

STUDI EKSPERIMEN KINERJA TURBIN ANGIN PROPELLER PIPA PVC DENGAN UJUNG BENGKOK DAN TANPA UJUNG BENGKOK

Gigih Ananda Wibowo^{1,a}, Bagus Wahyudi^{2,b}

^{1,2}Politeknik Negeri Malang, Indonesia

^agigihananda0@gmail.com

Abstrak.

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara, di dalam turbin angin terdapat komponen yang sangat penting yaitu blade merupakan bagian turbin angin yang berfungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik). Pada penelitian turbin kali ini menggunakan baling baling yang berbahan pipa PVC dan menggunakan ujung bengkok pipa PVC. perancangan yang digunakan dengan cara eksperimen, dan menggunakan software minitab 19 untuk pengolahan data, sedangkan eksperimen bertujuan untuk mengetahui nilai daya yang dihasilkan, Eksperimen ini menggunakan variasi kecepatan angin 5 m/s, 6 m/s dan 7 m/s, dan terdapat variasi posisi ekor, yaitu dengan posisi menghadap ke kiri, kanan dan tengah. Experimen pada turbin angin dengan menggunakan ujung bengkok mendapatkan daya rata-rata paling besar 7,42 Watt, sedangkan experimen pada turbin angin tanpa menggunakan ujung bengkok dapat menghasilkan daya rata-rata 7,54 Watt. Turbin angin dengan menggunakan ujung bengkok memiliki nilai koefisien power (C_p) paling tinggi yaitu 0,0182, sedangkan turbin angin tanpa menggunakan ujung bengkok memiliki koefisien power (C_p) paling tinggi yaitu 0,0145.

Kata kunci. Turbin angin, Sumbu Horizontal, Pipa PVC

Abstract.

Wind turbines are one of the environmentally friendly power plant technologies currently. A wind turbine's propeller is essential for capturing wind energy; however, making blades is difficult. This research aims to experiment with wind turbines that use pipe-based propellers. A PVC pipe propeller was used in this turbine study. The experimental design implements Minitab 19 software to determine which is more efficient, while the experiment aims to determine the power value produced. This experiment engages wind speed variations of five m/s, six m/s, and seven m/s, in addition to variations in the direction of the turbine's tail. Experiments on wind turbines using bent ends get an average power of 7.42 Watts, while experiments on wind turbines without bent ends can produce an average power of 7.54 Watts. Wind turbines using bent ends have a power coefficient value (C_p) that is the highest, namely 0.0182, while wind turbines without using bent ends have the highest power coefficient (C_p), namely 0.0145.

Keywords: *Wind Turbine, Experiment, and PVC Pipe*

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber energi yang melimpah tetapi hal tersebut belum dapat dimanfaatkan secara maksimal. Terutama ada dua sumber energi yang tersedia yaitu sumber terbarukan dan tidak terbarukan. Saat ini, penggunaan lebih luas pada sumber tidak terbarukan, sebagian besar bahan bakar fosil menyebabkan polusi parah yang sangat mempengaruhi lingkungan.

Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, seperti batu bara dan gas alam, angin merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, tidak ada polusi udara yang dipancarkan ke lingkungan setelah konsumsi. Energi angin adalah salah satu yang paling menjanjikan karena ada di wilayah geografis yang luas, berbeda dengan sumber energi lain yang terkonsentrasi di sejumlah negara terbatas

Turbin angin merupakan sebuah alat yang dapat mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik atau energi mekanik. Angin digunakan untuk memutar blade, yang mana ketika berputar akan menghasilkan energi. Energi angin termasuk energi terbarukan yang didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Beberapa kelebihan energi terbarukan antara lain: sumbernya relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarukan (Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

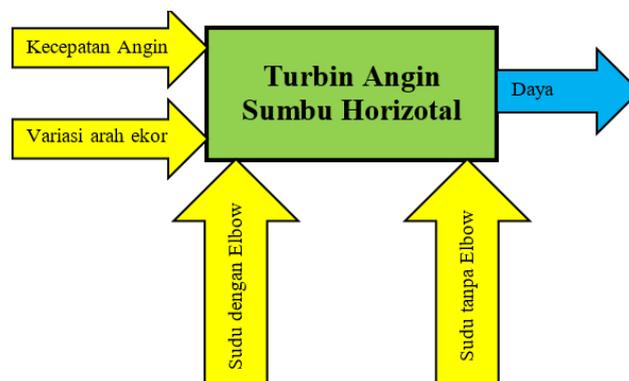
Teori Betz atau lebih dikenal dengan batas Betz (Betz limit diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz) merupakan angka batas $16/27 = 59,3\%$. Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin.

