

Analisis statistik performa turbin angin vertikal dengan *slotted blades*

Statistical analysis of slotted blades vertical axis wind turbine performance

 Catur Harsito^{*1}, Dominicus Danardono Dwi Prija Tjahjana², Budi Kristiawan²
¹ Vokasi Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret
 Jl. Ir. Sutami No.36 A, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

² Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
 Jl. Ir. Sutami No.36 A, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

 * e-mail: catur_harsito@staff.uns.ac.id


INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

 Diterima:
 29 September 2020
 Direvisi:
 03 Juni 2021
 Diterbitkan:
 30 Juni 2021

Kata kunci:

 VAWT;
slotted blades;
analysis of variant;
factorial design

Keywords:

 VAWT;
slotted blades;
analysis of variant;
factorial design

ABSTRAK

Energi terbarukan merupakan energi alternatif yang bersih, bebas polusi, aman dan ketersediaannya tidak terbatas. Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan. Pemanfaatan energi angin dilakukan dengan menggunakan turbin angin salah satunya savonius. Turbin savonius memiliki kekurangan pada nilai koefisien daya (C_p) yang rendah. Penambahan konfigurasi posisi dan lokasi *slotted blades* dapat meningkatkan nilai C_p . Untuk memaksimalkan desain turbin angin savonius maka perlu dicari faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai C_p . Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis signifikansi unjuk kerja turbin angin savonius dengan konfigurasi *slotted blades* secara statistik. Pengujian hipotesis dari dua faktor yang mempengaruhi nilai C_p dilakukan dengan menggunakan metode pengujian statistik *Kolmogorov Smirnov Test*, *Normalitas test*, *analysis-of-variance (ANOVA) linier*, *one-way ANOVA* menggunakan software SPSS 22. Hasilnya menunjukkan bahwa lokasi *slotted blades* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai C_p (Sig. 0,000 kurang dari 0,05). Terdapat interaksi antara kedua variabel uji posisi*lebar (Sig. 0,000 kurang dari 0,05). Posisi *slotted blades* lebih berpengaruh signifikan terhadap nilai C_p karena nilai Sig. 0,000 lebih rendah dari lebar *slotted blades* 0,011.

ABSTRACT

*Renewable energy is an alternative energy that is clean, pollution-free, safe and has unlimited availability. Wind energy is one a renewable energy. The utilization of wind energy is done by using wind turbines, one of which is Savonius. Savonius turbines have a disadvantage in low Coefficient power (C_p) values. Adding the configuration of the position and location of the slotted blades can increase the C_p value. To optimize the design of Savonius wind turbines, it is necessary to find the factors that most influence the C_p value. This study aims to analyze the significance of the performance of slotted blades savonius wind turbines with statistically. Hypothesis testing of two factors that affect the value of C_p is done using the statistical method, Kolmogorov Smirnov test, linearity test, linear analysis-of-variance (ANOVA), one-way ANOVA using SPSS 22 software. The results show that the location of slotted blades significantly influences the location of slotted blades to the value of C_p (Sig. 0.000 less than 0.05). There is an interaction between the two position test posisi*lebar (Sig. 0.000 less than 0.05). The position of the slotted blades has a more significant effect on the value of C_p because of the value of Sig. 0.000 lower than the width of the slotted blades of 0.011.*

© 2021 Penulis. Dipublikasikan oleh Baristand Industri Padang. Akses terbuka dibawah lisensi CC BY-NC-SA

1. Pendahuluan

Energi terbarukan merupakan energi alternatif yang bersih, bebas polusi, aman dan ketersediaannya tidak terbatas (Akhmad, 2005). Penggunaan sumber energi terbarukan mengalami peningkatan menuju 23% dari

total penggunaan energi nasional 2003-2020 menurut Kebijakan Energi Nasional Indonesia (KEN) (Nugroho, 2013). Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Energi angin memiliki sumber energi yang melimpah dan populer sebagai sumber energi alternatif diantara sumber energi terbarukan lainnya seperti *solar*

energy, biomass energy, dan geothermal energy (Ramadhan et al., 2016; Morshed, 2010). Namun, energi angin yang dimanfaatkan menggunakan turbin angin memiliki beberapa kekurangan yaitu biaya instalasi yang tinggi dan perlunya angin kencang untuk menghasilkan listrik.

