

Received : Agustus 2022

Accepted: Juni 2023

Published : Juni 2023

UJI PERFORMA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE U BERDASARKAN VARIASI SUDUT *GUIDE VANE*

Cahaya Irani¹, Bayu Rudianto^{1*}, Risse Entikaria Rahmanita¹

¹Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember, Jalan Matrip PO BOX 164 Jember, 68121

*E-mail : bayu_rudianto@polije.ac.id

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of adding a guide vane or deflector on the performance of the Savonius Type U wind turbine as an effort to improve the performance of the Savonius Type U wind turbine. This research is a type of experimental research, including the addition of a guide vane or wind direction consisting of 3 variations of the pitch angle on the guide vane, including 30°, 60° and 80° with variations in wind speed using a variation of the distance of 150 cm, 180 cm and 200 cm from the source. wind in the form of a blower to the Savonius Type U wind turbine by testing using a generator and without a generator and comparisons with the data without using a guide vane on the Savonius Type U wind turbine. The observed and measured factors are wind speed, power, rpm (rotation per minute), torque and Cp (coefficient of power). The results of the experimental research carried out obtained maximum data results on the Savonius Type U wind turbine on the variation of the addition of a 40° pitch angle guide vane with a distance of 150 cm, an average wind speed of 7.6 m / s to 7.9 m / s with a turbine rotation. equal to 218.1 rpm the power generated is 61.70 Watt with a Cp of 0.88%, torque of 3.46 Nm using a load of 12 Watt LED lights.

Keywords : Wind Steering, Guide Vane, U Type Savonius Turbine

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *guide vane* atau *deflector* terhadap performa turbin angin Savonius Tipe U sebagai upaya peningkatan kinerja turbin angin Savonius Tipe U. Penelitian ini adalah jenis penelitian eksperimen, meliputi penambahan *guide vane* atau pengarah angin terdiri dari 3 variasi sudut *pitch* pada *guide vane* antara lain 30°, 60° dan 80° dengan variasi kecepatan angin menggunakan variasi jarak 150 cm, 180 cm dan 200 cm dari sumber angin berupa *blower* menuju turbin angin Savonius Tipe U dengan pengujian menggunakan generator dan tanpa generator dan dilakukan perbandingan dengan data tanpa menggunakan *guide vane* pada turbin angin Savonius Tipe U. Faktor – faktor yang diobservasi dan diukur yaitu kecepatan angin, daya, rpm (*rotation per minute*), torsi dan Cp (*Coefficient of power*). Hasil penelitian eksperimen yang dilakukan mendapat hasil data yang maksimal terhadap turbin angin Savonius Tipe U pada variasi penambahan *guide vane* sudut *pitch* 40° dengan jarak 150 cm rata – rata kecepatan angin 7,6 m/s sampai 7,9 m/s dengan putaran turbin sebesar 218,1 rpm daya yang dihasilkan sebesar 61,70 Watt dengan Cp sebesar 0,88%, Torsi sebesar 3,46 Nm menggunakan beban lampu LED 12 Watt.

Kata kunci : Pengarah Angin, *Guide Vane*, Turbin Savonius Tipe U

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan suatu komponen terpenting dalam kehidupan dan kebutuhan

energi ini semakin lama semakin mengalami peningkatan setiap harinya, sehingga perlu dilakukan suatu inovasi atau pengganti energi alternatif yang memanfaatkan alam sebagai

penggantinya dan untuk mengurangi ketergantungan manusia terhadap energi yang didapat dari fosil. Dari total konsumsi energi pada tahun 2013 sebesar 1,1 milyar BOE (*Barrel Oil Equivalent*), penggunaan bahan bakar konvensional cukup mendominasi seperti minyak bumi dan batubara [1] sehingga perlu adanya suatu energi dari alam yang bisa dimanfaatkan dan berpotensi besar sebagai suatu energi pengganti atau energi baru terbarukan seperti memanfaatkan energi matahari, energi angin, energi air bahkan sumber energi dari tenaga gelombang dan perbedaan temperatur di laut. Seperti diketahui Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah lintasan pergerakan udara pada garis khatulistiwa sehingga angin berhembus setiap tahunnya di wilayah Indonesia, potensi untuk memanfaatkan energi angin sangat tepat dilakukan pada wilayah Indonesia khususnya di daerah pantai atau laut, alternatif energi angin sebagai energi terbarukan di Indonesia sangat perlu pengkajiannya sehingga dalam hal tersebut dapat diketahui berapa potensi energi angin yang ada dari setiap wilayah di Indonesia yang memiliki garis pantai sepanjang 80.791, 42 km menjadi wilayah yang sangat potensial untuk mengembangkan PLTA.