Ketidak mungkinan suatu desain turbin angin yang memiliki koefisien power (C_p) diatas $59,3\%$. Hal ini dapat diartikan bahwa desain turbin angin terbaik tipe apapun tidak akan menghasilkan efisiensi rotor diatas $59,3\%$. Suatu turbin angin tidak akan mampu menyerap seluruh energi kinetik yang berada dalam aliran angin, dan kapasitas penyerapan maksimal hanya $59,3\%$. Nilai efisiensi $59,3\%$. inilah yang sering disebut Betz Limit.

Nilai C_p untuk satu tipe turbin angin tidak selalu sama karena nilai C_p merupakan fungsi dari tip speed ratio atau λ . Untuk mengetahui nilai C_p maksimal yang mampu dihasilkan oleh sebuah turbin angin, maka perlu diketahui terlebih dahulu berapa nilai tip speed ratio yang dihasilkan.

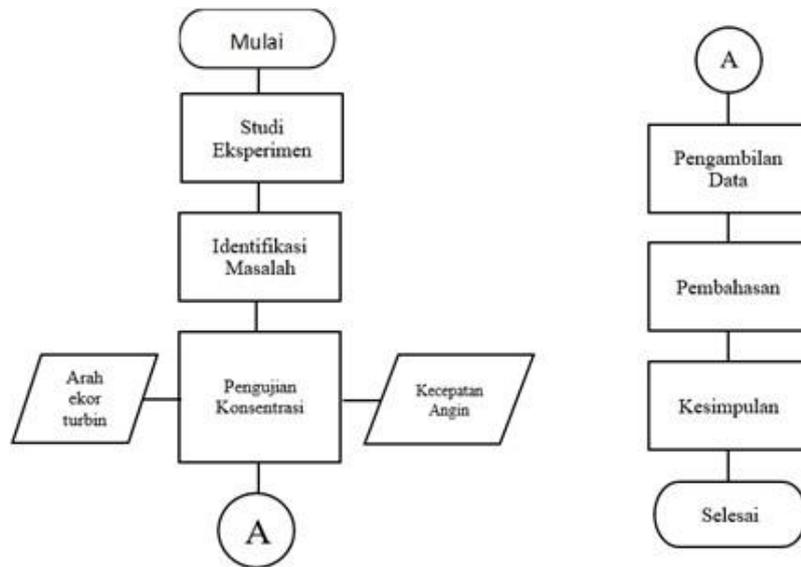
Metodologi Penelitian

Penelitian ini untuk mencari data dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh kecepatan angin dan sudut serang terhadap daya kerja yang terjadi pada konstruksi rotor turbin angin sumbu *horizontal* baling- baling pipa.



Gambar 1. Kerangka konsep penelitian

Diagram Alir



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Metode Penelitian Uji Eksperimen

Pada pengujian ekperimen penelitian untuk mendapatkan nilai daya, dilakukan dengan variasi kecepatan angin dan posisi arah ekor.



