



Analisis Kinerja Turbin Savonius Dengan Variasi Sudu Untuk Menghasilkan Listrik Dari *Wind Tunnel*

Alvian Harris Gita Purnama¹ Nur Rohmat² Hilmala Nurmualimah³

¹Teknik Mesin, Teknik, Universitas Pamulang

¹jtm@pnp.ac.id ²prosiding@pnp.ac.id

Abstract

The extensive use of fossil fuels for electricity generation in Indonesia has intensified the urgency to develop environmentally friendly and sustainable renewable energy sources. One underutilized potential lies in the conversion of exhaust air from buildings into micro-scale electrical energy. Previous studies have shown that the number of blades on a Savonius turbine significantly affects energy conversion efficiency, particularly under low wind speed conditions. However, there remains a lack of comprehensive exploration into the performance impact of different blade configurations. This study aims to analyze the performance of Savonius turbines with varying blade numbers (three and four blades) in generating electricity within a wind tunnel, and to compare the efficiency between the two configurations. The research employed experimental testing and analytical calculations on Savonius turbines operated in a wind tunnel with an average wind speed of 7.908 m/s. The analysis of Tip Speed Ratio (TSR) yielded values of 0.122 for the three-blade turbine and 0.137 for the four-blade turbine. The calculated power efficiency was 1.37% for the three-blade turbine and 0.97% for the four-blade turbine. The electrical power output was measured at 3.6 watts for the three-blade configuration and 16.8 watts for the four-blade configuration. The low TSR values indicate suboptimal energy capture from wind flow. Therefore, the utilization of exhaust airflow for micro power generation requires further optimization to enhance overall performance and applicability

Keyword: Savonius Turbine, Renewable Energy, Wind Tunnel, Turbine Efficiency, Micro Power Generation

Abstrak

Penggunaan bahan bakar fosil yang masif di Indonesia untuk pembangkitan energi listrik mendorong urgensi pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu potensi EBT yang belum optimal adalah pemanfaatan udara buangan (*exhaust*) dari gedung-gedung yang dapat diubah menjadi energi listrik mikro. Beberapa studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa jumlah sudu pada turbin Savonius berpengaruh signifikan terhadap efisiensi konversi energi, terutama pada kondisi kecepatan angin rendah. Namun, masih terdapat keterbatasan dalam eksplorasi variasi konfigurasi sudu serta pengaruhnya terhadap performa turbin secara komprehensif. Studi ini bertujuan untuk menganalisis kinerja turbin Savonius dengan variasi sudu (3 dan 4 sudu) dalam menghasilkan listrik dari *wind tunnel*, serta menentukan efisiensi perbandingan kedua konfigurasi turbin tersebut. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode pengujian dan metode perhitungan pada turbin Savonius yang dioperasikan dalam *wind tunnel* dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 7,908 m/s. Analisis Tip Speed Ratio (TSR) menunjukkan nilai 0,122 untuk turbin 3 sudu dan 0,137 untuk turbin 4 sudu. Dari hasil perhitungan, efisiensi daya turbin Savonius 3 sudu sebesar 1,37% dan turbin 4 sudu sebesar 0,97%. Daya listrik yang dihasilkan masing-masing adalah 3,6 watt untuk turbin 3 sudu dan 16,8 watt untuk turbin 4 sudu. Nilai TSR yang rendah menunjukkan efisiensi penangkapan energi angin belum optimal. Pemanfaatan udara *exhaust* untuk pembangkitan listrik mikro masih perlu optimasi lanjutan.

Kata kunci: Turbin Savonius, Energi Baru Terbarukan, *Wind Tunnel*, Efisiensi Turbin, Pembangkit Listrik Mikro

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang masih banyak menggunakan bahan bakar fosil sebagai media penghasil energi listrik. Batu bara contohnya sebagai salah satu bahan bakar guna menghasilkan listrik yang masih digunakan di Indonesia.

