

RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL SAVONIUS TIPE HELIKS DENGAN VARIASI OVERLAP SUDU

Kresna Sapta Dewayanto¹⁾, Dedi Nugrogo²⁾

^{1),2)}**Universitas Islam Sultan Agung Semarang**

Email : kresnasptdw@std.unissula.ac.id¹⁾, dedi.nugroho@unissula.ac.id²⁾

***Abstract:** Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) of the helical Savonius type is one of the solutions for utilizing renewable energy. In this study, overlap variations were developed to analyze their effect on the performance of a helical Savonius wind turbine, including the power coefficient (C_p), tip speed ratio (TSR), and generator output. The method used in this research was experimental research with overlap diameter variations of 3 cm, 6 cm, and a conventional helical Savonius wind turbine. The wind source used was a stand fan with wind speed variations of 4 m/s, 4.8 m/s, and 5.5 m/s. The conventional helical Savonius wind turbine with a combination of a 6 cm overlap variation showed the best performance improvement compared to other variations, with a C_p reaching 0.75 at an optimal TSR of 0.68 and the highest generator output at a wind speed of 5.5 m/s of 0.143 watts.*

***Keywords:** Helical Savonius, Wind Turbine, Turbine Performance.*

Abstrak: Turbin angin sumbu vertikal (VAWT) tipe savonius heliks merupakan salah satu solusi pemanfaatan energi terbarukan. Dalam penelitian ini, dikembangkan variasi Overlap untuk menganalisis pengaruh terhadap unjuk kerja turbin angin savonius tipe heliks yang meliputi koefisien daya (C_p), tip speed ratio (TSR), dan output generator. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental research dengan variasi diameter Overlap yaitu 3 cm, 6cm, dan turbin angin savonius heliks konvensional. Sumber angin yang digunakan adalah stand fan dengan variasi kecepatan angin 4 m/s, 4,8 m/s, dan 5,5 m/s. Turbin angin savonius heliks konvensional dengan kombinasi variasi Overlap 6 cm menunjukkan peningkatan kinerja terbaik dibandingkan variasi lainnya, dengan C_p mencapai 0,75 pada TSR optimal 0,68 dengan output generator tertinggi pada kecepatan angin 5,5 m/s sebesar 0,143 watt.

Kata Kunci: Savonius Heliks, Turbin Angin, Kinerja Turbin.

PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap energi fosil menjadi permasalahan utama, karena energi tersebut bersifat tidak terbarukan, serta dampaknya dapat merusak lingkungan dan keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu dibutuhkan upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dengan memanfaatkan sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan.

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi untuk dikembangkan adalah energi angin, yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin (Mulkan, 2022). Indonesia yang terletak di wilayah katulistiwa mempunyai potensi energi angin yang cukup menjanjikan dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Berdasarkan hasil survei yang pernah dilakukan oleh Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN), rata-rata kecepatan angin di beberapa wilayah Indonesia berada pada kisaran 3-6 m/s, lebih rendah dibandingkan dengan negara-negara Eropa yang memiliki kecepatan angin rata-rata sekitar 9-12 m/s. Kondisi tersebut menuntut pemilihan jenis turbin angin yang sesuai agar pemanfaatan energi angin dapat berlangsung secara efektif dan mendapatkan hasil yang maksimal.

Berdasarkan arah sumbu putar, turbin angin dibedakan menjadi dua macam, yaitu turbin angin sumbu horizontal (HAWT), dan turbin angin sumbu vertikal (VAWT) (Simanjuntak, Tangkuman and Rondonuwu, 2021). Dari sisi kinerja aerodinamis, turbin angin sumbu horizontal memiliki performa yang lebih baik dibandingkan turbin angin sumbu vertikal, pada umumnya turbin angin sumbu horizontal memanfaatkan gaya angkat (*lift*) sebagai gaya utama penggerak rotor, sedangkan pada turbin angin sumbu vertikal memanfaatkan gaya hambat (*drag*) (Angin, Aji and Yuwono, 2021), dengan performa aerodinamis yang lebih baik, turbin angin sumbu horizontal memiliki kapasitas pembangkit yang lebih besar dibanding turbin angin sumbu vertikal, namun turbin angin sumbu horizontal memiliki tingkat kebisingan yang lebih tinggi, pemeliharaan yang tidak mudah dilakukan, serta tidak dapat digunakan pada kecepatan angin yang rendah, karena tidak dapat menangkap arah angin dari segala arah seperti turbin angin sumbu vertikal (Al-Rawajfeh and Gomaa, 2023). Maka dari itu, turbin angin sumbu vertikal (VAWT) sangat sesuai untuk dikembangkan dan diteliti sesuai dengan potensi angin yang ada di Indonesia, khususnya turbin angin savonius, karena memiliki desain yang paling sederhana, serta lebih efisien dibandingkan turbin angin sumbu vertikal lainnya (Suprpto and Muttaqin, 2022). Pengaruh jumlah sudu pada turbin angin dapat berpengaruh terhadap kinerja turbin, dalam (Yani, 2021) menyatakan bahwa jumlah sudu yang lebih sedikit menyebabkan distribusi beban aerodinamis menjadi lebih merata, kondisi ini berkontribusi terhadap kestabilan keluaran daya jika dibandingkan dengan turbin yang memiliki jumlah sudu lebih banyak, seperti tiga atau empat sudu (Yani, 2021).