Gambar 3. Sudu Pipa PVC



Gambar 4. Pengambilan Data



Gambar 5. Pengambilan Data

Pada metode pengujian pada uji eksperimen untuk mendapatkan nilai daya dilakukan dengan menggunakan wind tunnel sebagai penghasil angin, dimana setelah putaran baling-baling stabil, dilakukan pengukuran untuk mengetahui berapa daya yang diterima oleh turbin angin dengan variasi kecepatan angin dan posisi ekor

Hasil dan Pembahasan

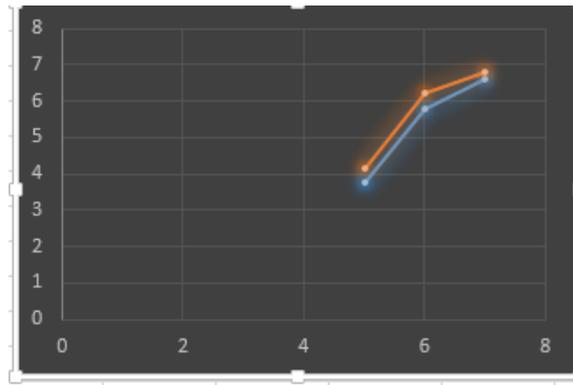
Pada penelitian ini setelah melakukan uji eksperimen dimana menggunakan variasi posisi arah ekor, yang menggunakan arah ke kiri, kanan, dan tengah, dan variasi kecepatan angin 5m/s, 6m/s, 7m/s didapatkan hasil seperti berikut :

Tabel 1. Data Daya Turbin Dengan Ujung Bengkok

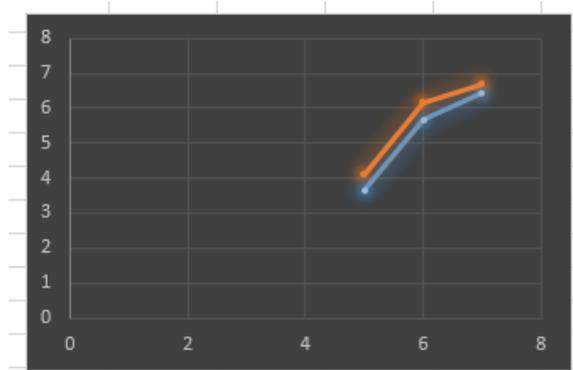
Turbin Angin 4 Sudu (Dengan Ujung Bengkok)					
Posisi Ekor	Kecepatan Angin	Voltage	Ampere	Daya	Rata-rata Daya
Kiri (105°)	5 m/s	3,16	1,19	3,76	3,76
	5 m/s	3,14	1,17	3,67	
	5 m/s	3,20	1,21	3,87	
Kiri (105°)	6 m/s	4,69	1,24	5,81	5,8
	6 m/s	4,67	1,22	5,69	
	6 m/s	4,73	1,25	5,91	
Kiri (105°)	7 m/s	4,66	1,34	6,24	6,62
	7 m/s	4,82	1,38	6,65	
	7 m/s	4,92	1,42	6,98	
Kanan (75°)	5 m/s	3,24	1,12	3,62	3,66
	5 m/s	3,17	1,15	3,64	
	5 m/s	3,12	1,20	3,74	
Kanan (75°)	6 m/s	4,62	1,26	5,82	5,67
	6 m/s	4,59	1,24	5,69	
	6 m/s	4,68	1,18	5,52	
Kanan (75°)	7 m/s	4,71	1,34	6,31	6,43
	7 m/s	4,68	1,45	6,78	
	7 m/s	4,63	1,34	6,2	
Tengah (90°)	5 m/s	3,42	1,50	5,13	5,16
	5 m/s	3,49	1,48	6,18	
	5 m/s	3,45	1,51	5,83	
Tengah (90°)	6 m/s	4,57	1,32	6,03	6,01
	6 m/s	4,48	1,38	6,18	
	6 m/s	4,52	1,29	5,83	
Tengah (90°)	7 m/s	4,87	1,52	7,4	7,42
	7 m/s	4,92	1,48	7,28	
	7 m/s	4,83	1,57	7,58	

