

Uji Eksperimen Pengaruh Sudut Sudu Pengarah terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin

Bowo Agung Wicaksono^a, Eva H. Herraprastanti^{a*}

^aJurusan Teknik Mesin-S1, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu, Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No. 1 Mentul-Cepu

E-mail : *ev.hertna@gmail.com

Tentang naskah:

-di terima, 30 Apr 2021

-diterbitkan, 30 Apr 2021

Kata kunci:

Turbin Angin, Sudut Sudu Pengarah, Unjuk Kerja

Intisari Turbin angin merupakan kincir angin yang saat ini banyak digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanis pada sudu, sehingga dapat menggerakkan poros generator yang akan menghasilkan listrik. Turbin angin merupakan salah satu konstruksi yang cukup banyak digunakan di berbagai negara sebagai penghasil tenaga listrik. Turbin angin menghasilkan listrik dengan cara menangkap energi kinetik yang terdapat pada angin, dimana energi kinetik tersebut kemudian menyebabkan baling-baling berputar dan memutar generator. Tujuan dari metode ini adalah penelitian eksperimental dengan memvariasikan sudut sudu pengarah dengan sudut 50°, 60°, 70°, dengan kecepatan angin sebesar 5 m/s. Sedangkan variable terikatnya daya angin, daya generator, daya poros, *tip speed ratio*, torsi, *coefficient of power*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya Angin yang dihasilkan turbin angin tersebut sebesar 7,78 Watt. Dimana daya generator yang terbaik pada sudut sudu pengarah 50°, dan kecepatan angin sebesar 5 m/s dapat menghasilkan daya generator sebesar 3,86 Watt. Torsi yang terbaik pada sudut sudu pengarah 70° dapat menghasilkan torsi sebesar 0,0155 N/m. Daya Rotor tertinggi pada variasi sudut sudu pengarah 50° sebesar 0,064 watt. *Tip Speed Ratio* kali ini yang terbaik pada variasi sudut pengarah 60° dapat menghasilkan *tip speed ratio* sebesar 0,666. *Coefficient Of Power* yang tertinggi pada variasi sudut sudu pengarah 50°, dapat menghasilkan *coefficient of power* sebesar 0,82%.

Abstract Wind turbines are windmills that are currently widely used to generate electricity. The working principle of a wind turbine is to convert wind kinetic energy into mechanical energy at the blades, so that it can move the generator shaft which will produce electricity. Wind turbines are a type of construction that is widely used in various countries as a producer of electric power. Wind turbines generate electricity by capturing the kinetic energy contained in the wind, where this kinetic energy then causes the propellers to rotate and rotate the generator. The purpose of this method is experimental research by varying the angle of the guide blade with an angle of 50°, 60°, 70°, with a wind speed of 5 m / s. While the dependent variable is wind power, generator power, shaft power, tip speed ratio, torque, coefficient of power. The calculation results show that the wind power generated by the wind turbine is 7.78 watts. Where is the best generator power at the guide blade angle of 50°, and a wind speed of 5 m / s can produce a generator power of 3.86 Watts. The best torque at the guide blade angle of 70° can produce a torque of 0.0155 N / m. The highest Rotor power at the 50 guide blade angle variation of 0.064 watts. Tip Speed Ratio this time is the best at variations of the guide angle of 60° can produce a tip speed ratio of 0.666. The highest coefficient of power at the variation of the guide blade angle of 50° can produce a coefficient of power of 0.82%.

Keyword:

Wind Turbine, Steering Angle, Performance

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat baik ditinjau dari kapasitas, kualitas maupun tuntutan distribusinya. Konsumsi listrik di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Konsumsi listrik Indonesia yang begitu besar akan menjadi masalah bila dalam penyediannya tidak sejalan dengan

kebutuhan, Kebutuhan pasokan energi listrik yang terus menerus menjadi tuntutan yang harus dipenuhi oleh Negara. Pengembangan energi alternatif baru dan terbarukan sedang digalakkan melalui kebijakan-kebijakan pemerintah untuk mendorong dan memfasilitasi pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan (hydro, matahari, panas bumi, biomassa dan angin).

Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Angin

merupakan salah satu dari sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan sehingga sangat potensial untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan energi bahan bakar minyak (Tullah, Dhiputra and Soeharso, 2014). Contoh nyata kemajuan pesat dibidang *engineering* atau rekayasa ini adalah makin banyaknya penggunaan turbin angin. Turbin angin adalah kincir angin yang saat ini banyak digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik.

Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanis pada sudu, sehingga dapat menggerakkan poros generator yang akan menghasilkan listrik. Salah satu hal yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan turbin angin adalah perancangan sudu turbin (Herraprantanti *et al.*, 2020). Unjuk kerja turbin angin dapat dilihat dari *break horse power*, torsi dan efisiensi yang dihasilkannya (Setiawan, 2013). Turbin angin merupakan salah satu konstruksi yang cukup banyak digunakan di berbagai negara sebagai penghasil tenaga listrik. Turbin angin menghasilkan listrik dengan cara menangkap energi kinetik yang terdapat pada angin, dimana energi kinetik tersebut kemudian menyebabkan baling-baling berputar dan memutar generator.

Salah satu jenis turbin angin adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). TASV memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan dari susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin untuk menghasilkan energi listrik., maka dari itu kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. TASV terdiri dari beberapa jenis turbin angin, salah satunya adalah turbin angin savonius. Jenis ini memiliki kemampuan *self-starting* yang bagus, sehingga hanya membutuhkan angin dengan kecepatan rendah untuk dapat memutar rotor dari turbin angin ini. Selain itu, torsi yang dihasilkan turbin angin jenis savonius relatif tinggi (Sargolzaei, 2007). Sudu merupakan suatu penampang yang menampung bentuk aliran udara yang dibuat untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya dorong pada saat tertentu yang dimanfaatkan oleh turbin angin. Gaya dorong yang dihasilkan oleh sudu inilah yang kemudian dimanfaatkan menghasilkan torsi (Dharma and Masherni, 2016)

2. Kerangka Teori

2.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan dengan arah aliran angin dari tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah yang memiliki suhu rendah ke tempat yang bersuhu tinggi. Turbin angin adalah sebuah sistem yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik pada poros turbin tersebut (Sargolzaei, 2007).

Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin belum dapat langsung dipergunakan, oleh karena itu diperlukan mesin yang dapat mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga dapat diteruskan menjadi energi listrik. Alat ini dinamakan dengan turbin angin atau sering disebut juga dengan kincir angin. Penggunaan turbin angin sebagai pembangkit energi listrik diawali pada akhir tahun 1890-an. Turbin angin ini khusus didesain untuk pembangkit energi listrik dan dibangun di Denmark. Turbin angin ini menyuplai energi listrik untuk daerah pedesaan. Pada tahun 1900 dibangun turbin angin di Cleveland, Ohio yang untuk pertama kalinya menggunakan gear box yang berfungsi untuk menaikkan putaran (Napitupulu and Mauritz, 2013).

2.1.1 Turbin Angin Savonius

Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal (TASV) yang dapat digunakan pada angin dengan kecepatan rendah adalah turbin angin Savonius. Turbin ini digunakan oleh sarjana Finlandia bernama J. Savonius pada tahun 1922. Konstruksi turbin ini sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah lingkaran sehingga membentuk seperti huruf 'U'. Pada perkembangannya turbin Savonius ini banyak mengalami perubahan bentuk rotor, seperti desain rotor yang berbentuk huruf 'L'.

2.1.2 Turbin Angin Darrieus

Turbin angin Darrieus adalah turbin angin sumbu vertikal berbasis *lift* yang dipatenkan oleh George Darrieus pada tahun 1931, dengan menggunakan dua atau tiga buah bilah melengkung atau lurus bergabung bersama dibagian atas dan bawah dan membungkuk ke luar ditengah troposkein. Tipe ini umumnya

membutuhkan kecepatan angin yang lebih tinggi dari tipe lain untuk *start up* atau awalan.