Pada rotor savonius, desain celah di sekitar poros memungkinkan angin yang mengenai satu bilah untuk mengalir menuju bilah lainnya. Aliran ini menghasilkan gaya dorong

tambahan yang berkontribusi terhadap peningkatan torsi dan kecepatan putaran rotor. Oleh karena itu, pemanfaatan angin melalui celah poros menjadi salah satu faktor penting dalam meningkatkan kinerja rotor savonius (Silla, Sanusi and Pell, 2022). Celah disekitar poros ini disebut *overlap*, Penelitian mengenai *overlap* sudu pada turbin angin savonius telah banyak dilakukan. Namun hingga saat ini belum ditemukan hubungan yang pasti antara variasi *overlap* sudu dan kinerja turbin angin savonius. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pengembangan desain pada turbin angin savonius melalui modifikasi *overlap* sudu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi *overlap* sudu terhadap kinerja turbin angin savonius tipe heliks, yang ditinjau berdasarkan parameter koefisien daya (C_p), dan *Tip Speed Ratio* (*TSR*) (Rinaldy N. R. *et al.*, 2025).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *experimental research* dimana data yang didapat pada penelitian ini merupakan data yang diukur secara langsung saat pengujian. Sebelum melakukan penelitian, penulis terlebih dahulu melakukan kegiatan studi literatur dan observasi, selanjutnya barulah dapat merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga bayu dengan turbin angin savonius heliks. Turbin savonius dikembangkan dengan variasi *overlap* sudu sebesar 3 cm, 6 cm, dan turbin savonius konvensional, dengan tujuan penelitian, yaitu untuk menganalisis pengaruh variasi *overlap* sudu terhadap kinerja turbin angin savonius tipe heliks.

1. Rancangan Umum

Penelitian dimulai dengan menentukan kapasitas generator DC, pemilihan generator DC dikarenakan harganya lebih ekonomis dan tidak memerlukan penguatan, kapasitas generator dipilih berdasarkan besar energi potensial angin. Berdasarkan pertimbangan pembatasan penelitian, dimensi *stand fan* sebagai sumber angin, generator diperuntukan untuk menghidupkan dua buah lampu led yang terhubung secara paralel dengan spesifikasi lampu led pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Led

Tegangan maksimal	12 Volt
Arus	1,2 A
Daya maksimal	15 Watt

Sehingga arus yang mengalir pada rangkaian tertutup maksimal adalah 2,4 ampere dan daya optimal yang dibutuhkan untuk mensuplai led adalah 28,8 watt.

Selanjutnya menentukan daya turbin untuk mensuplai generator, jika diasumsikan efisiensi generator adalah 80%, daya turbin yang diperlukan untuk mensuplai generator dengan kapasitas 28,8 watt adalah 36 watt, setelah itu menentukan daya angin untuk mensuplai turbin, diketahui koefisien daya maksimal pada turbin angin savonius bernilai 0,52. Sehingga untuk mensuplai turbin dengan daya 36 watt, daya angin yang dibutuhkan bernilai 69 watt.

Setelah didapatkan daya angin, selanjutnya menentukan dimensi turbin angin yang akan dibuat, diketahui kecepatan angin yang dihasilkan oleh *stand fan* sebagai sumber angin yaitu, 4 m/s, 4,8 m/s, dan 5,5 m/s, jika daya angin yang ingin diperoleh adalah 69 watt, maka dirumuskan dengan persamaan berikut.