Tabel 1 Data Daya Turbin Tanpa Ujung Bengkok

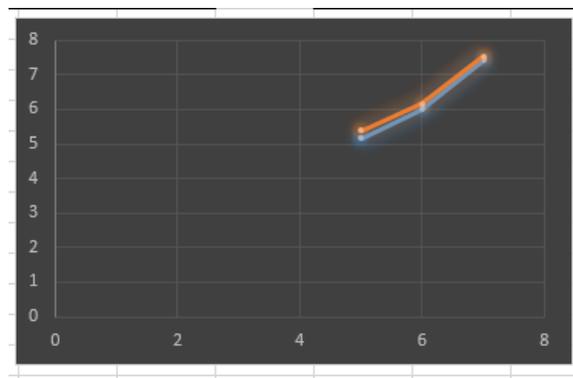
Turbin Angin 4 Sudu (Tanpa Ujung Bengkok)					
Posisi Ekor	Kecepatan Angin	Voltage	Ampere	Daya	Rata-rata Daya
Kiri (105°)	5 m/s	3,32	1,21	4,01	4,15
	5 m/s	3,41	1,24	4,22	
	5 m/s	3,38	1,25	4,22	
Kiri (105°)	6 m/s	4,74	1,31	6,2	6,2
	6 m/s	4,81	1,28	6,15	
	6 m/s	4,85	1,29	6,25	
Kiri (105°)	7 m/s	5,05	1,35	6,81	6,82
	7 m/s	5,12	1,36	6,96	
	7 m/s	5,01	1,34	6,71	
Kanan (75°)	5 m/s	3,34	1,21	4,04	4,08
	5 m/s	3,32	1,20	3,98	
	5 m/s	3,41	1,24	4,22	
Kanan (75°)	6 m/s	4,75	1,32	6,27	6,18
	6 m/s	4,64	1,29	5,98	
	6 m/s	4,71	1,34	6,31	
Kanan (75°)	7 m/s	5,12	1,35	6,91	6,69
	7 m/s	5,02	1,32	6,62	
	7 m/s	5,00	1,31	6,55	
Tengah (90°)	5 m/s	4,12	1,32	5,43	5,39
	5 m/s	4,03	1,28	5,12	
	5 m/s	4,08	1,38	5,63	
Tengah (90°)	6 m/s	4,62	1,32	6,09	6,16
	6 m/s	4,57	1,36	6,21	
	6 m/s	4,66	1,33	6,19	
Tengah (90°)	7 m/s	4,92	1,55	7,62	7,54
	7 m/s	4,88	1,50	7,32	
	7 m/s	4,93	1,56	7,69	



Gambar 1. Grafik Daya Dengan Arah Ekor ke Kiri 105°



Gambar 2. Grafik Daya Dengan Arah Ekor ke Kanan 75°



Gambar 3. Grafik Daya Dengan Arah Ekor ke Kiri 90°

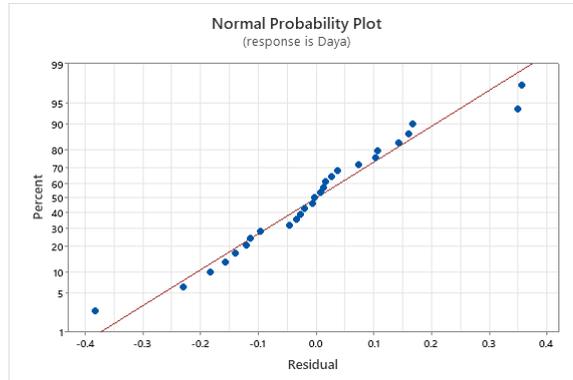
Grafik daya antara turbin dengan menggunakan ujung bengkok dan turbin tanpa menggunakan ujung bengkok, dengan warna orange diperuntukan untuk turbin dengan ujung bengkok dan biru diperuntukan dengan turbin tanpa ujung bengkok, seperti diperlihatkan pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8 bahwa daya yang terbesar diperoleh ketika sudut ekor 90° dengan ujung bengkok.