2.1.3 Turbin Angin Giromill

Turbin angin *Giromill* adalah turbin angin dengan sumbu vertikal yang konstruksinya hampir sama dengan turbin angin Darrieus, yang membedakan hanyalah letak dari sudu-sudunya. Turbin angin ini memiliki sudu-sudu yang dipasang sejajar dengan sumbu poros utamanya dan ditopang oleh sebuah lengan, sedangkan turbin angin Darrieus pemasangan sudu-sudu dibuat melengkung. Turbin angin ini memiliki kelemahan pada putaran awal yang memerlukan kecepatan angin yang lebih tinggi, sehingga sangat dianjurkan untuk tidak digunakan di daerah perkotaan yang padat penduduk karena hambatan angin yang besar.

2.1.4 Sistem Transmisi

Pada penelitian ini menggunakan sistem transmisi jenis sabuk datar tipe penggerak sabuk terbuka (*open belt drive*). Penggerak sabuk terbuka digunakan untuk memutar katrol dengan poros sejajar dan perputaran arah yang sama. Dalam gerakan *belt drive*, hasil transmisi daya membuat satu sisi katrol lebih kencang dengan dibandingkan dengan dengan sisi lainnya.

2.1.5 Energi Angin (P_a)

Angin adalah udara bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutar sudu yang terdapat pada turbin angin, dimana sudu ini terhubung dengan poros dan memutar poros yang telah terhubung dengan generator dan akan menimbulkan arus listrik. Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin dapat di rumuskan sebagai berikut :

Udara yang memiliki massa (m) dan kecepatan (v) akan menghasilkan energi

kinetik sebesar :

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

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan (v) dan melewati daerah seluas (A) adalah :

$$V = v \cdot A \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots(2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ yaitu :

$$m = \rho \cdot A \cdot v \text{ (kg/s)} \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang sebagai energi yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (3) ke persamaan (1) menjadi :

$$Pa = \frac{1}{2} \rho A v^3 \text{ (W)} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana,

- Pa = Daya Angin (W)
- ρ = Densitas Udara (1,22 Kg/m³)
- A = Luas Penampang Turbin (m²)
- v = Kecepatan Angin (m/s)

2.1.6 Daya Generator

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

$$Pg = V \times I \dots\dots\dots(5)$$

Dimana,

- Pg = Daya Generator (W)
- V = Tegangan (Volt)
- A = Ampere (Ampere)

2.1.7 Daya Rotor

Pada umumnya perhitungan untuk menghitung daya pada gerak melingkar dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Pr = T \frac{\pi n}{30} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana,

- Pr = Daya Rotor (W)
- T = Torsi (Nm)
- n = Putaran Poros (rpm)

2.1.8 Torsi

Torsi adalah sebuah gaya yang bekerja pada poros yang dihasilkan oleh gaya dorong pada sumbu turbin angin, dimana gaya dorong ini memiliki jarak terhadap sumbu poros yang berputar. Torsi sebuah turbin angin dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T = \frac{Pg}{2\pi n} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana,

T = Torsi (Nm)

Pg = Daya Generator (W)

n = Putaran Poros (rpm)

2.1.9 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio merupakan perbandingan antara kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin yang melalui rotor. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah-ubah terhadap perubahan kecepatan angin. Tip speed ratio dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{2\pi n r}{60.v} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana,

r = Jari-jari Turbin (m)

n = Putaran Poros (rpm)

v = Kecepatan Angin (m/s)

2.1.10 Coefficient of Power

Coefficient of power adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya angin. Persamaan *coefficient of power* dapat diartikan sebagai berikut :

$$Cp = \frac{Pr}{Pa} \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

Dimana,

Cp = Coefficient Of Power (Cp)