Melihat kecepatan angin di pesisir pantai Indonesia secara umum 3 m/s hingga 5 m/s dimana katan angin tersebut masih dalam skala rendah, diperkirakan total potensi energi mencapai 9 GW, suatu potensi yang sangat besar untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Dengan potensi kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi akan sangat sulit untuk memproduksi energi listrik dalam skala besar. Maka penting untuk melakukan pengembangan konversi energi angin dalam skala rendah agar dapat menunjang kebutuhan listrik yang semakin hari semakin meningkat akibat tingginya laju pertumbuhan penduduk di Indonesia, selain itu juga dapat membantu untuk tidak bergantung pada energi fosil atau energi tak terbarukan yang semakin tahun akan habis ketersediannya, sehingga dapat dialihkan pada energi terbarukan untuk

mendapatkan energi yang dapat diperbarui dan berasal dari potensi alam di Indonesia.

Salah satu solusi untuk mengurangi ketergantungan dengan energi tak terbarukan dan menunjang kebutuhan listrik adalah dengan memanfaatkan potensi energi angin pada kondisi kecepatan angin di Indonesia dengan penggunaan turbin angin yang merupakan salah satu energi terbarukan dan dapat menghasilkan listrik yang dapat ditingkatkan untuk daya listrik yang akan dihasilkan dengan cara melakukan beberapa modifikasi atau memaksimalkan daya listrik yang dihasilkan oleh turbin angin. Modifikasi pada bagian rotor dan penambahan *guide vane* atau komponen tambahan yang digunakan disekitar turbin angin untuk mengarahkan angin langsung menuju *blade* menjadi hal yang sangat berpengaruh terhadap kinerja dari turbin angin. Prinsip konsep deflektor dapat diterapkan untuk meningkatkan gaya angkat pada turbin angin sumbu vertikal juga karena gaya angkat *returning blade* pada turbin angin sumbu vertikal angkat sejajar dengan arah angin, torsi *negative returning blade* tidak sebesar seperti turbin angin sumbu vertikal berbasis *drag*. Oleh karena itu, keuntungan diwujudkan dengan angin yang terhambat secara langsung dari *returning blade* dengan deflektor lebih kecil dibandingkan turbin angin sumbu vertikal berbasis *drag* savonius [2].

Hasil penelitian turbin angin menggunakan *guide vane* menunjukkan adanya peningkatan daya keluar 3,48 kali dibandingkan dengan turbin angin tanpa menggunakan *guide vane* [3], menganalisa desain *omni-directional guide vane* pada turbin angin sumbu vertikal. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan *omni-directional guide vane* mampu meningkatkan koefisien daya 48%. [4] melakukan eksperimen pada kinerja turbin angin vertikal. Dengan melakukan penelitian tanpa deflektor dan dengan deflektor, dengan sudut *pitch* 30°, 45° dan 60°. Koefisien maksimum yang didapatkan yaitu 45,4% pada sudut *pitch* 45° dengan kecepatan angin 7,56 m/s. Penelitian

ini dilakukan dengan menggunakan turbin angin Savonius Tipe U dengan 2 sudu dan penambahan *wind deflector* berupa *guide vane* atau komponen yang digunakan disekitar turbin angin untuk mengarahkan angin langsung menuju *blade* sehingga angin yang masuk menuju turbin akan lebih maksimal dalam menggerakkan turbin angin dan menghasilkan daya listrik lebih maksimal. Dalam penelitian ini dihasilkan nilai koefisien daya dan *tip speed ratio*, sehingga dari variasi ini didapatkan nilai koefisien daya total, selanjutnya hasil atau keluaran dari penelitian dihasilkan turbin angin dengan kerja optimal dan daya yang maksimal.

2. Metoda Penelitian

2.1. Tahapan Alur Penelitian dan Pengujian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Kegiatan penelitian meliputi studi literatur, persiapan alat instalasi turbin angin kombinasi Savonius Tipe U, pengujian turbin angin Savonius Tipe U dengan penambahan sudu pengarah atau *guide vane*, pengambilan data dan pembahasan. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur kecepatan angin, rpm (*rotasi per minute*), daya keluaran generator dan torsi daya.