Pengolahan Data

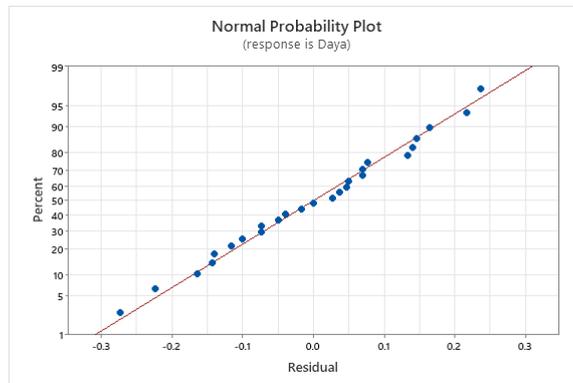
Data yang diperoleh pada pengujian wind tunnel yang dicatat dalam nilai daya rata-rata pada tabel lalu diolah menggunakan aplikasi *software* minitab 19 pada fitur DOE. Penelitian ini memiliki dua variabel bebas yang terdiri dari kecepatan angin dan posisi ekor. Masing-masing

variabel telah dilakukan pengujian ulang atau bisa disebut dengan replikasi dengan tiga kali replikasi.

Uji Normalitas



Gambar 4. Uji Normalitas Turbin Dengan Ujung Bengkok



Gambar 5. Uji Normalitas Turbin Angin Tanpa Ujung Bengkok

Dalam pengolahan data dilakukan dengan beberapa pengujian yang berguna untuk memastikan data tersebut masih dalam batas normal, sehingga hasil akhir pengujian mendapatkan hasil yang valid. Salah satunya menggunakan uji normalitas yang merupakan sebuah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui sebaran data atau variabel yang dianalisis menggunakan faktorial. Suatu populasi dianggap normal apabila distribusisebaran titik titik merata mengikuti garis diagonal.

Analisis Data Pengujian

Data pengujian yang telah dikumpulkan selanjutnya dilakukan analisis pada software minitab 19 dengan metode DOE Factorial hasil tabel dibawah.

Disini kita dapat membandingkan nilai P-Value dengan nilai alfa (α) yang diizinkan yaitu sebesar 5% atau 0.05. Nilai alfa (α) ini digunakan untuk batas nilai maksimum kesalahan. Sehingga jika nilai P-Value melebihi nilai alfa(α) maka hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternative (H_1) diterima maka nilai P-Value tidak boleh melebihi 5% atau 0.05.

Tabel 2 Hasil Pengolahan Data Turbin Dengan Ujung Bengkok

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Posisi Ekor	2	4.6412	2.3206	62.13	0.000
Kecepatan Angin	2	31.6332	15.8166	423.49	0.000
Posisi Ekor*Kecepatan Angin	4	1.3851	0.3463	9.27	0.000
Error	18	0.6723	0.0373		
Total	26	38.3318			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.193257	98.25%	97.47%	96.05%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5.6181	0.0372	151.06	0.000	
Posisi Ekor					
0	-0.2204	0.0526	-4.19	0.001	1.33
1	-0.3604	0.0526	-6.85	0.000	1.33
2	0.5807	0.0526	11.04	0.000	*
Kecepatan Angin					
5	-1.4193	0.0526	-26.98	0.000	1.33
6	0.2130	0.0526	4.05	0.001	1.33
7	1.2063	0.0526	22.93	0.000	*
Posisi Ekor*Kecepatan Angin					
0 5	-0.2119	0.0744	-2.85	0.011	1.78
0 6	0.1926	0.0744	2.59	0.019	1.78
0 7	0.0193	0.0744	0.26	0.799	*
1 5	-0.1719	0.0744	-2.31	0.033	1.78
1 6	0.2059	0.0744	2.77	0.013	1.78
1 7	-0.0341	0.0744	-0.46	0.652	*
2 5	0.3837	0.0744	5.16	0.000	*
2 6	-0.3985	0.0744	-5.36	0.000	*
2 7	0.0148	0.0744	0.20	0.844	*

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Daya} = & 5.6181 - 0.2204 \text{ Posisi Ekor}_0 - 0.3604 \text{ Posisi Ekor}_1 + 0.5807 \text{ Posisi Ekor}_2 \\ & - 1.4193 \text{ Kecepatan Angin}_5 + 0.2130 \text{ Kecepatan Angin}_6 + 1.2063 \text{ Kecepatan Angin}_7 \\ & - 0.2119 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_0 5 + 0.1926 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_0 6 \\ & + 0.0193 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_0 7 - 0.1719 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_1 5 \\ & + 0.2059 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_1 6 - 0.0341 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_1 7 \\ & + 0.3837 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_2 5 - 0.3985 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_2 6 \\ & + 0.0148 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_2 7 \end{aligned}$$