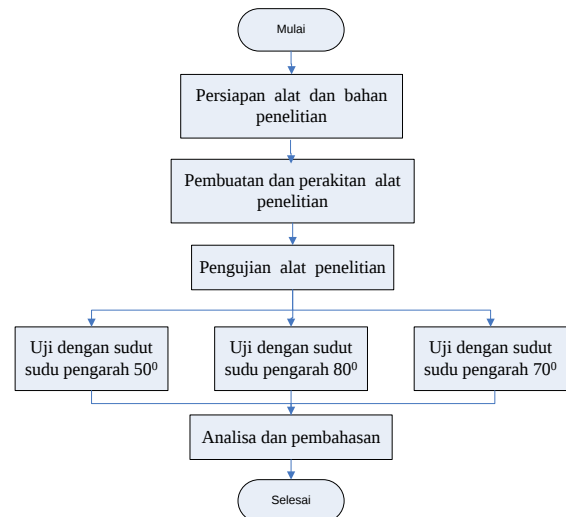
Pr = Daya Rotor (W)

Pa = Daya Angin (W)

3. Metodologi

3.1 Diagram Alir Penelitian

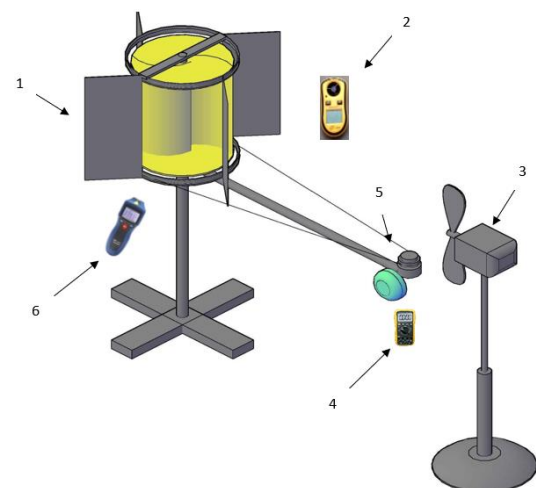
Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Skema Alat Penelitian

Skema alat penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.

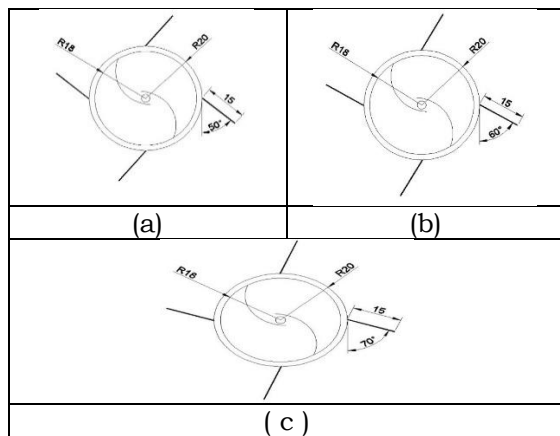


Gambar 2. Skema Alat Penelitian

Keterangan:

- | | |
|------------------|---------------|
| 1. Sudu Pengarah | 4. Multimeter |
| 2. Anemometer | 5. Generator |
| 3. Kipas Angin | 6. Tachometer |

Adapun sudut sudu pengarah ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Sudut Sudu Pengarah (a) Sudut 50° (b) Sudut 60° (c) Sudut 70°

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Sudu turbin angin merupakan daerah sapuan angin yang menerima energi angin yang menerima energi angin sehingga dapat membuat turbin berputar. Pelat besi dengan ukuran panjang 50 cm lebar 26 cm. Bantalan untuk meringankan putaran sudu turbin.. Sudu pengarah terbuat dari pelat aluminium dengan ketebalan 0,6 mm, tinggi 15 cm.

3.3.2 Alat Penelitian

Kipas angin sebagai sumber tenaga angin. Anemometer untuk mengukur kecepatan angin. Tachometer untuk mengukur kecepatan putaran poros. Multimeter untuk mengukur tegangan dan arus turbin angin.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian dan pengukuran diperoleh nilai tegangan, arus dan putaran poros sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengukuran uji eksperimental.

