

ABSTRAK

Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi terbarukan semakin penting dalam mendukung transisi energi yang ramah lingkungan. Salah satu inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi konversi energi angin adalah pengembangan turbin angin sumbu vertikal tipe bertingkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi *Phase-Shift Angle* (PSA) dan kombinasi desain turbin terhadap kinerja turbin angin pada kecepatan angin rendah (5 m/s). Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan *prototipe* turbin bertingkat dengan kombinasi konfigurasi turbin Savonius dan Helikal serta variasi PSA sebesar 0°, 30°, 60°, dan 90°. Parameter kinerja yang diuji meliputi kecepatan putar, *tip speed ratio* (λ), koefisien momen (C_m), koefisien daya (C_p), serta daya mekanik dan elektrik yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi desain turbin Helikal-Helikal dengan PSA sebesar 30° menghasilkan performa terbaik, dengan *tip speed ratio* (λ) sebesar 1,174, koefisien momen (C_m) sebesar 0,0307, dan koefisien daya (C_p) sebesar 0,0399. Daya mekanik maksimum yang dicapai sebesar 7,40 watt, dengan daya listrik yang dihasilkan sebesar 4,37 watt. Analisis ANOVA dua arah didapatkan bahwa variasi PSA dan desain turbin memberikan pengaruh signifikan terhadap performa turbin. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan turbin angin skala kecil yang efisien dan layak digunakan dalam kondisi angin rendah di Indonesia.

Kata Kunci: turbin angin sumbu vertikal, *Phase-Shift Angle* (PSA), kinerja turbin, koefisien daya, energi terbarukan

ABSTRACT

The utilization of wind energy as a renewable energy source is increasingly important in supporting an environmentally friendly energy transition. One of the technological innovations to increase the efficiency of wind energy conversion is the development of multistage type vertical axis wind turbines. This study aims to examine the effect of Phase-Shift Angle (PSA) variations and turbine design combinations on wind turbine performance at low wind speeds (5 m/s). The research was conducted experimentally using a multistage turbine prototype with a combination of Savonius and Helical turbine configurations and PSA variations of 0°, 30°, 60°, and 90°. The performance parameters tested include rotational speed, tip speed ratio (λ), coefficient of moment (C_m), coefficient of power (C_p), and mechanical and electrical power generated. The test results show that the combination of Helical-Helical turbine design with PSA of 30° produces the best performance, with tip speed ratio (λ) of 1.174, coefficient of moment (C_m) of 0.0307, and power coefficient (C_p) of 0.0399. The maximum mechanical power achieved was 7.40 watts, with an electrical power generated of 4.37 watts. Two-way ANOVA analysis found that PSA variation and turbine design had a significant effect on turbine performance. This research contributes to the development of small-scale wind turbines that are efficient and feasible to use in low wind conditions in Indonesia. Translated with DeepL.com (free version)

Keywords: vertical axis wind turbine, Phase-Shift Angle (PSA), turbine performance, power coefficient, renewable energy