

Performance Testing of Cross Wind Turbine Model with Capacity of 10 W

Pengujian Performansi Model Turbin Angin Sumbu Silang Kapasitas 10 W

*Endang Achdi¹, Hery Soenawan², Yudi Setiadi³

^{1,2,3})Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Bandung - Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

NASKAH DITERIMA: 27 April 2024

DIREVISI: 14 Mei 2024

DISETUJUI: 2 Juni 2024

*KORESPONDENSI PENULIS :

e_achdi@yahoo.com

Abstract

Wind is a significant potential renewable energy source for electricity generation. Currently, there are two commonly used types of wind turbines: horizontal-axis and vertical-axis wind turbines. Both types are designed to harness the energy from horizontally moving wind. However, in reality, wind often moves erratically, especially in urban areas with tall buildings. To address this, a cross-axis wind turbine model has been developed to capture energy from randomly moving wind. This turbine model has 10 horizontal blades and 5 vertical blades. Previously, performance testing of this wind turbine model used a 60 W capacity dynamometer generator, but the wind turbine's output power didn't reach the required high torque and rotational speed. In this research, a 40 W capacity generator was used to resolve the previous issues. The parameters measured in this testing include wind speed, turbine rotational speed, voltage, and current. The testing was conducted at wind speeds of 5.3 m/s, 5.8 m/s, 6.3 m/s, and 6.8 m/s, with variations in the blade pitch angles set at 20°, 25°, and 30°. The results of the testing and analysis showed that the maximum performance coefficient of this wind turbine was 7.54%, achieved at a wind speed of 6.3 m/s with a blade pitch angle of 25° and a tip speed ratio of 1.08. The higher the wind speed, the shorter the time required to reach a constant rotational speed. At a wind speed of 6.3 m/s with a blade pitch angle of 25°, it took 30 seconds to reach a constant rotational speed.

Keywords: Wind speed, Blade pitch angle, Performance coefficient.

Abstrak

Angin merupakan sumber energi terbarukan berpotensi besar sebagai sumber energi pembangkit listrik. Saat ini, terdapat dua jenis turbin angin yang digunakan secara umum, yaitu turbin angin poros horizontal dan vertikal. Kedua jenis turbin tersebut didesain untuk menyerap energi dari angin yang bergerak secara horizontal. Namun, pada kenyataannya, angin seringkali bergerak secara acak, terutama di daerah perkotaan dengan bangunan tinggi. Oleh karena itu, dikembangkan model turbin angin tipe poros silang yang dirancang untuk menyerap energi angin secara acak. Model turbin ini memiliki 10 sudu horizontal dan 5 sudu vertikal. Sebelumnya, pengujian performansi model turbin angin ini menggunakan dynamometer generator kapasitas 60 W, namun daya keluaran dari turbin angin tidak mencapai torsi besar dan putaran tinggi yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini, menggunakan generator kapasitas 40 W guna menyelesaikan permasalahan sebelumnya. Parameter yang diukur dalam pengujian ini meliputi kecepatan angin, kecepatan putar turbin angin, tegangan listrik, dan arus listrik. Pengujian dilakukan dengan kecepatan angin 5,3 m/s, 5,8 m/s, 6,3 m/s, dan 6,8 m/s dengan sudut pitch sudu yang divariasikan menjadi 20°, 25°, dan 30°. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa koefisien performansi maksimum turbin angin ini adalah sebesar 7,54%, tercapai pada kecepatan angin 6,3 m/s dengan sudut pitch sudu 25° dan tip speed ratio sebesar 1,08. Semakin besar kecepatan angin, maka waktu yang diperlukan untuk mencapai kecepatan putar konstan menjadi semakin singkat. Pada kecepatan angin 6,3 m/s dengan sudut pitch sudu 25°, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan putar konstan sekitar 30 detik.

Kata kunci: Kecepatan angin, Sudut pitch sudu, Koefisien performansi.