Kecepatan Angin (m/s)	Uji	Sudut Sudu Pengarah	Tegangan (V)	Arus (A)	Putaran Poros (rpm)
5 m/s	1	50°	2,9 V	1,3 A	48,3
	2		2,9 V	1,3 A	54
	3		2,9 V	1,4 A	55,5
	Rerata		2,9 V	1,3 A	52,6
	1	60°	2,8 V	1,1 A	33,7
	2		2,8 V	1,0 A	41,7
	3		2,8 V	1,1 A	42,8
	Rerata		2,8 V	1,07 A	39,27
	1	70°	2,6 V	1,0 A	25,4
	2		2,7 V	1,0 A	26,1
	3		2,7 V	1,0 A	30,8
	Rerata		2,67 V	1,0 A	27,43

Dari hasil pengukuran diatas maka

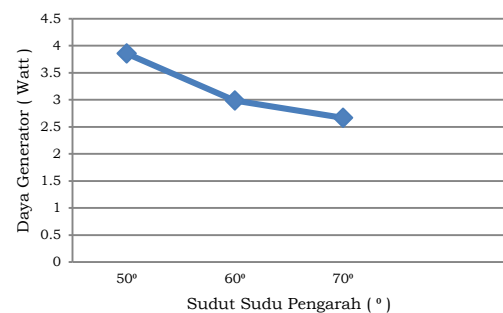
dilakukan pengolahan data dengan menggunakan rumus-rumus yang sudah ada, maka diperoleh hasil kinerja turbin angin sebagai berikut:

Tabel 2. Kinerja Turbin Angin

Sudut Pengarah	Daya Angin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Daya Rotor (Watt)	Torsi (N.m)	Tip Speed Ratio	Coefficient of Power (%)
50°	7,78	3,86	0,064	0,0117	0,199	0,82
60°	7,78	2,99	0,049	0,0121	0,666	0,63
70°	7,78	2,67	0,045	0,0155	0,103	0,58

4.2 Pembahasan

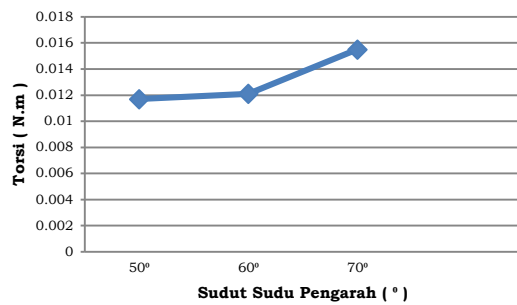
Grafik sudut sudu pengarah terhadap daya generator terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Sudut Sudu Pengarah Terhadap Daya Generator.

Berdasarkan gambar grafik 3, diketahui bahwa daya generator mengalami penurunan pada ketiga variasi sudut sudu pengarah tersebut, dan daya generator tertinggi pada variasi sudut sudu pengarah 50° yaitu sebesar 3,86 Watt. Daya generator terendah pada variasi sudut sudu pengarah 70° yaitu sebesar 2,67 Watt. Penurunan daya disebabkan karna dengan semakin bertambahnya sudut sudu pengarah, maka bagian cembung dari turbin angin akan semakin tertutup, sudu pengarah mampu meningkatkan unjuk kerja turbin angin, semakin bertambahnya sudut sudu pengarah akan semakin meningkatkan kecepatan angin yang sampai ke rotor.

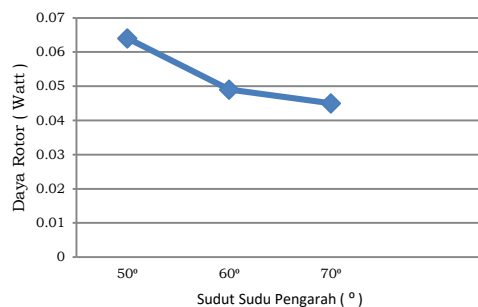
Sedangkan grafik sudut sudu pengarah terhadap torsi dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4. Grafik Pengaruh Sudut Sudu Pengarah Terhadap Torsi.