Pengembangan Energi Baru Terbarukan adalah salah satu solusi untuk menghadapi krisis energi nantinya ketika bahan bakar tersebut sudah menipis atau bahkan sudah habis. Selain energi terbarukan adalah energi yang ramah lingkungan, energi

terbarukan juga merujuk kepada sumber energi yang memiliki pembaruan terus menerus dan tidak akan habis dalam jangka pendek [1].

Salah satu bentuk usaha dalam mewujudkan energi baru terbarukan yaitu pemanfaatan udara yang dihasilkan oleh *exhaust* sehingga dapat berpotensi menjadi listrik. Banyak gedung masih belum memanfaatkan udara *exhaust* sehingga udara tersebut hanya terbuang dan tidak bermanfaat. Dengan adanya tekanan yang diberikan oleh *exhaust fan*, maka akan ada kemungkinan pembangkit listrik tenaga bayu versi mikro dapat dioptimalkan. *Wind Tunnel* dimanfaatkan untuk ditambahkan sebuah pembangkit listrik tenaga mikro bayu untuk memberi arah sehingga lebih optimal dalam penangkapan udaranya [2].

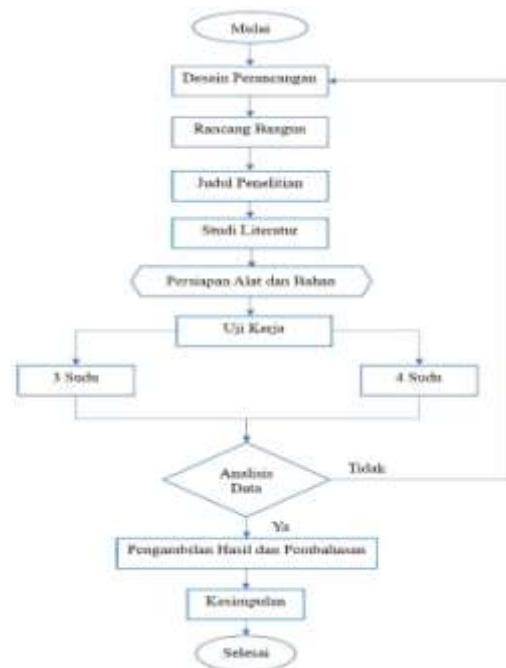
[3] Terdapat penemuan bahwa jumlah sudu memiliki pengaruh terhadap efisiensi kinerja turbin. Pada penelitian yang dilakukan oleh [4] menunjukkan bahwa pada setiap kenaikan kecepatan angin akan mengakibatkan putaran yang semakin cepat sehingga mengakibatkan putaran pada generator yang lebih cepat juga. Selisih antara daya mekanik turbin dengan daya generator yang jauh maka nilai efisiensi akan mengalami penurunan. Dengan penggunaan 4 sudu pada turbin savonius akan memiliki kemampuan menyerap sapuan angin yang kecil [5] untuk penerangan pada kapal nelayan. Dengan ini maka ada kemungkinan potensi energi listrik pada turbin savonius menggunakan beberapa rangkaian yang sudah diaplikasikan pada penelitian tersebut. Pada penelitian [6] dikatakan bahwa pada penambahan komponen pengarah angin di turbin angin savonius memiliki peningkatan potensi energi listrik yang telah dihasilkan.

Dengan penelitian ini maka akan memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan khususnya dalam pemanfaatan udara *exhaust* yang biasanya hanya terbuang namun harapannya dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan energi listrik atau pembangkit listrik mikro.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode perhitungan dan metode pengujian untuk melakukan pengambilan data sehingga mendapatkan hasil efisiensi turbin savonius yang digunakan.