Berdasarkan arah aliran anginnya turbin angin dibedakan menjadi dua macam yaitu turbin angin sumbu vertikal dan turbin angin sumbu horizontal (Tian et al., 2018). Penggunaan turbin angin sumbu vertical lebih banyak digunakan untuk turbin skala kecil dikarenakan memiliki beberapa keunggulan yaitu kinerjanya tidak tergantung arah angin (Akwa et al., 2012), mudah dalam perawatan (Yang and Lawn, 2011), dan juga dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah (Jha, 2010). Selain itu, turbin angin sumbu vertikal memiliki keunggulan *start-self* yang tinggi dan dapat beroperasi pada kecepatan rendah, memiliki torsi yang tinggi, dan memiliki *noise* yang kecil (Montelpare et al., 2018). Keunggulan itu dimiliki oleh turbin angin sumbu vertikal tipe savonius. Namun, turbin angin savonius memiliki kekurangan yaitu efisiensinya yang rendah (Akwa et al., 2012).

Performa turbin angin savonius dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bentuk *blade*, *gap ratio*, *overlap ratio*, jumlah *blades*, penambahan *endplate*, dan aksesoris lainnya. Penambahan *slotted blades* menjadi salah satu cara untuk meningkatkan performa turbin angin savonius. Alaimo et al., (2013b) melakukan penelitian tentang penambahan *slotted blades* yang disimulasikan menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

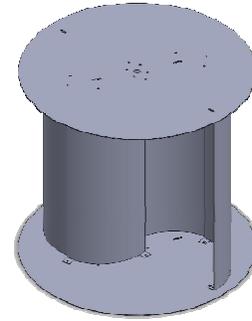
Pada penelitian eksperimental yang memiliki dua faktor atau variasi, hasil penelitiannya akan dipengaruhi oleh interaksi antara dua faktor atau variasi itu (Salomon et al., 2017). Interaksi dari dua faktor ini dapat diketahui dengan analisis statistik, dengan hasil analisis itu maka faktor yang paling mempengaruhi dapat diketahui (Arifianto et al., 2014). Salah satu Analisis statistik untuk melihat interaksi yang berpengaruh signifikan dilakukan dengan metode *analysis of variance* (Al Sadi, 2018). Interaksi yang berhasil diketahui sebagai faktor yang paling berpengaruh maka dapat digunakan dalam konfigurasi perancangan produk (Montgomery, 2017).

Penambahan *slotted blades* dapat meningkatkan performa turbin angin savonius. Oleh karena itu, dalam penelitian ini melaporkan pengaruh penambahan konfigurasi *slotted blades* secara statistik dan melaporkan faktor yang paling dominan terhadap nilai performa yang dihasilkan.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di laboratorium termodinamika. Spesimen uji dibuat dengan bahan aluminium dengan ketebalan 3 mm dengan bentuk seperti pada Gambar 1. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengulangan lima kali setiap variasi pengujian. Setelah dilakukan pengujian secara eksperimen, kemudian dilakukan analisis secara statistik untuk melihat interaksi dan juga pengaruh dari masing-masing variasi ataupun hubungan kedua variasi. Pada penelitian ini untuk menghasilkan nilai daya, maka

menggunakan rumus teori daya turbin dan juga torsi pada sistem *prony brake*



Gambar 1. Spesimen turbin angin savonius

Dasar teori

Nilai daya dapat diketahui dengan cara menghitung nilai torsi yang terjadi pada turbin. Nilai torsi pada turbin dihitung menggunakan sistem *prony brake*.

2.1. Daya turbin

Daya turbin merupakan daya mekanik yang dihasilkan oleh rotor (P). Berdasarkan (Tjahjana et al., 2021) nilai daya turbin dapat dihasilkan dengan menggunakan rumus (1). Nilai daya turbin ini dapat diperoleh apabila nilai torsi yang bekerja pada turbin diketahui. Nilai torsi ini dapat diketahui dengan menerapkan sistem *prony brake* (Gambar 2.).

