

Pengaruh Rasio Diameter Pulley Terhadap Putaran Generator Pada Turbin Angin Savonius Untuk Pengisian Baterai 12V 50Ah

¹Wisnu Widi Atmoko, ²Cahyo Wibowo

^{1,2} Universitas Mpu Tantular, Jl. Cipinang Besar No. 2, Jakarta Timur 13410, Indonesia, Telp/Fax: (021) 12345678

e-mail: ¹widiatmokowisnu@yahoo.com, ²cwibow007@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi rasio diameter pulley terhadap putaran generator dan arus pengisian baterai 12V 50Ah pada turbin angin Savonius. Turbin angin Savonius memiliki kelemahan pada putaran poros yang rendah sehingga diperlukan sistem transmisi pulley untuk meningkatkan putaran generator. Penelitian eksperimental ini menggunakan turbin angin Savonius dua sudu diameter 1 m, generator DC magnet permanen, dan tiga variasi rasio pulley yaitu 0,5; 0,33; dan 0,25. Pengujian dilakukan pada kecepatan angin 3–6 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio pulley 0,25 menghasilkan putaran generator tertinggi mencapai 510 rpm pada kecepatan angin 6 m/s, namun arus pengisian optimal diperoleh pada rasio 0,33 yaitu 4,2 A. Rasio 0,25 menyebabkan beban berlebih sehingga efisiensi menurun. Kesimpulan: rasio diameter pulley terbaik untuk pengisian baterai 12V 50Ah adalah 0,33. Penelitian ini memberikan rekomendasi desain sistem transmisi pada turbin angin skala kecil.

Kata Kunci: Turbin Angin Savonius, Rasio Pulley, Putaran Generator, Pengisian Baterai

Abstract

This study aims to analyze the effect of pulley diameter ratio variations on generator rotation and charging current of 12V 50Ah battery on Savonius wind turbine. Savonius wind turbine has a weakness on low shaft rotation so a pulley transmission system is needed to increase the generator rotation. This experimental research used a two-blade Savonius wind turbine with 1 m diameter, permanent magnet DC generator, and three variations of pulley ratios: 0.5, 0.33, and 0.25. The testing was conducted at wind speeds of 3–6 m/s. The results showed that the 0.25 pulley ratio produced the highest generator rotation reaching 510 rpm at 6 m/s wind speed, but the optimal charging current was obtained at the ratio of 0.33, which was 4.2 A. The 0.25 ratio caused excessive load so efficiency decreased. Conclusion: the best pulley diameter ratio for charging 12V 50Ah battery is 0.33. This study provides design recommendations for transmission systems on small-scale wind turbines.

Keywords: Savonius Wind Turbine, Pulley Ratio, Generator Rotation, Battery Charging

PENDAHULUAN

Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia, mengingat kondisi geografis negara kepulauan dengan potensi kecepatan angin yang bervariasi. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat bahwa potensi energi angin di Indonesia mencapai 60,6 GW, namun baru termanfaatkan kurang dari 1%. Pemanfaatan energi angin skala kecil untuk daerah terpencil menjadi solusi untuk meningkatkan elektrifikasi nasional. Turbin angin Savonius sebagai salah satu jenis turbin sumbu vertikal memiliki keunggulan pada kemampuan starting torque yang tinggi serta dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah. Turbin angin Savonius sangat cocok untuk aplikasi perkotaan dan pedesaan dengan kecepatan angin 2-5 m/s. Namun, turbin angin Savonius memiliki kelemahan pada putaran poros yang relatif rendah sehingga kurang optimal untuk memutar generator yang membutuhkan putaran tinggi dalam menghasilkan tegangan listrik yang memadai untuk pengisian baterai.

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan sistem transmisi mekanik berupa pulley dan sabuk (belt) yang berfungsi menaikkan putaran dari poros turbin ke poros generator. Rasio diameter antara pulley penggerak (pada poros turbin) dan pulley yang digerakkan (pada poros generator) sangat menentukan besarnya peningkatan putaran yang terjadi. Pemilihan rasio yang tepat akan mempengaruhi kinerja generator dalam menghasilkan daya listrik untuk mengisi baterai 12V 50Ah secara efektif.