2.2. Alat dan Bahan

a. Bahan

Bahan yang digunakan untuk proses pembuatan *guide vane* :

1. Tripleks Jenis Kayu Meranti
2. Plat Besi Tebal 1,5 mm
3. Baut 8 mm

b. Alat

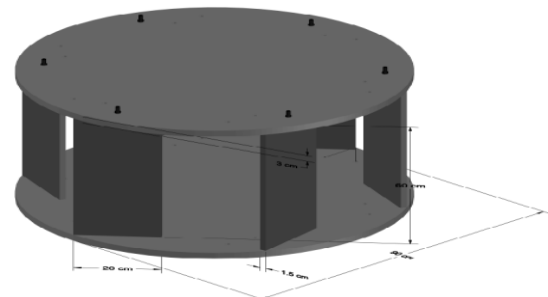
Alat yang digunakan untuk proses pembuatan *guide vane* :

1. Penggaris
2. Jangka Sorong
3. Gergaji
4. Bor Tangan
5. Toolbox
6. Las Listrik
7. Busur
8. Palu
9. Kikir

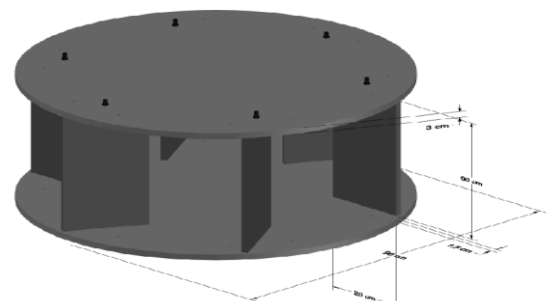
9. Ampelas
- c. Alat yang digunakan pada proses pengujian *guide vane* :
1. Lampu LED 12 Watt
 2. *Tachometer*
 3. Multimeter Digital
 4. Neraca Pegas Digital
 5. *Anemometer*
 6. Generator DC *lucas nulle* 500 watt
 7. Turbin Angin Savonius Tipe U

• Spesifikasi *Guide Vane*

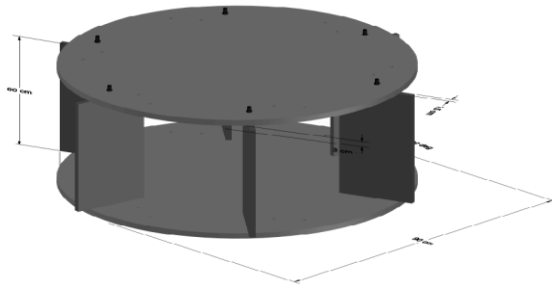
Dimensi yang sudah ditentukan dengan parameter-parameter yang digunakan merupakan nilai optimal maka dapat diketahui dimensi dari *guide vane* untuk pengarah aliran angin menuju langsung masuk ke turbin angin Savonius Tipe U, dimensi dan spesifikasi turbin Savonius Tipe U dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Model 3D Tampak Keseluruhan Pada Sudut Kemiringan 40°



Gambar 2. Model 3D Tampak Keseluruhan Pada Sudut Kemiringan 60°



Gambar 3. Model 3D Tampak Keseluruhan Pada Sudut Kemiringan 80°

Tabel 1. Spesifikasi *Guide Vane*

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Diameter <i>End Plate</i>	90 cm
2	Ketebalan <i>End Plate</i>	6 mm
3	Jumlah Sudu	6 Buah
4	Material <i>End Plate</i>	Kayu Tripleks
5	Material Sudu	Plat Besi
6	Ketebalan Sudu	1,5 mm
7	Tinggi Sudu	60 cm
8	Lebar Sudu	20 cm

A. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

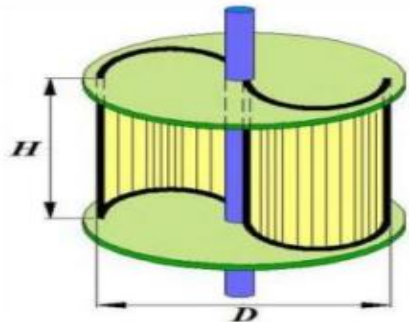
Besarnya energi kinetik yang tersimpan pada angin dengan massa (m) dan kecepatan (v) dapat dirumuskan sebagai berikut [8] :

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

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 4. Diagram Skematik Turbin Angin Rotor Savonius(Ali,2013)

Dimana :

- D = Diameter Rotor (m)
- H = Tinggi Sudu (m)

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

$$Pw = \frac{1}{2} \rho Av^3 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- Pw = Daya Angin (Watt)
- ρ = Kerapatan Udara (kg/m³)
- A = Luas Penampang (m²)
- v = Kerapatan Angin (m/s)

B. Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. TSR dilambangkan dengan λ [9] :

$$\lambda = \frac{Blade\ tip\ speed}{wind\ speed} \dots\dots\dots (3)$$

Blade tip speed merupakan kecepatan ujung bilah yang dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Blase\ tip\ speep = \frac{Rotational\ speed\ (rpm)\pi r \times D}{60s} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- D = Diameter lengan turbin angin (m)

C. Koefisien Daya (Cp) dan Torsi

Pertimbangan utama suatu performa turbin angin adalah torsi hasil dari rotor serta koefisien dayanya. Torsi merupakan ukuran kuantitatif dari kecendrungan sebuah gaya untuk menyebabkan atau mengubah gerak rotasi dari suatu benda. Torsi total yang bekerja pada suatu benda tegar, yang ditimbulkan dari sebuah gaya sehingga menimbulkan suatu benda berotasi pada porosnya. Hal ini menunjukkan seberapa besar energi yang berhasil diekstrak dari instalasi rotor pada turbin. Secara teoritis efisiensi dari turbin angin ditunjukkan dalam kurva *coefisien power* (Cp).