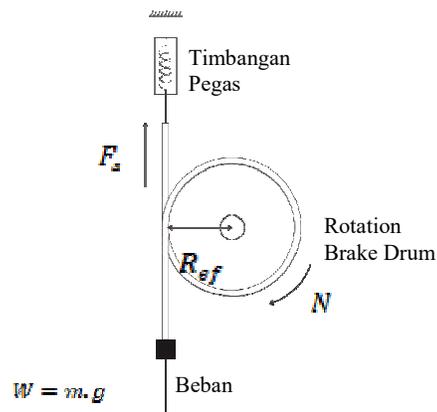
$$P = T \cdot \omega \quad (1)$$

dimana ω adalah putaran rotor turbin dan T adalah torsi pada poros. Karena nilai ω adalah rad/s sedangkan hasil yang didapatkan pada pengujian adalah nilai rpm, maka hasil perhitungan rad/s dikonversi dengan rumus (2). Hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan.

$$\omega = 2 \cdot \rho \cdot N / 60 \quad (2)$$

2.2. Torsi

Torsi merupakan bentuk ekuivalen dari gaya linier yang menghasilkan rotasi atau bisa disebut dengan gaya rotasi. Nilai torsi dihasilkan dari gaya yang bekerja pada tuas dikalikan dengan jarak tuas terhadap titik tengah.



Gambar 2. Prony Brake System

Torsi yang diukur merupakan daya yang bekerja poros turbin yang berputar. Pada penelitian ini, untuk mendapatkan nilai torsi menggunakan sistem *prony brake* seperti pada Gambar 2. Pada sistem *prony brake* ini, torsi didapatkan dari hasil perkalian antara gaya dengan jari-jari efektif (3). Nilai gaya yang bekerja didapatkan dengan menggunakan rumus (4) dimana massa pemberat dikurangi gaya yang terbaca pada timbangan. Radius efektif merupakan penjumlahan dari radius rotor dan radius tali (5).

$$T = F_e \times R_{ef} \tag{3}$$

$$F_e = W - F_s \tag{4}$$

$$R_{ef} = R_s + R_r \tag{5}$$

dimana F_e (Newton) adalah gaya efektif yang bekerja pada system *prony brake*, F_s (Newton) adalah gaya yang terukur pada timbangan pegas, W (kg.m/s²) adalah beban yang bekerja, R_{ef} (meter) adalah radius efektif, R_s (meter) adalah radius poros dan R_r (meter) adalah radius tali.

2.3. Koefisien daya (Coefficient power)

Koefisien daya merupakan nilai nondimensional dari perbandingan antara daya aktual turbin dibandingkan dengan daya total yang tersedia dari angin dirumuskan pada persamaan (6), dengan nilai P_T (daya teoritik) yang dihasilkan dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (7).

$$C_p = \frac{P}{P_T} \tag{6}$$

$$P_T = 1/2 \cdot \rho \cdot A v^3 \tag{7}$$

dimana, ρ (kg/m³) adalah massa jenis udara, A (m²) adalah luas penampang area turbin, dan v (m/s) adalah kecepatan angin.

2.4. Koefisien torsi

Koefisien torsi merupakan perbandingan antara torsi yang bekerja pada poros dengan torsi teoritis yang tersedia. Nilai koefisien torsi ini dirumuskan seperti pada persamaan (8).

$$C_T = \frac{T}{T_T} \tag{8}$$

dimana T_T adalah torsi teoritis atau torsi mekanik total yang terkandung dalam angin yang melalui penampang turbin. Nilai torsi teoritik ini dirumuskan seperti pada persamaan (9).

$$T_T = 1/2 \cdot \rho \cdot A v^2 R \tag{9}$$

2.5. Tip speed ratio

Tip speed ratio (TSR) adalah merupakan perbandingan antara kecepatan ujung rotor terhadap

kecepatan angin bebas. Nilai TSR didapatkan dengan menggunakan persamaan (10).