2.1 Diagram Alir Penelitian



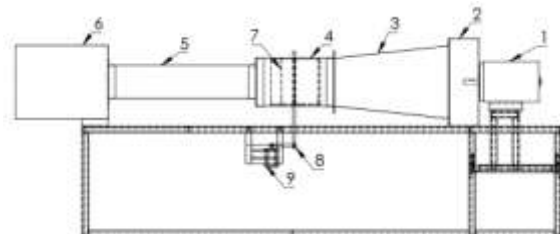
Gambar 1. Diagram Alir

Penelitian ini memiliki beberapa tahap dalam proses pengambilan data sebagai berikut :

1. Rancang bangun turbin savonius 3 sudu dan 4 sudu
2. Perakitan rangkaian kelistrikan.
3. Melakukan pengambilan data pada kecepatan angin, kecepatan putaran turbin, dan daya listrik yang di hasilkan.
4. Pengambilan data berulang untuk memastikan data tersebut memiliki penyimpangan yang menuju akurat.
5. Mengolah data yang didapat untuk pengumpulan data menggunakan metode perhitungan.
6. Mengambil kesimpulan yang didapat pada penelitian ini.
7. Publikasi

2.2 Komponen alat

1. *Wind Tunnel*



Gambar 2. Komponen *Wind Tunnel*

Wind tunnel seperti yang terlihat pada Gambar 2 terdiri dari beberapa komponen seperti motor 1 phase (1), rumah kipas (2), diffuser (3),

box turbin (4), *test section* (5), dan juga output (6). Pada komponen pembangkit listrik tenaga bayu terdiri dari turbin savonius (7) sebagai penangkap energi anginnya, kemudian dalam sistem transmisi (8) terdapat timing pulley dan timing belt yang dikaitkan antara as turbin savonius dan generator (9).

2. Dimensi Turbin



Gambar 3. Dimensi Turbin

Gambar 3 merupakan dimensi pada turbin savonius 3 sudu dan 4 sudu, terdiri atas ϕ turbin = 286mm, ϕ poros = 16mm, dan H = 216mm.

2.2 Parameter Perhitungan

Untuk mencapai dalam hasil penelitian yang optimal, maka diperlukanlah beberapa rumus perhitungan sebagai berikut :

1. Luas Penampang

Turbin savonius memiliki part utama yaitu rotor, pada rotor tersebut terdapat sebuah blade turbin yang dirakit. Luas penampang turbin dirumuskan pada permasamaan berikut [4] :

$$A = D \times H \quad (1)$$

Dimana :

A = Luas penampang (m^2)

D = Diameter Turbin (m)

H = Tinggi Sudu Turbin (m)

2. Daya Kinetik

Daya kinetik atau daya turbin ini berbanding lurus dengan kubik kecepatan dan kerapatan pada udara [7]. :

$$P_k = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2)$$

Dimana :

P_k = Daya Kinetik (Watt)

ρ = Massa Jenis Angin (kg/m^3)

A = Luas Penampang (m^2)

v = Kecepatan angin (m/s)

3. Torsi

Penentuan nilai parameter torsi dapat dihitung menggunakan persamaan [8]. :

$$T = F \cdot r$$

$$T = m \cdot g \cdot r \quad (3)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

m = Massa (kg)

g = Gravitasi (9,8 m/s)

r = Jari-jari (m)

4. Daya Mekanik

Turbin savonius memiliki daya mekanik, dimana daya mekanik adalah daya yang dihasilkan oleh sudu turbin untuk menjadi daya transmisi yang akan digunakan untuk memutar generator. Pada hal tersebut maka adanya persamaan [9]. :

$$P_{mek} = \frac{2\pi n T}{60} \quad (4)$$

Dimana :

P_{mek} = Daya Mekanik (Watt)

n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

T = Torsi (Nm)

5. Coefficient Of Power (COP)

Untuk mengetahui COP dari turbin savonius, maka digunakanlah persamaan [10]:

$$COP = \frac{\text{Daya Kinetik}}{\text{Daya Mekanik}} \times 100\% \quad (5)$$

6. Kecepatan Sudut

Turbin savonius memiliki kecepatan sudut yang dapat dihitung menggunakan persamaan [11] :