Pada gambar 4 diatas maka torsi mengalami peningkatan pada ketiga variasi sudut sudu pengarah, dan torsi tertinggi pada variasi sudut sudu pengarah 70° sebesar 0,0155 N.m, kemudian mengalami penurunan torsi pada variasi sudut sudu pengarah 60° sebesar 0,0121 N.m, dan torsi terendah pada variasi sudut sudu pengarah 50° sebesar 0,0117 N.m. Peningkatan nilai torsi disebabkan karena pengaruh pemasangan sudu pengarah sehingga dapat mencegah torsi negative pada sudu cembung dan mengarahkan sejumlah massa udara pada sudu cekung tanpa mengenai sudu cembung.

Grafik Hubungan Sudut Sudu Pengarah Terhadap Daya Rotor terlihat pada gambar 5.

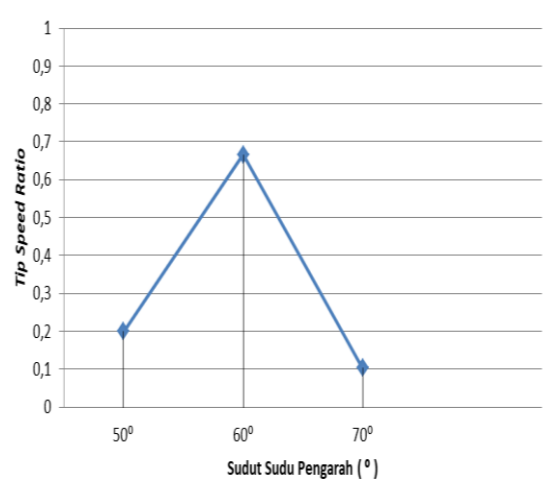


Gambar 5. Grafik Pengaruh Sudut Sudu Pengarah Terhadap Daya Rotor

Berdasarkan gambar grafik 5 daya rotor tertinggi pada variasi sudut sudu pengarah 50° sebesar 0,064 watt, dan mengalami penurunan daya rotor pada variasi sudut sudu pengarah 60° sebesar 0,049 watt, dan mengalami penurunan lagi pada variasi sudut sudu pengarah 70° sebesar 0,045 watt. Kecepatan angin juga sangat

berpengaruh terhadap daya rotor yang dihasilkan oleh rotor turbin. Maka rotor dengan pemasangan sudu pengarah memiliki nilai daya rotor lebih tinggi, hal ini terjadi akibat adanya peningkatan nilai torsi sehingga secara otomatis akan berpengaruh terhadap nilai daya rotor yang dihasilkan oleh rotor turbin angin.

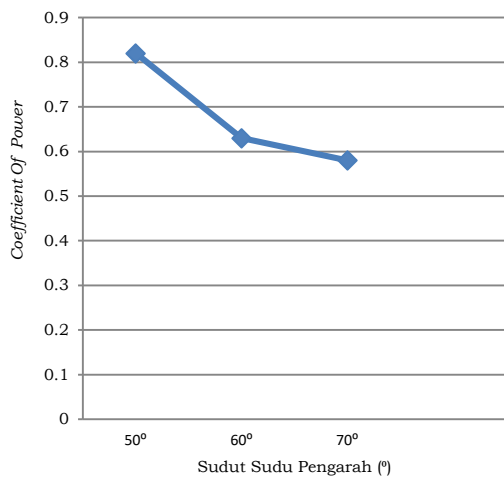
Grafik Hubungan Sudut Sudu Pengarah Terhadap *Tip Speed Ratio* terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Sudut Sudu Pengarah Terhadap *Tip Speed Ratio*

Hasil tip speed ratio mengalami perbedaan hasil pada ketiga variasi sudut sudu pengarah tersebut, pada sudut sudu pengarah 60° mengalami kenaikan, dan pada variasi sudut sudu pengarah 70° mengalami penurunan. Hasil penurunan disebabkan karena pengaruh dari putaran rotor, semakin tinggi variasi sudut sudu pengarah, nilai dari putaran rotornya turun, sehingga mengakibatkan nilai tip speed ratio turun.