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \tag{10}$$

dimana, R adalah jari-jari turbin.

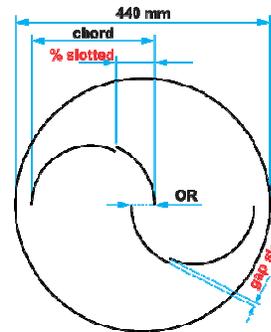
2.6. Data

Pengumpulan data dilakukan secara eksperimen dengan 2 variabel dan 3 level yaitu variabel posisi *gap slotted blades* dan lebar *gap slotted blades*. Pengujian dilakukan pada *Reynold number* 1,44x10⁴ ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1
Variasi eksperimen.

Posisi <i>Gap Slotted blades</i>	Lebar <i>Gap Slotted blades</i>
20%	3 mm
30%	5 mm
40%	7 mm

Posisi dan lebar celah *gap slotted blades* ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Variabel eksperimen

2.7. Alat uji statistik

Pengujian signifikansi hasil C_p dilakukan dengan metode desain faktorial menggunakan perumusan hipotesis. Desain faktorial yang digunakan untuk menguji pengaruh penambahan konfigurasi *slotted blades* terhadap nilai C_p yaitu menggunakan *analysis of variance (ANOVA)* dengan tingkat kepercayaan (α) 95% atau 0,05 yang dianalisis menggunakan *software SPSS Statistical 22* (Prasetyo and Bashit, 2018). Selanjutnya dilakukan analisis signifikansi dan faktor dominan berdasarkan hasil output pengolahan data dengan *software SPSS* dengan metode *univariate* dan regresi linier berganda.

2.8. Kolmogorov smirnov test

Pengujian ini merupakan uji nonparametrik dan digunakan untuk mengetahui distribusi data yang dihasilkan (Rahman et al., 2018). Data dikatakan memiliki distribusi normal jika nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Sebaliknya, data dikatakan memiliki

distribusi tidak normal jika nilai signifikansi kurang dari 0,05.

2.9. ANOVA unvariated

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel yang dilakukan (Mangedaby et al., 2017). Pengujian ini dapat dilakukan apabila sampel memiliki syarat yaitu sampel merupakan kelompok *independent*. Selain itu varian harus homogen serta data yang didapatkan memiliki distribusi normal.

Hipotesis pertama:

- H₀ : Faktor lebar *slotted blades* berpengaruh terhadap nilai koefisien daya.
- H₁ : Faktor lebar *slotted blades* tidak berpengaruh terhadap nilai koefisien daya.

Hipotesis kedua:

- H₀ : Faktor posisi *slotted blades* berpengaruh terhadap nilai koefisien daya.
- H₁ : Faktor posisi *slotted blades* tidak berpengaruh terhadap nilai koefisien daya.

2.10. One-way ANOVA

Selain dilakukan pengujian *ANOVA* unvariated, dilakukan pengujian *One-way ANOVA* untuk melihat pengaruh antara dua variabel terhadap nilai *Cp*. Pengujian ini dapat dilakukan ketika sampel yang ada merupakan sampel independen dan data yang tersajikan memiliki distribusi normal.

Hipotesis:

- H₀ : Faktor posisi dan lebar *slotted blades* berpengaruh terhadap nilai koefisien daya.
- H₁ : Faktor posisi dan lebar *slotted blades* tidak berpengaruh terhadap nilai koefisien daya..

Dari hasil pengujian yang dilakukan dilihat variabel mana yang memiliki pengaruh yang paling besar terhadap nilai *Cp* yang didapatkan. Hal ini dapat dilihat dari nilai signifikansi pada masing-masing variabel yang diuji.

3. Hasil dan pembahasan

Hasil eksperimen ditampilkan dalam Tabel 2. Pengujian ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Harsito et al., 2020) dengan menggunakan *prony brake system* dan selanjutnya dianalisis sehingga didapatkan nilai *Cp*.