Koefisien daya adalah perbandingan antara nilai energi mekanik yang dihasilkan dari perputaran rotor dan energi kinetik dari angin yang melintasi rotor. Keluaran energi mekanik dari rotor merupakan daya yang bervariasi torsi dan kecepatan putar dari rotor. Sementara untuk mengetahui daya rencana turbin dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 C_p \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

- P = Daya Turbin (Watt)
- ρ = Massa Jenis Angin (Kg/m³)
- A = Luas Sapuan Turbin (m²)
- V = Kecepatan Angin (m/s)
- r = Jari – jari Turbin (m)
- C_p = Coefficient Power Turbin

Sementara koefisien daya, dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$C_p = \frac{\text{extraced energy}}{\text{wind kinetic energy}} = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho AV^3} = \frac{T \omega}{\frac{1}{2} \rho AV^3} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

- C_p = Coefficient of power
- P = Daya Turbin (Watt)
- T = Torsi Turbin Angin (Nm)
- ω = Putaran Turbin Angin (rad/s)
- ρ = Massa Jenis Udara (Kg/m³)= 1.225 kg/m³
- A = Luas Penampang Turbin (m²)
- v = Kecepatan Angin (m/s)

Sementara untuk mengetahui nilai torsi dari turbin angin dapat diketahui dengan menggunakan persamaan dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$T = F \times r \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

- T = Torsi
- F = Gaya (Kg.m/s²)
- r = Lengan Gaya (m)

Gaya yang bekerja pada turbin atau *F*, merupakan gaya putar dari turbin. Gaya dari putaran turbin dapat diketahui nilainya dengan menggunakan persamaan massa dikalikan dengan percepatan. Percepatan yang digunakan dalam persamaan ini merupakan percepatan putaran turbin, Persamaan gaya dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$F = m \times a \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

- m = Massa (Kg)
- a = Percepatan Putaran Turbin (m/s²)

D. Daya Generator

Dengan mengukur besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan, dapat diketahui besarnya daya generator. Daya generator dapat dihitung dengan menggunakan rumus [10] :

$$P_g = V \times I \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

- P_g = Daya Generator (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

3. Hasil Penelitian

3.1. Pengujian Turbin

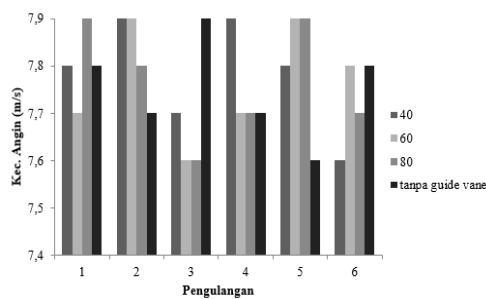
Pengujian unjuk kerja turbin angin Savonius Tipe U 2 sudu berbahan *Fibber Glass* dilakukan dengan tiga variasi sudut kemiringan atau *pitch* pada *blade* deflektor atau *guide vane* dan tiga variasi jarak antara blower dengan turbin angin Savonius Tipe U. Pengujian untuk mendapatkan karakteristik turbin angin vertikal meliputi pengukuran kecepatan angin, kecepatan putar poros (*rpm*), torsi, serta tegangan dan arus listrik pada turbin angin Savonius Tipe U dengan penambahan deflektor *guide vane* atau pengarah angin dari blower menuju ke turbin angin Savonius Tipe U menggunakan tiga variasi sudut *pitch* 40°, 60° dan 80° serta tiga variasi jarak antara blower dengan turbin angin yaitu dengan jarak 150 cm, 180 cm dan

200 cm dilakukan pada setiap variasi sudut *pitch*, dengan pengujian menggunakan beban generator dan tanpa beban generator untuk membangkitkan daya dari lampu LED 12 watt, berdasarkan karakteristik pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai koefisien daya dan TSR (*Tip Speed Ratio*) dalam suatu grafik, serta mengetahui hubungan kecepatan putaran turbin pada poros terhadap torsi turbin angin Savonius Tipe U.