I. PENDAHULUAN

Mayoritas kebutuhan energi dunia dipenuhi oleh bahan bakar fosil, namun permintaan energi terus meningkat. Karena sumber energi fosil tidak terbarukan, pada akhirnya akan habis jika terus bertahan dengan sumber energi ini. Penggunaan energi listrik yang dihasilkan dari bahan bakar fosil berdampak pada naiknya kadar karbon dioksida yang dapat membahayakan lingkungan. Menemukan sumber energi baru terbarukan yang juga bermanfaat secara ekologis adalah jawaban untuk masalah ini. Energi angin merupakan salah satu

sumber energi terbarukan yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan, khususnya turbin angin. Dua jenis turbin angin yang saat ini digunakan adalah turbin angin poros horizontal dan vertikal, meskipun arah angin sebenarnya mengalir secara acak. Oleh karena itu dibuatlah model turbin angin tipe poros silang untuk menangkap energi angin yang mengalir secara acak.

Pada penelitian sebelumnya memiliki suatu masalah tentang validitas dynamometer generator DC yang masih diragukan karena tidak bekerja sesuai dengan teori dan hasil pengembangan orang lain. Di mana dynamometer generator DC

tidak mampu membangkitkan listrik ketika kecepatan putar di bawah 1000 rpm. Sehingga data performansi turbin angin yang didapat menyimpang jauh dari teori performansi turbin angin dan hasil beberapa kajian. Dalam pengembangan model turbin angin tipe poros silang data performansi merupakan hal yang sangat penting sebelum dikembangkan ke tahap pembuatan prototipe.

Berdasarkan permasalahan di atas maka melalui kegiatan penelitian ini akan diupayakan pengembangan dinamometer generator DC yang ada di laboratorium. Langkah pertama yaitu pengembangan dinamometer generator ini meliputi penggantian dinamometer generator DC daya kecil, pembebanan listrik lebih kecil, serta mengganti sistem transmisi menggunakan rantai dan roda gigi sproket. Langkah lainnya yaitu melakukan pengujian dan analisis performansi model turbin tipe poros silang. Diharapkan upaya tersebut dapat meningkatkan performansi turbin angin ketika dalam pengujian. Pengujian dilakukan secara skala laboratorium dengan kecepatan angin dan sudut *pitch* sudu horizontal yang bervariasi. Karakteristik performansi akan dihasilkan dari data pengujian, dan diharapkan mendekati keadaan sesungguhnya.

II. METODE

Tahapan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Studi literatur, yaitu pengumpulan data dan informasi yang berhubungan dengan dinamometer dan turbin angin sebagai pembangkit listrik.
2. Pengembangan, yaitu memodifikasi dinamometer generator DC, pembebanan listrik, dan sistem transmisi.
3. Pengujian yaitu pengumpulan data atau parameter performansi model turbin angin tipe poros silang.
4. Analisis, yaitu data hasil pengujian diolah dan dilakukan analisis untuk mendapatkan karakteristik performansi model turbin angin yang telah dikembangkan.

III. TINJAUAN PUSTAKA

1. Klasifikasi turbin angin

a. Turbin angin poros vertikal

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) adalah turbin angin yang poros utamanya berputar sesuai dengan arah angin. Putaran rotor dapat dikatakan baik apabila arah angin sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap putaran rotor. Biasanya, turbin jenis ini memiliki bilah berbentuk *airfoil* yang menyerupai sayap pesawat terbang. Turbin berputar semakin cepat jika semakin banyak bilah yang dimilikinya.