Berdasarkan pengambilan data koefisien daya yang dilakukan secara konvensional telah berhasil dilaksanakan. Hasil penelitian ditampilkan pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai *Cp* pada konfigurasi posisi 20% dan lebar 3 mm memiliki nilai *Cp* yang maksimum yaitu 0,138. Nilai *Cp* pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dan juga penelitian tentang turbin angin savonius konvensional (Alaimo et al., 2013a).

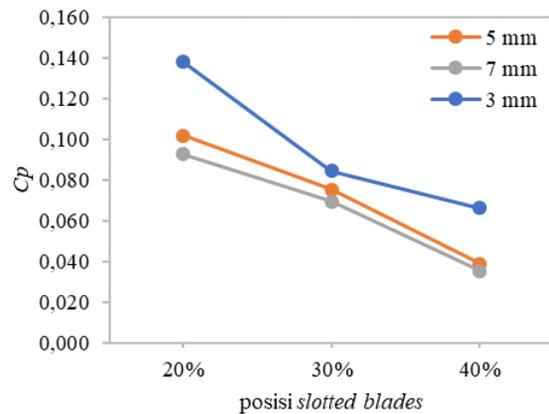
Peningkatan *Cp* yang terjadi diakibatkan adanya penurunan gaya hambat pada sudu cembung yang menabrak angin. Angin yang menghambat putaran turbin ini berkurang dengan melewati celah yang dibuat pada

bilah turbin (Alaimo et al., 2013a, 2012; Harsito et al., 2020). Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa posisi *slotted blades* dan lebar celah mempengaruhi nilai *Cp*. Hal ini dapat dibuktikan dengan menggunakan pengujian secara statistik.

Tabel 2

Data hasil eksperimen nilai *Cp*

Variasi	Posisi <i>Slotted Blades</i>			Standar Deviasi
	20%	30%	40%	
3 mm	0.138	0.083	0.066	0.038
	0.138	0.084	0.065	0.038
	0.144	0.085	0.066	0.041
	0.135	0.086	0.067	0.035
	0.136	0.084	0.066	0.036
5 mm	0.102	0.078	0.042	0.030
	0.103	0.076	0.038	0.033
	0.102	0.074	0.038	0.032
	0.101	0.076	0.038	0.032
	0.101	0.073	0.037	0.032
7 mm	0.096	0.072	0.036	0.030
	0.091	0.070	0.035	0.028
	0.092	0.069	0.035	0.029
	0.092	0.069	0.035	0.029
	0.093	0.067	0.035	0.029



Gambar 4. Grafik hubungan antara posisi dan lebar celah *slotted blades*

3.1 Normalitas data

Sebelum dilakukan pengujian *ANOVA*, maka data yang dihasilkan harus diuji distribusi normalnya. *Kolmogorov smirnov test* adalah metode pengujian yang dilakukan menggunakan *software* SPSS dengan syarat bahwa data yang dihasilkan memiliki homogenitas data.

Berdasarkan data hasil pengujian homogenitas pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai signifikansi untuk koefisien daya adalah 0,266. Maka dapat disimpulkan bahwa data yang didapatkan pada pengujian ini memiliki variasi yang sama karena memiliki nilai signifikansi lebih dari 0,05.

Uji normalitas *Kolmogorov smirnov test* dilakukan untuk melihat normalitas sebaran sebuah data. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan metode *Kolmogorov-Smirnov* pada Tabel 4 dan Tabel 5 maka dapat disimpulkan bahwa data ini memiliki

distribusi normal karena memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05.

Tabel 3
Hasil uji homogenitas

<i>Koefisien Daya</i>			
<i>Levene Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig.</i>
1,368	2	42	0,266

*df adalah degree of freedom

Tabel 4
Hasil uji normalitas posisi *slotted blades*

	Posisi	<i>Kolmogorov-Smirnov^a</i>		
		<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>
<i>Coefficient power</i>	20%	0,318	15	0,000
	30%	0,176	15	0,200
	40%	0,326	15	0,000

Tabel 5
Hasil uji normalitas lebar *slotted blades*

	Lebar Slotted	<i>Kolmogorov-Smirnov^a</i>		
		<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>
<i>Coefficient power</i>	3 mm	0,293	15	0,001
	5 mm	0,201	15	0,106
	7 mm	0,221	15	0,047

3.2 Pengaruh posisi dan lebar *slotted blades*

Pengujian signifikansi untuk mengetahui pengaruh posisi dan lebar *slotted blades* dilakukan dengan uji ANOVA Univariate. Setelah dilakukan beragam uji homogenitas dan normalitas sebagai syarat uji ANOVA. Tabel 6 menunjukkan hasil output uji ANOVA.