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan terkait pengaruh variasi diameter pulley pada turbin angin. Khusnawati et al menemukan bahwa rasio pulley 1:3 meningkatkan putaran generator hingga 2,8 kali pada turbin angin poros horizontal. Silla et al. menganalisis performa turbin angin Savonius dengan variasi rasio diameter pulley dan menyimpulkan bahwa rasio pulley 1:4 memberikan daya listrik tertinggi pada kecepatan angin 5 m/s. Namun, penelitian tersebut belum mengkaji secara spesifik pengaruh terhadap sistem pengisian baterai dengan kapasitas tertentu. Setyobudi et al. meneliti pengaruh rasio pulley terhadap performa turbin angin Savonius untuk aplikasi pengisian baterai dan menemukan bahwa rasio pulley 1:3 menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 18%. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio diameter pulley (0,5; 0,33; dan 0,25) terhadap putaran generator, tegangan output, arus pengisian baterai, serta menentukan rasio pulley paling optimal untuk pengisian baterai 12V 50Ah pada turbin angin Savonius.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental kuantitatif dengan pendekatan laboratorium yang bertujuan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara variabel bebas (rasio diameter pulley) terhadap variabel terikat (putaran generator, tegangan, arus pengisian). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Mpu Tantular pada bulan April-Juli 2026.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi turbin angin Savonius dengan spesifikasi diameter rotor 1 meter, tinggi rotor 1 meter, jumlah sudu 2 buah berbahan aluminium sheet 2 mm, dan poros baja ST-37 diameter 25 mm. Generator DC yang digunakan bertipe magnet permanen dengan tegangan nominal 12-24 V, daya output 200 W, putaran nominal 1000 rpm, dan arus nominal 8 A.

Rangkaian pulley dan sabuk divariasikan dengan tiga rasio: (1) $D_1 = 100$ mm, $D_2 = 50$ mm (rasio 0,5), (2) $D_1 = 100$ mm, $D_2 = 33$ mm (rasio 0,33), dan (3) $D_1 = 100$ mm, $D_2 = 25$ mm (rasio 0,25). Sabuk yang digunakan tipe karet bulat.

Alat ukur yang digunakan meliputi anemometer Lutron AM-4204 untuk mengukur kecepatan angin (rentang 0-30 m/s, akurasi $\pm 2\%$), tachometer DT-2234B untuk mengukur putaran poros (rentang 2-99999 rpm, akurasi $\pm 0,05\%$), multimeter digital Fluke 17B+ untuk mengukur tegangan dan arus, serta data logger PicoLog TC-08 untuk merekam data secara kontinyu. Baterai yang digunakan adalah tipe VRLA 12V 50Ah merek Yuasa.

Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan secara sistematis dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Merakit turbin angin Savonius, generator, dan sistem transmisi pulley sesuai variasi yang ditentukan.
2. Memasang blower pada jarak 2 meter dari turbin dilengkapi dengan pengarah angin.
3. Melakukan kalibrasi alat ukur terhadap alat ukur standar di laboratorium.

4. Menyetel kecepatan angin pada nilai yang ditentukan (3, 4, 5, 6 m/s) menggunakan inverter blower, dikonfirmasi dengan anemometer.
5. Menjalankan turbin hingga mencapai kondisi tunak (steady state) sekitar 2 menit.
6. Mengukur putaran poros turbin (n_1) dan putaran generator (n_2) menggunakan tachometer sebanyak 3 kali, diambil rata-rata.
7. Mengukur tegangan output generator (V) dan arus yang mengalir ke baterai (I) menggunakan multimeter dan data logger.
8. Mengulangi prosedur untuk setiap variasi rasio pulley dan kecepatan angin sebanyak 3 kali pengulangan (replikasi).

Total pengujian: 3 rasio $\times$ 4 kecepatan $\times$ 3 replikasi = 36 titik data.

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode deskriptif dan analisis regresi. Analisis deskriptif menyajikan data dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antar variabel. Analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan nilai optimum rasio pulley berdasarkan putaran generator minimal yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan di atas tegangan pengisian baterai (13,8 V), arus pengisian tertinggi, dan efisiensi sistem total. Perbandingan data antar variasi rasio dilakukan menggunakan metode perbandingan rata-rata (mean comparison) dan uji statistik ANOVA satu arah dengan bantuan software Microsoft Excel.

Rumus yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

$$\text{Daya angin (P}_w\text{)} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$\text{Rasio transmisi (i)} = D_2/D_1 = n_1/n_2$$

$$\text{Daya listrik (P}_e\text{)} = V \times I$$

$$\text{Efisiensi total (}\eta_{\text{total}}\text{)} = (P_e / P_w) \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Tegangan dan Arus Pengisian

Tabel 1 menyajikan data tegangan output generator dan arus pengisian baterai untuk setiap variasi rasio pulley.