3.2. Analisa Data

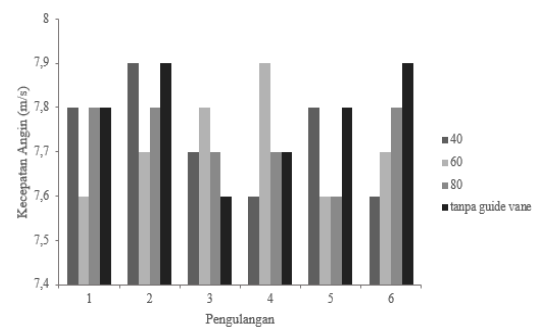
Analisa data dilakukan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi kinerja turbin angin. Berdasarkan hasil pengujian dan pengambilan data, variabel yang akan di analisis pada kinerja turbin angin Savonius Tipe U meliputi : pengaruh kecepatan angin terhadap rpm (*ratio per minute*) turbin angin, rpm turbin angin terhadap daya generator, dan nilai TSR (*Tip Speed Ratio*) terhadap koefisien daya turbin angin. Pengujian yang dilakukan setiap jarak yang sudah ditentukan untuk menghasilkan kecepatan angin yang berbeda.

Analisis kecepatan angin terhadap putaran turbin dengan waktu 100 detik, perbandingan variasi jarak, variasi sudut *pitch* *guide vane* dan tanpa *guide vane* tanpa generator, pengaruh kecepatan angin menggunakan *guide vane* dan tanpa *guide vane* pada variasi jarak 150 cm yang dimana pada jarak tersebut memiliki kecepatan angin maksimal rata – rata sebesar 7,9 m/s berikut merupakan gambar grafik hasil pengujian turbin angin Savonius Tipe U :



Gambar 5. Grafik Pengaruh Kecepatan Angin Tanpa Beban pada Jarak 150 cm

Berdasarkan Gambar 5 pada grafik diatas yang dihasilkan dari kedua variasi yaitu penambahan *guide vane* dan tanpa *guide vane* pada turbin angin Savonius Tipe U dengan variasi jarak 150 cm, 180 cm dan 200 cm bertujuan untuk mengetahui bagaimana kemampuan turbin angin dengan variasi kecepatan angin dan mampu meningkatkan kemampuan *self starting*. Terlihat pada grafik diatas kecepatan angin tertinggi berada pada jarak 150 cm dari turbin angin Savonius Tipe U dengan rata – rata kecepatan angin sebesar 7,9 m/s untuk kecepatan angin tertinggi, sementara 7,6 m/s untuk kecepatan angin terendah, dengan variasi penambahan *guide vane* dan variasi sudut *pitch* 40° mendapatkan kecepatan angin yang lebih besar dari kecepatan angin tanpa menggunakan *guide vane* karena pada saat angin masuk menuju ke turbin angin *guide vane* berfungsi sebagai deflektor atau pengarah angin yang mampu mengarahkan angin untuk menerpa langsung sudu dari turbin angin sehingga dapat menghasilkan kecepatan angin yang tinggi, sedangkan berdasarkan dengan demikian variasi jarak pada pengujian turbin angin Savonius Tipe U tersebut sangat mempengaruhi terhadap kecepatan angin yang mampu menerpa turbin angin sehingga dapat diketahui berapa jarak terbaik turbin angin mampu berputar dengan maksimal.



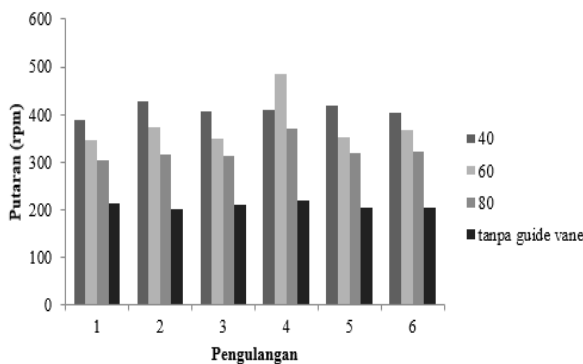
Gambar 6. Grafik Pengaruh Kecepatan Angin dengan Beban pada Jarak 150 cm

Analisis data hasil pengujian dapat dibandingkan kinerja turbin dengan generator beban lampu LED 12 Watt terhadap kecepatan angin yang dihasilkan pada saat

penambahan beban. Berikut merupakan grafik pengaruh kecepatan angin menggunakan *guide vane* dan tanpa *guide vane* dengan beban dapat dilihat pada Gambar Grafik 6 :

Berdasarkan gambar 6 grafik yang dihasilkan menunjukkan pada pengujian menggunakan beban dengan variasi penambahan *guide vane* pada jarak 150 cm kecepatan angin tertinggi sebesar 7,9 m/s pada sudut *pitch* 60°, kecepatan angin tersebut sama dengan kecepatan angin tanpa menggunakan *guide vane*. Sementara itu dengan penambahan beban generator dan lampu LED 12 Watt pada turbin angin maka kecepatan angin yang dihasilkan dapat mempengaruhi putaran turbin terhadap beban generator untuk membangkitkan daya lampu LED 12 Watt dengan maksimal.