Nilai P-Value dari turbin angin dengan ujung bengkok pada kecepatan angin menunjukkan nilai 0,000 maka kecepatan angin dapat dikatakan mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin, hal ini juga serupa dengan posisi arah ekor pada turbin, yang memiliki nilai P-Value 0,000. Pada interaksi kecepatan angin dan posisi ekor memiliki P-Value 0,000. Nilai dari pengujian data *regression equation* dari posisi ekor mendapatkan nilai efisiensi paling besar 0,5807 dengan posisi ekor ke tengah (90°), nilai efisiensi terbesar dari kecepatan angin yaitu berada di kecepatan 7 m/s dengan nilai 1,2063, dan nilai interaksi efisiensi terbesar dari posisi sudut dan kecepatan angin sebesar 0,3837. Koefisiensi regresi terbesar menunjukkan pemilihan paling dominan yang berpengaruh terhadap daya turbin.

Diatas menunjukkan bahwa hasil nilai R-Sq sebesar 96,75% yang mendekati nilai 100%, bisa dikatakan kedua variabel bebas kecepatan angin dan posisi ekor tersebut sangat sesuai terhadap variabel terikat atau daya.

Tabel 3 Hasil Pengolahan Data Turbin Tanpa Ujung Bengkok

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Posisi Ekor	2	2.7426	1.3713	52.72	0.000
Kecepatan Angin	2	28.4911	14.2456	547.68	0.000
Posisi Ekor*Kecepatan Angin	4	1.6177	0.4044	15.55	0.000
Error	17	0.4422	0.0260		
Total	25	33.5009			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.161279	98.68%	98.06%	96.75%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5.9106	0.0319	185.35	0.000	
Posisi Ekor					
0	-0.1850	0.0445	-4.16	0.001	1.37
1	-0.2711	0.0463	-5.86	0.000	1.40
2	0.4561	0.0445	10.25	0.000	*
Kecepatan Angin					
5	-1.3694	0.0445	-30.77	0.000	1.37
6	0.2589	0.0463	5.60	0.000	1.40
7	1.1106	0.0445	24.96	0.000	*
Posisi Ekor*Kecepatan Angin					
0 5	-0.2061	0.0625	-3.30	0.004	1.80
0 6	0.2156	0.0638	3.38	0.004	1.88
0 7	-0.0094	0.0625	-0.15	0.882	*
1 5	-0.1900	0.0638	-2.98	0.008	1.88
1 6	0.2467	0.0686	3.59	0.002	1.98
1 7	-0.0567	0.0638	-0.89	0.387	*
2 5	0.3961	0.0625	6.34	0.000	*
2 6	-0.4622	0.0638	-7.25	0.000	*
2 7	0.0661	0.0625	1.06	0.305	*

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Daya} = & 5.9106 - 0.1850 \text{ Posisi Ekor}_0 - 0.2711 \text{ Posisi Ekor}_1 + 0.4561 \text{ Posisi Ekor}_2 \\ & - 1.3694 \text{ Kecepatan Angin}_5 + 0.2589 \text{ Kecepatan Angin}_6 + 1.1106 \text{ Kecepatan Angin}_7 \\ & - 0.2061 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_0 5 + 0.2156 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_0 6 \\ & - 0.0094 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_0 7 - 0.1900 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_1 5 \\ & + 0.2467 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_1 6 - 0.0567 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_1 7 \\ & + 0.3961 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_2 5 - 0.4622 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_2 6 \\ & + 0.0661 \text{ Posisi Ekor*Kecepatan Angin}_2 7 \end{aligned}$$