Tabel 6
Hasil output normalitas uji ANOVA (*Levene's Test of Equality of Error Variances*)

<i>Dependent Variable: Coefisien power</i>			
<i>F</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig.</i>
1,572	8	36	0,168

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Posisi + Lebar + Posisi * Lebar

Berdasarkan output uji Levene's dapat diketahui bahwa masing-masing variasi dari variabel memiliki data variabel yang sama atau homogen karena memiliki nilai signifikansi 0,168 atau lebih dari 0,05. Karena data tersebut memiliki sifat homogen maka syarat varian ini bisa dilakukan uji ANOVA sudah terpenuhi.

Pada Tabel 7 menunjukkan hasil *Tests of Between-Subjects Effects ANOVA* dengan nilai F-0 atau nilai signifikansi. Berdasarkan nilai signifikansi yang ada yaitu 0,000 kurang dari 0,05 maka H0 diterima atau bisa dikatakan bahwa lebar *slotted blades* berpengaruh terhadap nilai Cp. Hal ini juga bisa dilihat berdasarkan nilai F-0 yang lebih besar dari F_{crit} maka dapat

disimpulkan bahwa konfigurasi lebar penelitian ini berpengaruh terhadap nilai Cp. Selain itu pada hipotesis kedua, karena nilai signifikansi pada variasi posisi memiliki nilai 0,000 kurang dari 0,05 maka H0 diterima atau bisa disimpulkan bahwa posisi *slotted blades* berpengaruh terhadap nilai Cp. Pada output Posisi*Lebar dapat dilihat bahwa nilai signifikansi sebesar 0,000 kurang dari 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada interaksi antara kedua variasi ini.

Tabel 7
Hasil *Tests of Between-Subjects Effects ANOVA*

<i>Dependent Variable: Coefisien power</i>					
<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Corrected Model</i>	0,040 ^a	8	0,005	1536,74	,000
<i>Intercept</i>	0,274	1	0,274	83478,51	,000
<i>Posisi</i>	0,031	2	0,016	4743,58	,000
<i>Lebar</i>	0,008	2	0,004	1182,69	,000
<i>Posisi * Lebar</i>	0,001	4	0,000	110,35	,000
<i>Error</i>	0,000	36	3,278e-6		
<i>Total</i>	0,314	45			
<i>Corrected Total</i>	0,040	44			

a. R Squared = ,997 (Adjusted R Squared = ,996)

Tabel 8
Output model summary regresi linier

<i>Model</i>	<i>R</i>	<i>R Square</i>	<i>Adjusted R Square</i>	<i>Std. Error of the Estimate</i>
1	0,969^a	0,940	0,937	0,00763

Tabel 9
Output ANOVA regresi linier

<i>Model</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Regression</i>	0,038	2	0,019	326,415	0,000^b
1 <i>Residual</i>	0,002	42	0,000		
<i>Total</i>	0,040	44			

a. *Dependent Variable: Coefisien power*

b. *Predictors: (Constant), Lebar Slotted, Posisi Slotted*

Setelah penggunaan uji hipotesis ANOVA univariate menunjukkan hasil maka untuk memperkuat hasil hipotesis dapat dilakukan uji hipotesis ANOVA linier. Tabel 8 merupakan output *summary* regresi linier menunjukkan nilai R yang memiliki arti hubungan interaksi antara lebar dan posisi *slotted blades* terhadap nilai koefisien daya adalah 0,969 sedangkan nilai determinan R² sama dengan 0,940 yang berarti bahwa lebar*posisi *slotted blades* memiliki pengaruh 94% terhadap nilai koefisien daya.