Analisis terhadap putaran turbin dengan waktu 100 detik, perbandingan variasi *guide vane* dan tanpa *guide vane* tanpa beban generator pada jarak 150 cm dapat dilihat pada Gambar Grafik 7 berikut :

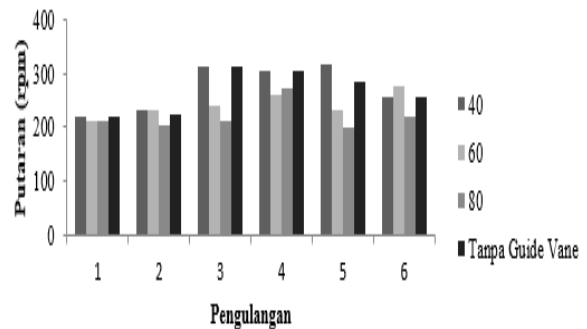


Gambar 7. Grafik Pengaruh Putaran Angin Tanpa Beban pada Jarak 150 cm

Berdasarkan Gambar 7 grafik yang dihasilkan dengan penambahan *guide vane* pada jarak 150 cm menghasilkan rpm sebesar 485,5 rpm pada sudut *pitch* 60° pada pengulangan ke-4, sedangkan pada variasi tanpa *guide vane* menghasilkan rpm sebesar 218,2 rpm pada pengulangan ke-4. Penambahan *guide vane* dapat meningkatkan tekanan disepanjang luasan sudu, dengan demikian gaya *drag* pada turbin angin Savonius Tipe U juga dapat meningkat, selain itu berdasarkan hasil analisis dengan variasi

guide vane menyebabkan turbin angin berakselerasi lebih cepat, hasil tersebut didapat karena udara yang langsung masuk menuju turbin angin atau dapat menerpa langsung sudu dari turbin angin Savonius Tipe U.

Analisis terhadap putaran turbin dengan waktu 100 detik, perbandingan variasi *guide vane* dan tanpa *guide vane* dengan beban generator dan dapat dilihat pada Gambar 18 berikut :



Gambar 8. Grafik Pengaruh Putaran Angin dengan Beban pada Jarak 150 cm

Gambar 8 merupakan grafik kecepatan aliran angin terhadap Rpm atau kecepatan putar turbin setiap pengambilan waktu selama 100 detik. Pada Gambar 4.13 diketahui bahwa dari 3 variasi kecepatan angin yang dihasilkan dari sumber angin berupa blower, peningkatan terjadi pada jarak 150 cm dimana kecepatan angin maksimal yang dihasilkan sebesar 7,8 m/s pada sudut *pitch* 40° dengan Rpm yang dihasilkan sebesar 315,3 pada pengulangan pengambilan data ke-5 hasil Rpm jauh lebih besar dengan menggunakan *guide vane* sementara hasil tanpa menggunakan *guide vane* menghasilkan Rpm sebesar 312,1 pada pengulangan ke-3 dengan kecepatan angin sebesar 7,6 m/s, Gaya yang diberikan oleh aliran udara akan berbeda – beda pada setiap kecepatan aliran udara yang berbeda pula, dimana semakin cepat aliran udara maka akan semakin besar gaya yang diberikan untuk memutar turbin sehingga turbin akan menghasilkan putaran yang lebih besar pula. Pengaruh kecepatan angin terhadap putaran rotor turbin angin berlaku sama dengan penambahan sudu pengarah atau *guide vane*

maupun tanpa sudu pengarah, tetapi dengan turbin dengan penambahan sudu pengarah mengalami peningkatan jumlah putaran turbin. Peningkatan putaran pada turbin dengan penambahan sudu pengarah disebabkan oleh penyempitan arah aliran udara hanya difokuskan menuju bilah turbin cekung (positif) sehingga mengakibatkan gaya *drag* dari aliran udara menuju bilah cekung lebih besar. Pemfokusan arah aliran menuju bilah cekung mengakibatkan beban putar bilah cembung (negatif) menjadi lebih ringan. Hal tersebut akan berbeda apabila tidak disertai sudu pengarah atau *guide vane* maka distribusi aliran akan mengenai kedua bilah.