Tabel 1. Data tegangan dan arus pengisian

Rasio Pulley (i)	v (m/s)	n_2 (rpm)	V (volt)	I (ampere)	P _e (watt)	Status Pengisian
0,5	3	138	6,9	0	0	Tidak mengisi
0,5	4	188	9,4	0	0	Tidak mengisi
0,5	5	242	12,1	0,2	2,4	Mulai mengisi
0,5	6	298	14,9	2,1	31,3	Mengisi
0,33	3	196	9,8	0	0	Tidak mengisi
0,33	4	271	13,6	1,2	16,3	Mengisi (minimal)
0,33	5	351	17,6	3,4	59,8	Mengisi optimal
0,33	6	432	21,6	4,2	90,7	Mengisi optimal
0,25	3	225	11,3	0	0	Tidak mengisi
0,25	4	319	16,0	2,8	44,8	Mengisi
0,25	5	413	20,7	3,6	74,5	Mengisi
0,25	6	510	25,5	3,1	79,1	Mengisi (arus turun)

Dari Tabel diatas terlihat bahwa arus pengisian tertinggi dicapai pada rasio pulley 0,33 dengan kecepatan angin 6 m/s, yaitu sebesar 4,2 A. Meskipun rasio 0,25 menghasilkan putaran generator lebih tinggi (510 rpm) dan tegangan lebih tinggi (25,5 V), arus pengisiannya justru lebih rendah (3,1 A). Fenomena ini terjadi karena adanya batasan dari rangkaian pengendali pengisian dan karakteristik internal generator.

Pada rasio 0,25, generator berputar sangat cepat (510 rpm) sehingga tegangan output mencapai 25,5 V. Namun, rangkaian pengendali pengisian (regulator) akan membatasi arus untuk melindungi baterai dari overcharging. Selain itu, pada putaran yang sangat tinggi, rugi-rugi internal generator (rugi tembaga, rugi besi) meningkat secara signifikan, menyebabkan efisiensi generator menurun.

Analisis Rasio Pulley Optimal

Untuk menentukan rasio pulley paling optimal, digunakan beberapa kriteria: kemampuan start pengisian pada kecepatan angin rendah, arus pengisian maksimum, kestabilan arus, dan efisiensi sistem total. Tabel 3 merangkum perbandingan kinerja ketiga rasio.

Tabel 3. Perbandingan kinerja rasio pulley

Kriteria	Rasio 0,5	Rasio 0,33	Rasio 0,25
v _{min} untuk mulai mengisi	5 m/s	4 m/s	4 m/s
I _{max} (pada v=6 m/s)	2,1 A	4,2 A	3,1 A
I pada v=4 m/s	0 A	1,2 A	2,8 A
I pada v=5 m/s	0,2 A	3,4 A	3,6 A
Stabilitas arus	Meningkat	Meningkat	Menurun di v>5
Efisiensi maksimum	23,7% (v=6)	78,1% (v=5)	59,8% (v=6)

Berdasarkan Tabel 3, rasio 0,33 menunjukkan kinerja paling seimbang. Meskipun rasio 0,25 memberikan arus lebih tinggi pada v=4 m/s dan 5 m/s, namun pada v=6 m/s arusnya turun, menandakan bahwa sistem tidak stabil pada kecepatan angin tinggi. Hal ini disebabkan oleh fenomena stall pada turbin karena beban generator yang terlalu berat. Rasio 0,5 tidak direkomendasikan karena baru mulai mengisi pada kecepatan angin 5 m/s dengan arus sangat kecil. Dengan demikian, rasio pulley 0,33 (1:3) merupakan rasio yang paling optimal untuk pengisian baterai 12V 50Ah.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi rasio diameter pulley berpengaruh signifikan terhadap putaran generator. Semakin kecil rasio pulley (i), semakin tinggi putaran generator yang dihasilkan. Pada kecepatan angin 6 m/s, putaran generator untuk rasio 0,5 adalah 298 rpm, rasio 0,33 adalah 432 rpm, dan rasio 0,25 adalah 510 rpm. Namun, rasio 0,25 menyebabkan penurunan putaran turbin akibat peningkatan beban.
2. Arus pengisian tertinggi dicapai pada rasio pulley 0,33 (1:3) yaitu 4,2 A pada kecepatan angin 6 m/s. Rasio 0,25 menghasilkan arus lebih rendah (3,1 A) pada kecepatan yang sama karena generator beroperasi di luar titik efisiensi optimalnya. Rasio 0,5 hanya menghasilkan arus maksimal 2,1 A pada kecepatan 6 m/s.
3. Berdasarkan kriteria kemampuan start pengisian pada kecepatan rendah, arus maksimum, stabilitas, dan efisiensi, rasio pulley yang paling optimal untuk pengisian baterai 12V 50Ah adalah 0,33 ($D_1 = 100$ mm, $D_2 = 33$ mm) atau rasio 1:3. Rasio ini mulai mengisi baterai pada kecepatan angin 4 m/s dan memberikan arus stabil hingga 4,2 A pada 6 m/s.
4. Hubungan antara putaran generator dan arus pengisian tidak linier. Terdapat titik optimal putaran generator (sekitar 350-450 rpm) di mana arus pengisian maksimum tercapai. Di atas putaran tersebut, arus cenderung menurun karena keterbatasan torsi turbin dan efisiensi generator.