	$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$	
--	--	--

kecepatan angin (v) yang disubstitusikan adalah 5,5 m/s dan $\rho = 1,2$, maka mendapatkan hasil $0,70 \text{ m}^2$. Jika perbandingan antara diameter dan tinggi rotor diasumsikan 0,7 maka dapat dihitung :

$$\frac{D}{H} = 0,7 \text{ atau } D = 0,7 H$$

$$A = 0,7 \cdot H$$

$$0,7 = 0,7 \cdot H^2$$

$$H^2 = \frac{0,7}{0,7} = 1$$

$$H = \sqrt[2]{1} = 1 \text{ m}$$

$$H = 0,7 \cdot 1 = 0,7 \text{ m}$$

Hasil dari proses manufaktur pembuatan turbin dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Turbin anign Savonius heliks

Turbin ini mampu bergerak pada kecepatan angin rendah serta tidak bergantung pada arah datangnya angin (Valentino *et al.*, 2021). Karena dalam pembuatan turbin sepenuhnya dibuat dengan keterampilan tangan maka terdapat penambahan margin pada diameter turbin sebanyak 6 cm dan pada tinggi rotor 4 cm sebagai toleransi pada ukuran turbin, sehingga ukuran yang digunakan pada percobaan dapat dilihat pada Tabel 2.

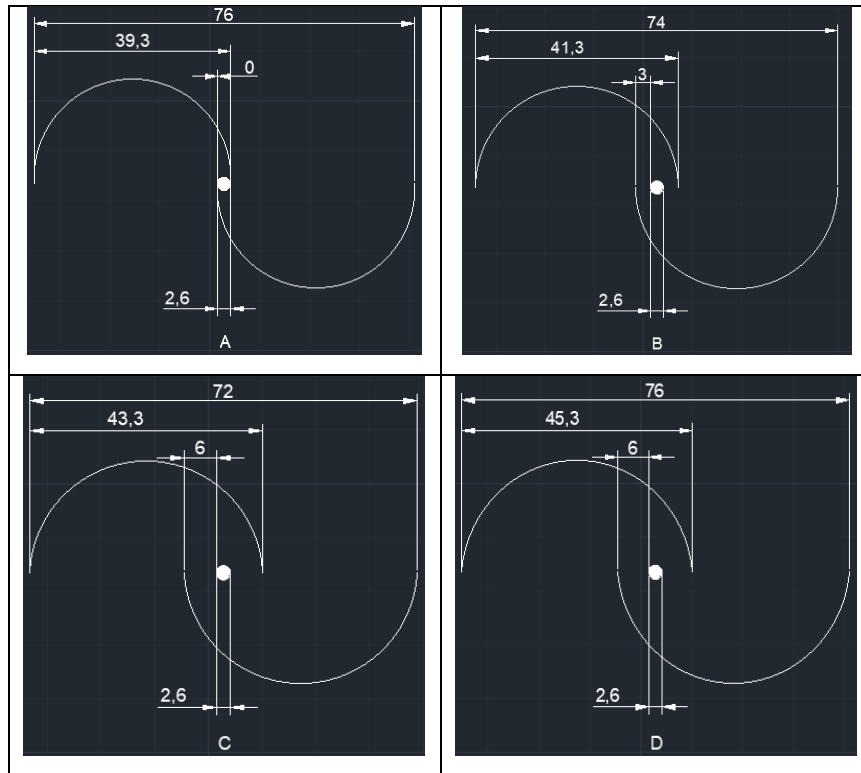
Tabel 2. Spesifikasi Turbin Savonius Heliks

No	Parameter	Spesifikasi Turbin
1	Tipe blade	Heliks 180°
2	Jumlah blade	2
3	Diameter poros (e)	2,6 cm
4	Diameter turbin (D)	76 cm, 0,76 m
5	Tinggi turbin (H)	1,08 m
6	Luas sapuan (A)	$(H \times D) = 0,81 \text{ m}^2$
7	Aspek rasio (A_R)	$(H/D) = 1,42$
8	Blade chord length (d)	$0,38 + (\frac{e}{2}) = 0,393 \text{ m}$
9	Rasio overlap (β)	$(\frac{e}{d}) = 0,0661$

Setelah pembuatan turbin selesai, selanjutnya pemilihan diameter overlap, dalam pengujian ini diameter *overlap* yang akan digunakan memiliki ukuran yang berbeda-beda dikategorikan menjadi beberapa pengujian yang dijelaskan pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Tabel 3 Percobaan variasi *overlap* pada turbin

