terbaik pada kecepatan 4,6 m/s dimiliki oleh variasi III yaitu sebesar 0,52 W. Hal ini disebabkan karena variasi III menghasilkan putaran yang relatif sama besar. Pada turbin variasi III menggunakan model yaitu 2 *stage* dengan masing – masing *phase shift angle* untuk *stage* kedua 45^0 dan sudu turbinnya memiliki panjang masing – masing 20 cm. Daya yang dihasilkan turbin variasi I dengan variasi III hampir sama. Putaran yang dihasilkan pada turbin variasi III ini sama besar dengan turbin konvensional dikarenakan luas sapuan yang dikenai angin atau sisi sudu positif datangnya angin luas.

Daya maksimum terburuk kecepatan 4,6 m/s terjadi pada variasi VII dengan rpm sebesar 0,25 W. Hal ini dikarenakan luas sapuan yang dikenai angin atau sisi sudu positif datangnya angin semakin menyempit. Dan beban yang dimiliki oleh rotor variasi ini berat untuk berputar. Selanjutnya dari plot diatas, dapat disimpulkan bahwa ketika jumlah *stage* meningkat dari satu sampai dua rotor menunjukkan karakteristik kinerja yang lebih baik, namun kinerja rotor tersebut akan rusak ketika jumlah *stage* menjadi tiga. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan inersia dari rotor.

➤ **Pembahasan nilai Coefficient of Power**

Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara dan kecepatan angin, tersebut dapat dijelaskan bahwa daya listrik yang dihasilkan sebuah turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan luas dari sudu turbin atau luas daerah

sapuan angin. Jadi semakin besar nilai kecepatan angin dan luas daerah sapuan angin maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Akan tetapi daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan sapuan rotor adalah sekitar 59,3% saja. Nilai 59,3% tersebut adalah nilai efisiensi maksimum yang mampu dihasilkan dari sistem *wind turbine*. Oleh karena itu dilakukan analisa *coefficient of power* (Cp) yang dimiliki oleh turbin angin tersebut. Analisa ini perlu dilakukan untuk mengetahui pada kondisi yang seperti bagaimana turbin dapat bekerja maksimum yang ditunjukkan oleh *coefficient of power* yang tinggi. Perhitungan nilai Cp itu sendiri dapat diperoleh dengan cara membandingkan nilai daya rotor dengan nilai daya input (daya angin). Perhitungan nilai Cp dapat dilihat pada grafik 3.7 dibawah ini:



Grafik 3.7 Coefficient of Power (Cp) terhadap Kecepatan Angin Rata-Rata

Coefficient of power (Cp) dari rotor Savonius juga tergantung pada jumlah *stage*. Pengujian telah dilakukan dengan memvariasikan jumlah *stage* (dari satu sampai tiga), dengan memvariasikan *phase shift angle* (sudut fasa) antar sudu untun mengoptimalkan jumlah *stage*. Variasi *coefficient of power* (Cp) dengan kecepatan untuk tiga rotor ditunjukkan pada grafik 3.7. Dalam hal ini jumlah sudu dan geometri sudu tetap. Ketika jumlah *stage* meningkat dari satu *stage* ke dua, nilai Cp meningkat pesat terutama pada bentuk turbin variasi III. Yaitu turbin dengan dua *stage* dan sudut antar fasanya 45⁰ ditunjukkan pada grafik 3.7 diatas. Pada turbin variasi III tersebut nilai Cp meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Dalam hal ini nilai Cp maksimum pada kecepatan angin 4,2 m/s dimiliki oleh turbin angin variasi III yaitu sebesar 0,159 Watt.

Namun ketika jumlah *stage* meningkat dari dua ke tiga, kinerja menurun karena peningkatan inersia dari rotor. Sehingga dari beberapa tabel diatas dapat disimpulkan bahwa ketika jumlah *stage* ditingkatkan dari satu ke dua, rotor menunjukkan karakteristik kinerja yang lebih baik. Akan tetapi kinerja akan rusak ketika jumlah *stage* menjadi tiga. Hal ini terjadi disebabkan oleh peningkatan inersia dari rotor. Dari eksperimen ini, jelas bahwa jumlah *stage* yang mampu menghasilkan daya maksimum untuk rotor Savonius adalah dua *stage*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dirancang sebuah sistem turbin angin dengan dua *stage* dan sudut fasa 45⁰ yang mampu menghasilkan daya listrik maksimum sebesar 2022,6 μW, kecepatan turbin 161,6 rpm pada kecepatan angin 4,6 m/s karena pada rancang bangun sistem turbin ini luas area permukaan sudu positif datangnya angin lebih besar dari pengaruh *phase shift angle* sebesar 45⁰.
2. Dari hasil eksperimen tugas akhir ini menghasilkan nilai Cp maksimum dari sistem turbin angin Savonius diperoleh saat menggunakan variasi III dengan dua *stage* dan sudut fasa 45⁰ yaitu sebesar 0,159 pada kecepatan angin 4,2 m/s.

4.2 Saran

Dari tugas akhir yang dilakukan, saran – saran yang dapat diberikan adalah sebaiknya dilakukan penelitian mengenai desain bentuk *stage* dan bentuk sudu. Dan yang kedua yaitu pengembangan desain *phase shift angle* yang lebih bervariasi untuk turbin Savonius tiga *stage*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J.Kubernuss n, J.Chen,H.X.Yang,L.Lu (2012). *Investigation Into The Relationship Of The Overlap Ratio And Shift Angle Of Double Stage Three Bladed Vertical Axis Wind Turbine(VAWT)*. Journal.

[2] Johnson, Gary L. (2001). *Wind Energy Systems*.

[3] Munson, Bruce. R., Donald F.Young, Theodore H. Okiishi. (2002). *Fundamental of Fluid Mechanics, Fourth Edition*. New York : John Wiley & Sons, Inc.

[4] Tony Burton. (2001) *Wind Energy Handbook*. England: Jhon Wiley & Sons Ltd

[5] Puslitbang BMKG. (2008)

[6] U.K. Saha, S. Thotla, D. Maity. (2008) *Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96 (2008) 1359– 1375

[7] Nobuyuki Fujisawa. (1992). *On The Torque Mechanism of Savonius Rotors*. Japan : Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Gunma university.

[8] David Pimentell. (2008). *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems*. USA: Springer.

[9] Reupke. P, Probert. S. D. (1991). *Slatted-Blade Savonius Wind-Roors*. UK: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Cranfield Institue of Technology.

[10] Mahmoud. N. H, El-Haroun. A.A. (2012). *An Experimental Study on Improvement of Savonius Rotor Performance*. Egypt: Alexandria Engineering Journal.

[11] Damanik Asam. (2011). *Fisika Energi*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma

[12] Hester. R.E, Harrison. R.M. (2003). *Sustainability and Environmental Impact of Renewable Energy Sources*. UK: Bookcraft Ltd.