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (6)$$

Dimana :

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

7. Tip Speed Ratio

Turbin savonius memiliki nilai koefisien untuk daya maksimum yang berasal dari perbandingan kecepatan sudut rotor turbin dengan kecepatan angin. Untuk menentukan *Tip Speed Ratio* maka diperlukan persamaan [11] :

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v} \quad (7)$$

Dimana :

λ = Tip speed ratio

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

r = jari-jari rotor (m)

v = kecepatan Angin (m/s)

8. Daya Listrik

Daya listrik terdapat pada perhitungan daya keluaran yang dihasilkan oleh putaran generator [9]:

$$P_L = V \cdot I \quad (8)$$

Dimana :

P_L = Daya generator (watt)

V = Tegangan generator listrik (volt)

I = Arus listrik (ampere)

9. Efisiensi Generator

Efisiensi generator ini dapat diperoleh dari perbandingan daya listrik oleh generator dengan daya kinetik dan dikali dengan efisiensi maksimum (100%) [12]:

$$\eta_g = \frac{\text{Daya Listrik}}{\text{Daya Kinetik}} \times 100\% \quad (9)$$

Dimana :

η_g = Efisiensi generator

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengambilan Data

1. Kecepatan angin

Untuk menentukan kecepatan angin yang dihasilkan dapat memenuhi kapasitas, maka dilakukanlah pengukuran kecepatan angin. Pengukuran dilakukan menggunakan anemometer selama 10 detik dan kemudian hasil kecepatan angin (Gambar 4) yang didapat dihitung rata-rata.



Gambar 4. Kecepatan Angin

$$\bar{v} = \frac{\sum v}{n}$$

Dimana :

$\bar{v}$ = Kecepatan rata-rata (m/s)

$\sum v$ = Penjumlahan hasil data (m/s)

n = Banyaknya pengujian

$$\bar{v} = \frac{7.95+7.98+7.91+7.9+7.79+7.84+7.79+7.88+7.96+7.9}{10}$$

=7,908 m/s

2. Putaran Turbin

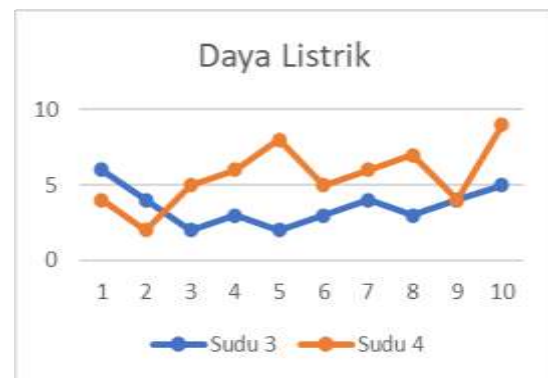
Pada pengambilan data turbin savonius dengan sudu 3 dan sudu 4 menggunakan tachometer ditemukan hasil putaran sebesar 122,9 RPM dan 137,3 RPM.

3. Massa Turbin

Pada pengambilan data massa turbin savonius yang terbuat dari pipa dan pvc dengan sudu 3 dan sudu 4 menggunakan timbangan ditemukan hasil data sebesar 0,76 Kg dan 0,96 Kg.

4. Daya Listrik

Dengan adanya kebutuhan data volt dalam perhitungan daya listrik yang dihasilkan generator maka dilakukan pengambilan data menggunakan multimeter untuk mendapatkan data volt. Pengambilan data dilakukan masing-masing selama 10 detik, kemudian data tersebut dihitung rata-rata keluaran voltase yang dihasilkan.