Nilai P-Value dari kecepatan angin menunjukkan 0,000 yang berarti dibawah nilai alfa (α) maka dapat dikatakan kecepatan angin dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin, hal ini juga serupa dengan posisi arah ekor pada turbin yang berpengaruh pada daya dikarenakan memiliki nilai 0,000. Pada interaksi kecepatan angin dan posisi arah ekor memiliki nilai 0,000 yaitu dibawah alfa (α) yang berarti kedua variabel tersebut memiliki interaksi pada daya turbin. Nilai dari pengujian data *regression equation* dari posisi ekor mendapatkan nilai koefisiensi regresi paling besar 0,4561 dengan

posisi ekor ke tengah (90°), nilai koefisiensi regresi terbesar dari kecepatan angin yaitu berada di kecepatan 7 m/s dengan nilai 1,1106, dan nilai interaksi koefisiensi regresi terbesar dari posisi sudut dan kecepatan angin sebesar 0,3961. Koefisiensi regresi terbesar menunjukkan pemilihan paling dominan yang berpengaruh terhadap daya turbin.

Diatas menunjukan bahwa hasil nilai R-Sq sebesar 96,75% yang mendekati nilai 100%, bisa dikatakan kedua variabel bebas kecepatan angin dan posisi ekor tersebut sangat sesuai terhadap variabel terikat atau daya

Kesimpulan

Dari penelitian turbin angin sumbu horizontal dengan pengaruh kecepatan angin dan posisi ekor terhadap nilai daya didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai P-Value dari turbin angin dengan ujung bengkok pada kecepatan angin menunjukkan nilai 0,000 maka kecepatan angin dapat dikatakan mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin, hal ini juga serupa dengan posisi arah ekor pada turbin, yang memiliki nilai P-Value 0,000. Pada interaksi kecepatan angin dan posisi ekor memiliki P-Value 0,000. Nilai dari pengujian data regression equation dari posisi ekor mendapatkan nilai efisiensi paling besar 0,5807 dengan posisi ekor ke tengah (90°), nilai efisiensi terbesar dari kecepatan angin yaitu berada di kecepatan 7 m/s dengan nilai 1,2063, dan nilai interaksi efisiensi terbesar dari posisi sudut dan kecepatan angin sebesar 0,3837. Koefisiensi regresi terbesar menunjukkan pemilihan paling dominan yang berpengaruh terhadap daya turbin.
2. Nilai P-Value dari turbin angin tanpa ujung bengkok pada kecepatan angin menunjukkan nilai 0,000 maka kecepatan angin dapat dikatakan mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin, hal ini juga serupa dengan posisi arah ekor pada turbin, yang memiliki nilai P-Value 0,000. Pada interaksi kecepatan angin dan posisi ekor memiliki P-Value 0,000. Nilai dari pengujian data regression equation dari posisi ekor mendapatkan nilai efisiensi paling besar 0,4561 dengan posisi ekor ke tengah (90°), nilai efisiensi terbesar dari kecepatan angin yaitu berada di kecepatan 7 m/s dengan nilai 1,1106, dan nilai interaksi efisiensi terbesar dari posisi sudut dan kecepatan angin sebesar 0,3961. Koefisiensi regresi terbesar menunjukkan pemilihan paling dominan yang berpengaruh terhadap daya turbin.
3. Hasil dari grafik yang diperlihatkan kan pada gambar 6, gambar 7, dan gambar 8 bahwa daya yang terbesar diperoleh ketika sudut ekor 90° dengan ujung bengkok.

Saran

Pada penelitian ini ditemukan saran yang dapat digunakan sebagai acuan untuk memperbaiki penelitian selanjutnya yaitu :

1. Mengubah kecepatan angin
2. Mengubah bahan baku sudut

References

- [1] Magdi ragheb and Adam M. Ragheb, 2011, Wind Turbines Theori – The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio
- [2] Hugh Pinggott, 1997, Wind Power Workshop published by CAT publications 1997
- [3] Marizka L.D., 2010, Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin, Skripsi, Universitas Sebelas Maret
- [4] Hendrix NF., 2013, Analisis Tegangan Kulit Bilah Turbin Angin Komposit (Quasi Iso Tropic) Menggunakan Metode Elemen Hingga, Jurnal, STT Adisutjipto
- [5] Alpan Hadi, dkk., 2017, Numerik Aerodinamika Turbin Angin Poros Horizontal Hybrid Solar Cell, Jurnal, Universitas Gadjah Mada