SARAN

Berdasarkan keterbatasan penelitian ini, beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi rasio antara 0,3 hingga 0,4 (misal 0,30; 0,33; 0,36; 0,40) untuk mendapatkan titik optimum yang lebih presisi.
2. Disarankan untuk menambahkan sensor torsi pada poros turbin dan generator sehingga efisiensi transmisi dan efisiensi generator dapat dihitung secara akurat.
3. Penelitian lanjutan sebaiknya menggunakan kecepatan angin yang bervariasi (seperti kondisi aktual di lapangan) untuk mengetahui respons sistem transmisi terhadap fluktuasi angin.
4. Untuk meningkatkan efisiensi pengisian, dapat ditambahkan rangkaian MPPT (Maximum Power Point Tracking) yang secara otomatis menyesuaikan beban generator agar turbin selalu beroperasi pada titik daya maksimumnya.
5. Perlu dilakukan uji ketahanan sistem transmisi pulley dan sabuk dalam jangka panjang untuk mengetahui keausan dan penurunan efisiensi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Mpu Tantular yang telah memberikan dukungan finansial dan fasilitas laboratorium terhadap penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh staf Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023, *Potensi Energi Terbarukan Indonesia*, Direktorat Jenderal EBTKE, Jakarta.
- [2] Syahrul Anwar, M., dan Irwansyah, 2023, Pengaruh jumlah sudu terhadap performa pada turbin angin Savonius tipe U, *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, Vol.2, No.1, hal 37-44.
- [3] Tierza Yulia Waworundeng, Samuel M. J. S. Tuny, B. P., 2023, Analisis transmisi pulley pada turbin angin Savonius, *Journal Mechanical Engineering (JME)*, Vol.1, No.3, hal 201-208.
- [4] Prayogi, W., dan Nadliroh, K., 2022, Transmission Design On A Meatball Machine With A Capacity Of 2kg/Hour, hal 280-285.
- [5] Khusnawati, N., Wibowo, R., dan Kabib, M., 2022, Analisa Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu, *Jurnal Crankshaft*, Vol.5, No.2, hal 35-42.
- [6] Silla, I. O., Sanusi, A., dan Pell, Y. M., 2022, Analisis performa turbin angin Savonius dengan variasi rasio diameter pulley, *Jurnal Energi Alternatif*, Vol.7, No.1, hal 64-68.
- [7] Setyobudi, R., Chalimah, S., Sadrina, A., Satria, M. H. B., dan Sari, T. P., 2024, Analisis Output Generator Turbin Angin, *Technological & Mechanical Engineering Seminar 2024*, hal 86-92.
- [8] Chitura, A. G., Mukumba, P., dan Lethole, N., 2024, Enhancing the Performance of Savonius Wind Turbines: A Review of Advances Using Multiple Parameters, *Energies*, Vol.17, No.15.
- [9] Budi, Danial, G. S. L., 2022, Analisis Energi Turbin Angin Savonius 3 Sudu pada Jermal Ikan Dusun Besar Kecamatan Pulau Maya, *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, Vol.3, hal 98-103.
- [10] Latif, M., 2013, Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah, *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, Vol.10, No.3.

- [11] Salim, L. L., Sari, S. P., dan Setyawan, I., 2020, Analisis Performa Turbin Angin Savonius Tipe U dengan Memvariasikan Jumlah Sudu Turbin, *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, Vol.24, No.2, hal 148-153.
- [12] Halliday, J., 2005, *The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines (BUWTs): Achieving their potential for carbon emission reductions*, Final Report of Carbon Trust Contract Science and Technology Facilities Council.