Gambar 5. Daya Listrik

a. Sudu 3

$$\bar{V} = \frac{6 + 4 + 2 + 3 + 2 + 3 + 4 + 3 + 4 + 5}{10}$$

$$= 3,6 \text{ Volt}$$

b. Sudu 4

$$\bar{V} = \frac{4 + 2 + 5 + 6 + 8 + 5 + 6 + 7 + 4 + 9}{10}$$

$$= 5,6 \text{ Volt}$$

3.2 Hasil Perhitungan

Setelah mendapatkan hasil dari pengambilan data, maka dilakukan perhitungan pada beberapa parameter yang sudah ditentukan untuk

mendapatkan hasil dari tujuan penelitian ini seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan

No	Parameter	Hasil		Rumus
		Sudu 3	Sudu 4	
1	Luas Penampang	0,0618 m ²		1
2	Daya Kinetik	18,7122 Watt		2
3	Torsi	1,0651 Nm	1,3453 Nm	3
4	Daya Mekanik	13,7005 Watt	19,3336 Watt	4
5	Coefficient Of Power	1,37 %	0,97 %	5
6	Kecepatan Sudut	12,8635 rad/s	14,3707 rad/s	6
7	Tip Speed Ratio	0,1228	0,1372	7
8	Daya Listrik	3,6 Watt	16,8 Watt	8
9	Efisiensi Generator	0,19%	0,9 %	9

3.3 Pembahasan

Proses pengambilan data dimulai dari pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer selama 10 detik dengan pengarah angin. Berdasarkan data yang didapat kecepatan tertinggi terdapat pada 7,97 m/s dan terendah pada 7,79 m/s dengan hasil rata-rata 7,908 m/s. Kemudian berdasarkan hasil data pada kecepatan angin yang didapat menggunakan tachometer maka turbin angin savonius 3 sudu dan 4 sudu menghasilkan putaran turbin sebesar 122,9 RPM dan 137,3 RPM.

Dikarenakan jenis turbin savonius adalah turbin yang memanfaatkan gaya *drag* maka setiap putaran turbin savonius memiliki perbedaan dalam penangkapan energi anginnya, sehingga dianalisislah *tip speed ratio* agar dapat mengetahui efisiensi aerodinamisnya dalam penangkapan udara dan respon objek terhadap aliran udara tersebut. Berdasarkan data yang dihasilkan adalah 0,122 untuk turbin savonius 3 sudu dan 0,137 untuk turbin savonius 4 sudu. Sehingga hal ini membuktikan bahwa pada penelitian [4] turbin savonius sudu 4 lebih efektif dalam menangkap angin.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [3] dikatakan bahwa pengaruh jumlah sudu memiliki perbedaan efisiensi. Hal ini terbukti dari daya turbin *input* dan *output* yang dihasilkan oleh turbin savonius 3 sudu dan 4 sudu pada penelitian ini sebesar 1,37% dan 0,97%.

Pada saat pengambilan data untuk mendapatkan tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator, pengambilan data tersebut dilakukan langsung dengan beban generator menggunakan rasio pulley 1:1 kemudian menghasilkan daya sebesar 3,6 watt untuk turbin savonius 3 sudu dan 16,8 watt untuk turbin savonius 4 sudu dan juga menghasilkan efisiensi generator sebesar 0,19% dan 0,9%.

Pada penelitian ini membuktikan bahwa penelitian yang dilakukan oleh [6] terbukti adanya pengaruh angin dapat meningkatkan efektivitas kinerja dari turbin sehingga menghasilkan energi listrik yang lebih optimal.

4. Kesimpulan

Efisiensi turbin savonius sudu 3 lebih unggul dengan 1,37% daripada turbin savonius sudu 4 dengan 0,97% meskipun efisiensi generator lebih unggul turbin savonius 4 sudu dengan 0,9% dan putaran turbin savonius 4 sudu lebih unggul kecepatan putarannya dengan 137,3 RPM. Selain itu, Semakin besar torsi akan menghasilkan putaran yang lebih tinggi namun efisiensinya akan lebih rendah.