Gambar 1. Turbin angin poros vertikal

b. Turbin angin poros horizontal

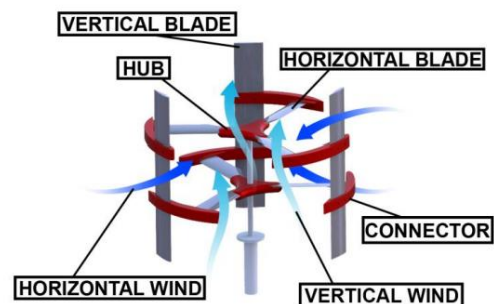
Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin yang gerak poros dan rotornya sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar ke segala arah angin. Karena dapat menghasilkan listrik pada kecepatan angin rendah, TASV merupakan pilihan terbaik untuk digunakan di lokasi dengan kecepatan angin rendah dan turbulensi lebih tinggi, seperti wilayah perkotaan. Sistem untuk TASV, termasuk *gearbox* dan peralatan lainnya, dapat diposisikan lebih dekat ke tanah, sehingga memerlukan lebih sedikit perawatan dan peningkatan kontrol.



Gambar 2. Turbin angin poros horizontal

c. Turbin angin tipe poros silang

Turbin angin sumbu silang merupakan jenis turbin angin yang dapat menyerap energi kinetik angin dari aliran udara yang berasal dari arah horizontal maupun arah vertikal.



Gambar 3. Turbin angin poros silang

2. Persamaan pada turbin angin

- a. Daya angin yang masuk ke turbin sama dengan laju energi kinetik angin turbin dan dinyatakan dengan persamaan:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

- b. Perbandingan kecepatan putar poros generator dengan poros turbin angin dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$GR = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (2)$$

- c. Koefisien performansi turbin angin adalah rasio daya rotor terhadap tenaga angin, yang dinyatakan oleh persamaan:

$$Cp = \frac{P_e}{P} \times 100\% \quad (3)$$

- d. Kecepatan tangensial turbin angin dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (4)$$

- e. TSR dinyatakan oleh persamaan:

$$TSR = \frac{\omega r}{V} \quad (5)$$

- f. Persamaan menghitung daya listrik yang dibangkitkan generator

$$P_e = V \cdot I \quad (6)$$

IV. MODIFIKASI GENERATOR

Modifikasi generator dibagi menjadi 3 yaitu:

- a. Mengganti dinamometer generator DC

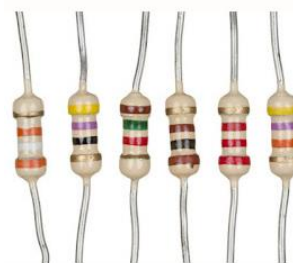
Dinamometer sebelumnya memiliki kapasitas generator 60 W pada putaran maksimum sekitar 20000 rpm, sedangkan generator DC hasil pengembangan memiliki kapasitas daya 40 W pada putaran maksimum sekitar 13000 rpm.



Gambar 4. Generator DC 40 W

- b. Mengganti pembebanan

Pembebanan listrik menggunakan lampu bohlam 5 W sulit diatur nilai beban listriknya, sehingga dalam melakukan pengujian kesulitan menentukan pembulatan nilai beban listrik yang ditentukan.



Gambar 5. Resistor

- c. Mengganti sistem transmisi

Sistem transmisi daya menggunakan sabuk dan puli memiliki kekurangan karena adanya rugi-rugi akibat terjadinya slip, disebabkan oleh temperatur yang meningkat ketika putaran cepat. Kecepatan sabuk direncanakan untuk 10 sampai 20 m/s pada umumnya, dan maksimum sampai 25 m/s. Daya maksimum yang dapat ditransmisikan kurang lebih sampai 500 kW.



Gambar 6. Rantai dan Sproket

V. PENGUJIAN, PENGOLAHAN DATA, DAN ANALISIS

1. Pengujian

Pengujian ini dilakukan pada kondisi kecepatan angin konstan. Berikut prosedur pengujian performansi tipe poros silang:

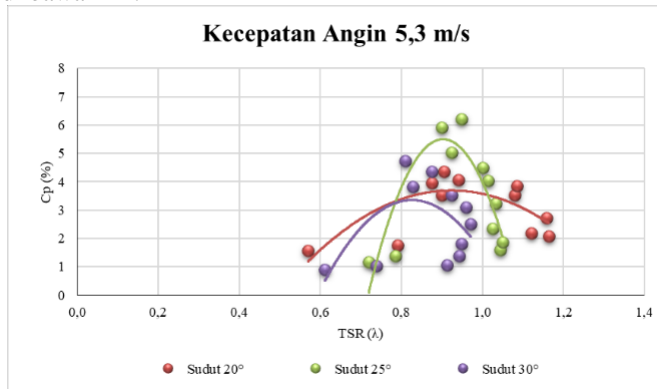
- Pengujian performansi dilakukan pada kecepatan angin yang keluar dari terowongan angin diatur dengan menggunakan inverter, selanjutnya mengukur kecepatan angin menggunakan *pitot tube* mulai dari 5,3 m/s, 5,8 m/s, dan 6,3 m/s. Sudut *pitch* sudu horizontal diatur secara manual mulai dari 15°, 20°, 25°, dan 30°.
- Pengujian tanpa beban dilakukan pada setiap kecepatan angin konstan dan sudut *pitch* sudu yang divariasikan, diamati waktu yang dibutuhkan dari keadaan turbin diam sampai kecepatan putaran konstan
- Pengujian menggunakan beban dilakukan pada setiap kecepatan angin konstan dan sudut *pitch* sudu yang divariasikan, diamati tegangan listrik, arus listrik, dan kecepatan putar generator. Beban pada generator DC dinaikan secara bertingkat menggunakan potensiometer arduino.
- Setiap beban yang konstan tegangan listrik, dan arus listrik diukur manual dengan multimeter dan dinamometer generator, untuk kecepatan putar

generator dan turbin angin diukur manual dengan tachometer.

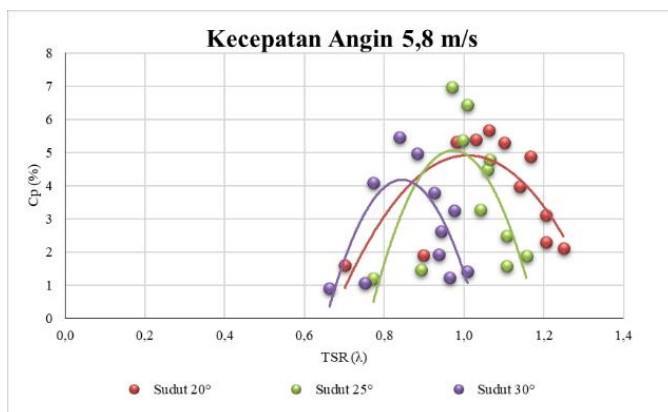
- e. Arduino akan merekap data berupa tegangan listrik, arus listrik dan kecepatan putar generator selama 4 detik sekali, selanjutnya data tersebut ditampilkan pada papan *display*.
- f. Semua data pengujian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, yang selanjutnya diolah dan dianalisis.

2. Pengolahan data

Data hasil pengujian ini selanjutnya diolah untuk mendapatkan parameter performansi turbin angin tipe poros silang. Grafik pengujian dapat dilihat pada Gambar 7,8 dan 9 di bawah ini:

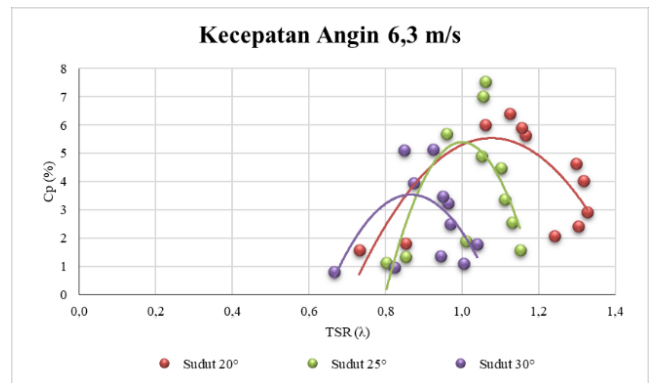


Gambar 7. Cp terhadap TSR pada kecepatan angin 5,3 m/s



Gambar 8. Cp terhadap TSR pada kecepatan angin 5,8 m/s

Kenaikan Koefisien performansi dipengaruhi oleh *lift* dan *drag* sudu horizontal, sehingga setiap energi angin yang diterima sudu horizontal memiliki koefisien performansi yang berbeda, seperti pada sudut *pitch* sudu 25° yang memiliki nilai koefisien performansi lebih besar dari sudut *pitch* sudu 30°. Hal tersebut terjadi karena pada sudut 25° memiliki *lift* yang lebih besar dari sudut 30°, dan *drag* lebih kecil yang mengakibatkan terjadinya torsi sehingga turbin angin dapat berputar. Pada saat jumlah rotasi mencapai nilai maksimum, konversi energi kinetik angin menjadi energi putaran poros turbin angin mencapai performansi tertinggi. Performansi tertinggi yang dicapai turbin angin dinyatakan dengan koefisien performansi maksimum.



Gambar 9. Cp terhadap TSR pada kecepatan angin 6,3 m/s

VI. KESIMPULAN

- a. Dinamometer generator hasil pengembangan dapat membangkitkan listrik pada putaran di bawah 1000 rpm. Arus dan tegangan listrik keluaran dinamometer generator dapat diukur.
- b. Daya listrik maksimum keluaran dinamometer generator yaitu sebesar 4,55 W pada kecepatan angin 6,3 m/s dan sudut *pitch* sudu 25°.
- c. Kecepatan angin 6,3 m/s membutuhkan waktu yang lebih pendek untuk mencapai kecepatan putar konstan yaitu dengan waktu sekitar 30 s.
- d. Koefisien performansi maksimum sebesar 7,54% pada kecepatan angin 6,3 m/s dengan sudut *pitch* sudu 25° dan TSR sebesar 1,06.

REKOMENDASI

Pengembangan terhadap hasil penelitian ini yaitu pengembangan lebih difokuskan pada modifikasi dinamometer generator dengan daya dan putaran yang lebih rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dapat terlaksana berkat kerja sama yang baik dengan laboratorium Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945. Oleh karena itu pada kesempatan yang baik ini kami mengucapkan terima kasih banyak kepada Koordinator Laboratorium dan Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945.

REFERENSI

- [1] E. Achdi, B. Fajar, S. H. Winoto, dan I. Lufti, "Preliminary Test on Cross Axis Type Wind Turbine," *Adv Sci Lett*, vol. 24, no. 12, hlm. 9620–9622, Nov 2018, doi: 10.1166/asl.2018.13093.
- [2] W. K. Muzammil *dkk.*, "Design and Early Development of a Novel Cross Axis Wind Turbine," dalam *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2017, hlm. 668–674. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.373.

- [3] W. T. Chong, M. Gwani, C. J. Tan, W. K. Muzammil, S. C. Poh, dan K. H. Wong, "Design and testing of a novel building integrated cross axis wind turbine," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 7, no. 3, 2017, doi: 10.3390/app7030251.
- [4] F. Spinato, P. J. Tavner, G. J. W. Van Bussel, dan E. Koutoulakos, "Reliability of Wind Turbine Subassemblies," *IET Renewable Power Generation*, vol. 3, no. 4, hlm. 387–401, 2009, doi: 10.1049/iet-rpg.2008.0060.
- [5] M. K. Johari, M. A. A. Jalil, dan M. F. M. Shariff, "Comparison of Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) and Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)," *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, vol. 7, no. 4, hlm. 74–80, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.13.21333.
- [6] L. E. M. Lignarolo, D. Ragni, C. Krishnaswami, Q. Chen, C. J. Simão Ferreira, dan G. J. W. van Bussel, "Experimental Analysis of the Wake of a Horizontal Axis Wind Turbine Model," *Renew Energy*, vol. 70, hlm. 31–46, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2014.01.020.
- [7] M. Jureczko dan M. Mrówka, "Multi Objective Optimization of Composite Wind Turbine Blade," *Materials*, vol. 15, no. 13, Jul 2022, doi: 10.3390/ma15134649.