Output regresi linier ANOVA ditunjukkan pada Tabel 9 yang menunjukkan interpretasi interaksi antara posisi dengan lebar *slotted blades*. Nilai signifikansi 0,000 yang dihasilkan dari output uji ANOVA memiliki nilai kurang dari 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa interaksi antara posisi dan lebar *slotted blades*

mempengaruhi terhadap nilai koefisien daya (C_p). Pada Tabel 10 menunjukkan nilai output koefisien regresi linier dengan pengaruh posisi dan lebar *slotted blades*. Berdasarkan nilai output pada Tabel 10 maka nilai regresi linier dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = 0,173 - 0,032x_1 - 0,015x_2 \quad (11)$$

Tabel 10
Output koefisien regresi linier

Model	Unstandardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error		
(Constant)	0,173	0,004	42,133	0,000
Posisi <i>Slotted</i>	-0,032	0,001	-0,876	0,000
Lebar <i>Slotted</i>	-0,015	0,001	-0,414	0,000

a. Dependent Variable: Coefisien power

3.3 Pengaruh variable terhadap nilai koefisien daya

Menurut hasil output uji one-way ANOVA dapat diketahui variabel yang paling berpengaruh diantara posisi dan lebar *slotted blades* terhadap nilai koefisien daya dengan membandingkan nilai signifikansi.

Tabel 11 menunjukkan hasil output uji one-way ANOVA dengan nilai signifikansi 0,000 sehingga dapat disimpulkan bahwa posisi *slotted blades* mempunyai pengaruh terhadap nilai koefisien daya karena nilai signifikansi kurang dari 0,05 sehingga H_0 diterima.

Tabel 11
Hasil output one-way ANOVA posisi *slotted blades*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,031	2	0,016	70,082	0,000
Within Groups	0,009	42	0,000		
Total	0,040	44			

Berdasarkan hasil output one-way ANOVA posisi *slotted blades* yang ditampilkan pada Tabel 12 dapat disimpulkan bahwa posisi *slotted blades* berpengaruh terhadap nilai koefisien daya karena nilai signifikansi 0,011 kurang dari 0,05 sehingga H_0 diterima.

Tabel 12
Hasil output one-way ANOVA posisi *slotted blades*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0,008	2	0,004	4,985	0,011
Within Groups	0,033	42	0,001		
Total	0,040	44			

Dilihat berdasarkan nilai signifikansi dari masing-masing variabel yang dihasilkan yaitu dengan demikian kesimpulan yang didapatkan adalah variabel posisi dan lebar *slotted blades* berpengaruh terhadap nilai koefisien daya. Variabel posisi *slotted blades* merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap nilai koefisien daya karena nilai signifikansinya lebih kecil dari lebar *slotted blades* yaitu 0,000 kurang dari 0,011 yang menandakan bahwa ikatannya tidak kuat.

4. Kesimpulan

Serangkaian uji yang telah dilakukan dalam penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu terdapat pengaruh lebar *slotted blades* yang signifikan terhadap nilai koefisien daya (Sig. 0,011 kurang dari 0,05). Lebar dan posisi *slotted blades* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai koefisien daya (Sig. 0,000 kurang dari 0,05). Variabel **posisi** *slotted blades* merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap nilai koefisien daya karena nilai signifikansinya lebih kecil dari lebar *slotted blades* yaitu 0,000 kurang dari 0,011.