Tip Speed Ratio pada kedua turbin ini menunjukkan angka yang rendah sehingga masih kurang optimalnya turbin dalam menangkap energi angin. Dengan demikian maka daya listrik yang dihasilkan turbin savonius hanya 3,6 watt dan 16,8 watt sehingga masih belum dapat mencapai untuk menghidupkan rangkaian yang telah dibuat dan dengan hasil *Tip Speed Ratio* yang sangat rendah maka pemanfaatan udara exhaust untuk menghasilkan listrik masih belum tercapai meskipun menggunakan pengarah angin. Hal tersebut terjadi karena bentuk *wind tunnel* dengan siku 90 derajat pada penghubung komponen satu dengan lainnya sehingga mengakibatkan kurang optimalnya udara bergerak dan desain turbin savonius yang kurang optimal dengan box turbin meskipun sudah diberikan pengarah angin.

Daftar Rujukan

- [1] Maulana, E., Djatmiko, E., Mahandika, D., Putra, R. C., 2021. Perancangan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin angin Savonius tipe-U untuk kapasitas 100 W. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, 3 (2), pp.183-190.
- [2] Saputra, R. A., Partha, C. G. I., Sukerayasa, I. W., 2021. Rancang bangun sistem pemanen energi angin exhaust fan turbin angin sumbu horizontal dengan pengarah angin (wind tunnel). *Jurnal SPEKTRUM*, 8 (2), pp.229-234.
- [3] Jamal, J., 2019. Pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin Savonius. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 6 (1), pp.64-68.
- [4] Gomes, S. N., 2024. Pembuatan dan pengujian turbin angin Savonius tipe-U 4 sudu sumbu vertikal. *Jurnal Teknik Energi*, 12 (2), pp.8-16.
- [5] Hendra., Irtawati, A. S., Zulkarnain., 2024. Rancang bangun sistem pembangkit listrik turbin angin vertikal sebagai penerangan pada kapal nelayan di Kelurahan Manggar. *Jurnal Hasil Inovasi Masyarakat*, 1 (1), pp. 38-46
- [6] Sudirman., Santoso, H., 2020. Pengaruh pengarah angin dan kecepatan angin pada turbin Savonius tiga sudu terhadap energi listrik yang dihasilkan. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16 (2), pp.255–262.
- [7] Rifai, T., Gunadi, G. G. R., Ridwan, E., 2021.

- Rancang bangun pembangkit listrik tenaga bayu (angin) mikro turbin Savonius pada Jalan Tol Jatiasih. *Jurnal Mekanika Terapan*, 2 (2), pp.82-88.
- [8] Sugeng, U. M., Hadi, V., Setiadi, B., 2023. Analisis perbandingan 2 dan 3 blade turbin angin kecil sumbu vertikal tipe Savonius. *Sainstech: Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, 33 (4), pp.311-318.
- [9] Herlambang, Y. D., Supriyo, S., Prasetyo, B., Mulud, T. H., 2021. Unjuk kerja turbin Savonius menggunakan generator sinkron magnet permanen pada variasi pembebanan dan kecepatan angin yang berbeda. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16 (2) pp.272-278.
- [10] Tresnajaya, M. S., Partha, C. G. I., Sukerayasa, I. W., 2020. Pemanfaatan udara buang exhaust fan sebagai pembangkit listrik tenaga bayu dengan penambahan wind tunnel berbasis Atmega 2560. *Jurnal SPEKTRUM*, 7 (4), pp.51-56.
- [11] Ananto, B. R., Yuwono, T. Y., 2021. Studi eksperimen peningkatan kinerja turbin angin Savonius dengan penempatan silinder pengganggu di depan returning blade turbin pada S/D = 1,2. *Jurnal Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*, 9 (2), pp.22-27.
- [12] Rahman, F., Nurjannah, I., Sari, H. N., Christian, A., Hidayat, M. K., 2023. Optimalisasi metode blade turbin angin sumbu horizontal. *Otopro: Jurnal Otomotif dan Rekayasa*, 18 (2), pp.59-64.