Percobaan	Diameter turbin (D)	Diameter sudu (d)	Overlap
A	76 cm	39,3 cm	0 cm
B	74 cm	41,3 cm	3 cm
C	72 cm	43,3 cm	6 cm
D	76 cm	45,3 cm	6 cm



Gambar 2 Skema pengujian variasi *overlap*

Sistem transmisi yang digunakan untuk menghubungkan antara rotor turbin dengan generator agar putaran generator lebih maksimal (Kurniawan, Teguh and Dirja, 2024). Sistem transmisi yang digunakan adalah gear sentrik atas bawah sepeda motor GL series dengan mata gear 32 dan 16, serta gear one way besar dan kecil sepeda motor grand series dengan jumlah mata gear 12 dan 63, didapatkan rasio gear sebagai berikut :

$$RG = \frac{31}{16} \times \frac{41}{12} = \frac{1312}{192} = 6,8$$

Dengan penempatan gear :

Gear A = 16 teeth

Gear B = 32 teeth

Gear C = 41 teeth

Gear D = 12 teeth

Rasio gear = 1:6,8

Dengan rasio gear 1:6,8 dapat meningkatkan putaran pada generator, sehingga generator mendapatkan putaran yang lebih maksimal, demikian contoh perhitungannya dapat ditulis

sebagai berikut :

$$\text{Putaran generator} = \text{putaran poros turbin} \times 6,8$$

$$\text{Putaran generator} = 55 \times 6,8 = 376,04 \text{ rpm}$$

$$\text{Torsi pada generator} = \text{torsi turbin} \div 6,8$$

$$\text{Torsi generator} = 4,723 \div 6,8 = 0,69 \text{ Nm.}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari kegiatan ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu performa turbin savonius heliks sebelum terintegrasi dengan generator dan performa turbin angin savonius heliks setelah terintegrasi dengan generator.

A. Performa Turbin Savonius Heliks Sebelum Terintegrasi Dengan Generator

Dalam pengujian ini nilai kecepatan angin dan putaran poros turbin savonius heliks dengan empat percobaan, dilakukan sebanyak lima kali pada masing-masing percobaan sehingga didapatkan rata-rata hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Pengukuran putaran poros turbin (n) sebagai fungsi kecepatan angin

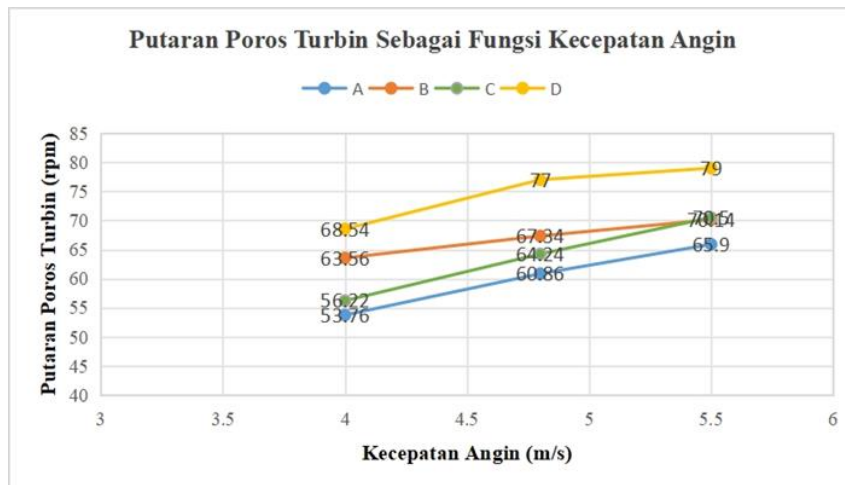
Percobaan	Kecepatan angin (m/s)	Putaran poros turbin (rpm)
1A	4	53,76
2A	4,8	60,86
3A	5,5	65,90
1A	4	63,56
2B	4,8	67,34
3B	5,5	70,14
1C	4	56,22
2C	4,8	64,24
3C	5,5	70,50
1D	4	68,54
2D	4,8	77
3D	5,5	79

Setelah didapatkan nilai putaran poros rotor pada turbin dapat dihitung daya yang dibangkitkan oleh turbin dan juga daya angin yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil perhitungan daya turbin dan daya angin

Percobaan	Daya turbin (watt)	Daya angin (watt)
1A	18,456	31,104
2A	30,086	52,748
3A	42,772	80,858
1A	21,820	31,104
2B	33,289	53,748
3B	45,524	80,858
1C	19,300	31,104
2C	31,757	53,748
3C	45,758	80,858
1D	23,530	31,104
2D	38,065	53,748
3D	51,275	80,959

Berdasarkan Tabel 5 terdapat perbedaan nilai putaran poros turbin antara satu percobaan dengan percobaan lainnya, dan juga pada kecepatan angin yang berbeda, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 3.