Daftar pustaka

- Akhmad, K., 2005. Pembangkit listrik tenaga surya dan penerapannya untuk daerah terpencil. Jurnal Ilmiah Dinamika Rekayasa 1, 28–33. <https://doi.org/10.20884/1.dr.2005.1.1.8>
- Akwa, J.V., Vielmo, H.A., Petry, A.P., 2012. A review on the performance of Savonius wind turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 3054–3064. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.02.056>
- Al Sadi, J., 2018. Designing experiments: 3 level full factorial design and variation of processing parameters methods for polymer colors. Advances in Science, Technology and Engineering Systems 3, 109–115. <https://doi.org/10.25046/aj030515>
- Alaimo, A., Esposito, A., Milazzo, A., Orlando, C., Trentacosti, F., 2013a. Slotted blades savonius wind turbine analysis by CFD. Energies 6, 6335–6351. <https://doi.org/10.3390/en6126335>
- Alaimo, A., Esposito, A., Milazzo, A., Orlando, C., Trentacosti, F., Universitaria, C., 2013b. Slotted blades Savonius wind turbine analysis by CFD. Energies 6, 6335–6351. <https://doi.org/10.3390/en6126335>
- Alaimo, A., Milazzo, A., Trentacosti, F., Esposito, A., 2012. On the effect of slotted blades on Savonius wind generator performances by CFD analysis. Advanced Materials Research 512–515, 747–753. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.512-515.747>
- Arifianto, F., Saleh, M., Anisa, 2014. Identifikasi faktor signifikan pada rancangan faktorial fraksional dan 10, 92–101.
- Harsito, C., Tjahjana, D.D.D.P., Kristiawan, B., 2020. Savonius turbine performance with slotted blades. AIP Conference Proceedings 2217, 30071. <https://doi.org/10.1063/5.0000797>
- Jha, A.R., 2010. Wind turbine technology. CRC press,

- London.
- Mangedaby, E.A., Setioko, B., Sari, S.R., 2017. Pengaruh desa wisata kampoeng batik laweyan terhadap fungsi permukiman di kelurahan laweyan Kota Surakarta. *Teknik* 38, 28. <https://doi.org/10.14710/teknik.v38i1.12057>
- Montelpare, S., D'Alessandro, V., Zoppi, A., Ricci, R., 2018. Experimental study on a modified Savonius wind rotor for street lighting systems. Analysis of external appendages and elements. *Energy* 144, 146–158. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.12.017>
- Montgomery, D.C., 2017. Design and analysis of experiments. John Wiley & sons.
- Morshed, K., 2010. Experimental and numerical investigations on aerodynamic characteristics of Savonius wind turbine with various overlap ratios. *Electronic Theses & Dissertations*.
- Nugroho, A., 2013. Perencanaan kapasitas pembangkit PLTM sungai logung karangtalun Kabupaten Temanggung. *Teknik* 34, 170–173. <https://doi.org/10.14710/teknik.v34i3.6721>
- Prasetyo, Y., Bashit, N., 2018. Analisis tingkat akurasi model tiga dimensi gedung Prof . H . Soedarto Sh . menggunakan teknologi Terrestrial Laser Scanner (Tls) berbasis metode traverse. *Teknik* 39, 94–98. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39n2.17883>
- Rahman, M.M., Pal, A., Uddin, K., Thu, K., Saha, B.B., 2018. Statistical analysis of optimized isotherm model for maxsorb III/ethanol and silica gel/water pairs. *Evergreen* 5, 1–12. <https://doi.org/10.5109/2174852>
- Ramadhan, A.I., Diniardi, E., Mukti, S.H., 2016. Analisis desain sistem pembangkit listrik tenaga surya kapasitas 50 WP. *Teknik* 37, 59. <https://doi.org/10.14710/teknik.v37i2.9011>
- Salomon, L.L., Kosasih, W., Angkasa, S.O., 2017. Perancangan eksperimen untuk meningkatkan kualitas ketangguhan material dengan pendekatan analisis general factorial design (Studi Kasus: Produk Solid Surface). *Jurnal Rekayasa Sistem Industri* 4, 20. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v4i1.1386.20-26>
- Tian, W., Mao, Z., Zhang, B., Li, Y., 2018. Shape optimization of a Savonius wind rotor with different convex and concave sides. *Renewable Energy* 117, 287–299. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.067>
- Tjahjana, D.D.D.P., Arifin, Z., Suyitno, S., Juwana, W.E., Prabowo, A.R., Harsito, C., 2021. Experimental study of the effect of slotted blades on the Savonius wind turbine performance. *Theoretical and Applied Mechanics Letters* 100249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.taml.2021.100249>
- Yang, B., Lawn, C., 2011. Fluid dynamic performance of a vertical axis turbine for tidal currents. *Renewable Energy* 36, 3355–3366. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2011.05.014>