TSR (*Tip Speed Ratio*) merupakan perbandingan kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin yang melewati turbin angin. TSR menjadi salah satu variabel prestasi kinerja turbin angin, semakin tinggi nilai TSR maka semakin tinggi koefisien daya turbin angin. Sementara Cp (*Coefficient Power*) merupakan perbandingan daya turbin angin dibanding daya angin yang melewati luas permukaan turbin. Koefisien daya dapat diartikan sebagai kemampuan turbin angin dalam mengekstrak energi angin. Berikut merupakan Gambar Tabel hasil perhitungan TSR dengan penambahan *guide vane* dan tanpa *guide vane* :

Gambar 9. Tabel Data TSR dan Cp Terhadap Kecepatan Angin

Guide Vane							
Sudut Pitch 40°							
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Daya Turbin (Watt)	Daya Angin (Watt)	TSR	Cp (%)
1	150	7,9	230,1	85,42	93,62	0,95	0,91
2	180	7,2	263	81,10	70,9	1,19	1,14
3	200	6,2	144,1	32,95	45,3	0,75	0,73
Sudut Pitch 60°							
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Daya Turbin (Watt)	Daya Angin (Watt)	TSR	Cp (%)
1	150	7,9	261,1	93,62	93,62	1,07	1,04
2	180	7,2	230,1	70,96	70,9	1,04	1,00
3	200	6,6	154,3	39,98	54,6	0,76	0,76
Sudut Pitch 80°							

No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Daya Turbin (Watt)	Daya Angin (Watt)	TSR	Cp (%)
1	150	7,7	271,5	95,76	86,68	1,14	1,10
2	180	7,5	167,8	56,15	80,1	0,73	0,72
3	200	6,8	146,2	38,84	59,7	0,67	0,65
Tanpa Guide Vane							
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Daya Turbin (Watt)	Daya Angin (Watt)	TSR	Cp (%)
1	150	7,9	254,3	94,41	93,6	0,96	1,01
2	180	7,5	285,1	95,40	80,1	1,23	1,19
3	200	6,8	216,2	56,72	59,7	0,98	0,95

Berdasarkan data hasil perhitungan nilai TSR dan koefisien daya dapat dilakukan analisis terhadap pengaruh nilai TSR terhadap koefisien daya beban lampu LED 12 Watt pada Tabel diatas dengan perbandingan hasil koefisien daya turbin angina variasi *guide vane* dan tanpa *guide vane*. Nilai koefisien daya turbin variasi *guide vane* meningkat seiring meningkatnya nilai dari kecepatan angina, nilai koefisien daya turbin dengan penambahan *guide vane* pada sudut 40° mendapatkan hasil koefisien daya yang tinggi pada setiap variasi jarak sedangkan pada hasil analisis nilai TSR pada sudut *pitch* 40° juga mengalami peningkatan pada setiap variasi jarak dengan menggunakan *guide vane*, tanpa menggunakan *guide vane* hasil TSR tertinggi berada pada jarak 150 cm, ini menunjukkan nilai TSR meningkat ketika kecepatan angin yang semakin tinggi namun pada saat. Nilai TSR menggunakan variasi sudut *pitch guide vane* terlihat mengalami kenaikan signifikan dibandingkan nilai TSR tanpa menggunakan *guide vane*.

Berikut analisis tegangan generator pada pengujian tanpa beban dengan menggunakan variasi sudut *pitch guide vane* dan variasi jarak turbin angin Savonius Tipe U , dari 6 data pengulangan pada saat pengujian berikut merupakan data tegangan dan putaran tertinggipada saat pengujian menggunakan *guide vane* tanpa beban generator dapat dilihat pada Gambar Tabel 10 berikut :

Gambar 10. Tabel Data Tegangan Terhadap Rpm

Guide Vane					
Sudut Pitch 40°					
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	150	7,9	230,1	14,26	4,1
2	180	7,2	263	8,45	0,03
3	200	6,2	144,1	7,41	0,01
Sudut Pitch 60°					
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	150	7,9	261,1	14,05	4,2
2	180	7,2	230,1	8,76	0,03
3	200	6,6	154,3	6,99	0,01
Sudut Pitch 80°					
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	150	7,7	271,5	10,12	1,4
2	180	7,5	167,8	7,12	0,01
3	200	6,8	146,2	8,75	0,1
Tanpa Guide Vane					
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	150	7,9	254,3	14,52	3,5
2	180	7,5	285,1	13,56	3,1
3	200	6,8	216,2	9,1	0,2

Pengaruh kecepatan angin terhadap kemampuan turbin dalam mengubah potensi daya aliran angina menjadi energi listrik dengan variasi penambahan *guide vane* dan tanpa *guide vane* pada jarak variasi pada saat pengujian dapat dilihat pada Gambar 18 berikut :