Grafik hubungan sudut sudu pengarah terhadap *Coefficient of Power* terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan sudut sudu pengarah terhadap *Coefficient of Power*

Berdasarkan tabel 7 dan gambar 7 maka *Coefficient Of Power* tertinggi pada variasi sudut sudu pengarah 50° yaitu sebesar 0,82 %, dan mengalami penurunan pada variasi sudut sudu pengarah 60° sebesar 0,63 %. Dan *coefficient of power* terendah pada variasi sudut sudu pengarah 70° sebesar 0,58 %. Penurunan nilai *Coefficient Of Power* disebabkan oleh semakin meningkatnya intensitas gesekan pada generator, Seiring bertambahnya putaran rotor.

5. Simpulan

Berdasarkan hasil data dan analisa maka kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian "Pengaruh Sudut Sudu Pengarah Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin" adalah :

1. Daya Generator yang terbaik pada variasi sudut sudu pengarah 50° dapat menghasilkan daya generator sebesar 3,86 watt
2. Torsi yang terbaik pada variasi sudut sudu pengarah 70° dapat menghasilkan torsi sebesar 0,0155 N/m
3. Daya Rotor tertinggi pada variasi sudut sudu pengarah 50° sebesar 0,064 watt.

5.2 Saran

1. Disarankan untuk membuat sudu dengan menggunakan material yang lebih ringan agar putaran pada sudu turbin berputar dengan maksimal.

2. Perlunya melakukan penambahan jumlah variasi kecepatan angina. Agar mendapatkan hasil perbandingan data yang lebih bagus.
3. Disarankan untuk kecepatan angin menggunakan angin bebas yang lebih mempunyai potensi angin yang lebih besar dan lebih stabil.

Ucapan Terima Kasih

Dalam kegiatan penelitian ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- (a) Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu melalui hibah Penelitian Internal sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menyumbangkan pemikiran.
- (b) Instruktur, staf, asisten laboratorium Konversi Energi, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran sehingga prototype dan pengujian pada turbin angin sumbu vertikal dapat dilakukan.

Daftar Pustaka

- Dharma, U. S. and Masherni, M. (2016) 'Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertical Axis Savonius', *Turbo: Jurnal Teknik Mesin Univ Muhammadiyah Metro*, 5(2), pp. 138–148. doi: 10.24127/trb.v5i2.246.
- Herrapstanti, E. H. et al. (2020) 'Uji Eksperimental Pengaruh Panjang Chord Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal', *Jurnal Teknik Mesin*, 13(2), pp. 38–45. Available at: <https://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jtm>.
- Napitupulu, F. H. and Mauritz, F. (2013) 'Uji Eksperimental dan Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan dan Jumlah Sudu Terhadap Daya dan Putaran Turbin Angin Vertikal Axis Savonius dengan Menggunakan Sudu Pengarah', *Dinamis*, II(12), pp. 50–59. Available at: <http://ojs.ummmetro.ac.id/index.php/turbo>.
- Sargolzaei, J. (2007) 'Prediction of the power ratio in wind turbine Savonius rotors using artificial neural networks', *International Journal*, 1(2), pp. 51–56. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/7b2a/e44e94fdf20475758b263b524051500f4cf6.pdf>.
- Setiawan, A. A. (2013) 'Pengaruh Jarak Celah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius', *Universitas Brawijaya*. doi: 10.14361/9783839432099-010.
- Tullah, A. ., Dhiputra, A. . and Soeharso (2014) 'Stress Analysis pada Horizontal Axis Wind Turbine Blade', *Poros*, 12, pp. 41–45.