Gambar 11. Tabel Data Kecepatan Angin Terhadap Cp

Guide Vane						
Sudut Pitch 40°						
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Cp (%)	Daya Turbin (Watt)	Daya Angin (Watt)
1	150	7,9	230,1	0,91	85,42	93,62
2	180	7,2	263	1,14	81,10	70,9
3	200	6,2	144,1	0,73	32,95	45,3
Sudut Pitch 60°						
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Cp (%)	Daya Turbin (Watt)	Daya Angin (Watt)
1	150	7,9	261,1	1,04	96,93	93,62
2	180	7,2	230,1	1,00	70,96	70,9
3	200	6,6	154,3	0,73	39,98	54,6
Sudut Pitch 80°						
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Cp (%)	Daya Turbin (Watt)	Daya Angin (Watt)
1	150	7,7	271,5	1,10	95,76	86,68
2	180	7,5	167,8	0,72	56,15	80,1
3	200	6,8	146,2	0,65	38,84	59,7
Tanpa Guide Vane						
No	Jarak (cm)	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (Rpm)	Cp (%)	Daya Turbin (Watt)	Daya Angin (Watt)
1	150	7,9	254,3	1,01	94,41	93,6
2	180	7,5	285,1	1,19	95,40	80,1
3	200	6,8	216,2	0,95	56,72	59,7

variabel kecepatan terhadap kemampuan turbin angin Savonius Tipe U dengan variasi sudut pitch 40°, 60° dan 80°. Dari uraian data yang diperoleh saat pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada variasi sudut *pitch* 40° rata – rata mengalami peningkatan daya turbin angin, semakin lebar sudut *pitch* pada *guide vane*, maka putaran yang dihasilkan akan semakin meningkat dan pada sudut *pitch*

guide vane tertentu akan mencapai putaran maksimal dan pada sudut *guide vane* tertentu putaran akan mulai turun.

2. Pada variasi sudut *pitch* 80° rata – rata kecepatan turbin mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena aliran udara yang berasal dari *blower* terhalang dengan sudu dari *guide vane*, sehingga aliran udara tidak dapat langsung menerpa *blade* dari turbin angin Savonius Tipe U.
3. Semakin lebar sudut *pitch guide vane*, maka daya dan torsi yang dihasilkan juga akan semakin meningkat dan pada sudut *guide vane* tertentu akan mencapai energi yang optimum kemudian akan mengalami penurunan.

5. Saran

1. Sebaiknya dilakukan percobaan pada alat ukur maupun alat pengujian yang akan digunakan
2. Sebaiknya penambahan *wind tunnel* atau terowongan angin disediakan untuk pengujian turbin angin agar lebih maksimal dalam mendapatkan aliran angin dari *blower*.

6. Daftar Pustaka

- [1] Chewin, R. Chung J.N. Discretevortex of Flow Over Inclined and Normal Plates. *Computers and Fluids* 16, 405-427,1998.
- [2] Golecha, K Eldho T.I, Prabhu S.V. Influence of the Deflector Plate on the Performance of Modified Savonius Water Turbine . *APplied Energy* 88, 3207-3217,2011.
- [3] M.H, A. Experimental Comparation Study for Savonius WInd Turbine of Two & Three Blades at Low WInd SPeed . *International Jurnal of modern engineering Research (IJMER) Vol 3*, 2978-2986,2013.
- [4] Mohamed, M.H Janiga G, Pap E, Thevenin D. Optimization of Savonius Turbines Using on Obstacle Shielding the Returning Blade. *Renewable Energy* 35, 2618-2626,2010.
- [5] Shaughnessy B.M, Probert S.D. Patially-Blocked Savonius Rotor. *Applied Energy* 43, 239-249,1992.

- [6] D'Ambrosio M, Medaglia M. *Vertical Axis Wind Turbines : History, Technology and Applications*. Swedia: Jonny Hylander and Goran Siden,2010.
- [7] Hussain Mukhtar, Deori Bitubishop, Barman Subroto, Daz Suraz. *Experimental Study on the Performance of Lenz Vertical Axis Wind Turbine. Department Mechanical Engineering NIT,2015.*
- [8] Kusbiantor A, Soenoko R, Sutikno D. *Pengaruh Panjang Lengkung Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertical Savonius*. Malang: Universitas Brawijaya,2013.
- [9] Mineral, K. E. *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2014*. Jakarta: Pusdatin ESDM,2014.
- [10] Mittal, Neeraj. *Investigation of Performance Characteristic of a Novel VAWT . Thesis of University Strathclyde,2001.*
- [11] Shahizare B, Ghazali Nik, Cong W.T, Tabatabaekia S, Izadyar Nima, Esmaelizadeh Alirreza. *Novel Investigation of The Different Omni-Direction-Guide-Vane-Angels Effect on the Urban Vertical Axis Turbine Output Power Via Three-Dimensional Numerical Simulaton*. Malaysia: Universitas Kuala Lumpur,2016.