Gambar 3 Putaran poros turbin sebagai fungsi kecepatan angin

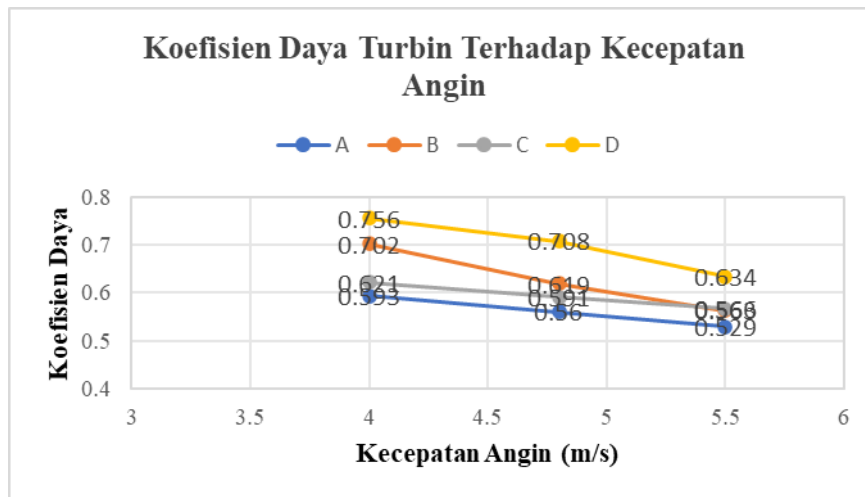
Berdasarkan Gambar 3, dapat dijelaskan bahwa, turbin savonius heliks dengan percobaan A menghasilkan putaran poros turbin paling kecil diantara percobaan lainnya, dengan nilai rata-rata 53,76 rpm pada 4 m/s dan dengan nilai rata-rata tertinggi 65,9 pada 5,5 m/s. Percobaan B menunjukkan hasil yang cenderung konstan meningkat, dengan nilai rata-rata terkecil 63,56 rpm pada 4 m/s dan nilai rata-rata terbesar 76,38 rpm pada 5,5 m/s. berdasarkan pengujian didapatkan bahwa *overlap* pada diameter ini mempunyai sirkulasi angin yang melewati turbin lebih baik dari percobaan sebelumnya. Percobaan C menunjukkan grafik pengukuran yang lebih kecil dari percobaan B pada kecepatan angin 4 m/s dengan nilai rata-rata 56,22 rpm sedangkan pada kecepatan angin 5,5 m/s percobaan C memiliki nilai yang sedikit lebih besar dari percobaan B dengan rata-rata 70,50 rpm. Percobaan D meghasilkan putaran yang lebih baik dari percobaan A, B, dan C pada kecepatan angin 4 m/s dengan nilai rata-rata 68,54 rpm, dan pada kecepatan angin 5,5 m/s dengan nilai rata-rata 79 rpm, berdasarkan pengujian didapatkan bahwa luas sapuan angin didukung dengan sirkulasi angin yang baik dapat menghasilkan putaran poros turbin lebih maksimal.

Nilai putaran poros turbin yang digunakan merupakan nilai rata-rata yang diperoleh, koefisien daya turbin pada semua percobaan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil perhitungan koefisien daya dan TSR

Percobaan	Koefisien daya	<i>Tip speed ratio</i>
1A	0,593	0,535
2A	0,560	0,504
3A	0,529	0,477
1B	0,702	0,632
2B	0,619	0,558
3B	0,563	0,507
1C	0,621	0,559
2C	0,591	0,532
3C	0,566	0,510
1D	0,756	0,682
2D	0,708	0,638
3D	0,634	0,571

Berdasarkan Tabel 6, nilai koefisien daya turbin berbeda antara percobaan satu dengan yang lain pada masing-masing kecepatan angin, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 4 sebagai berikut.



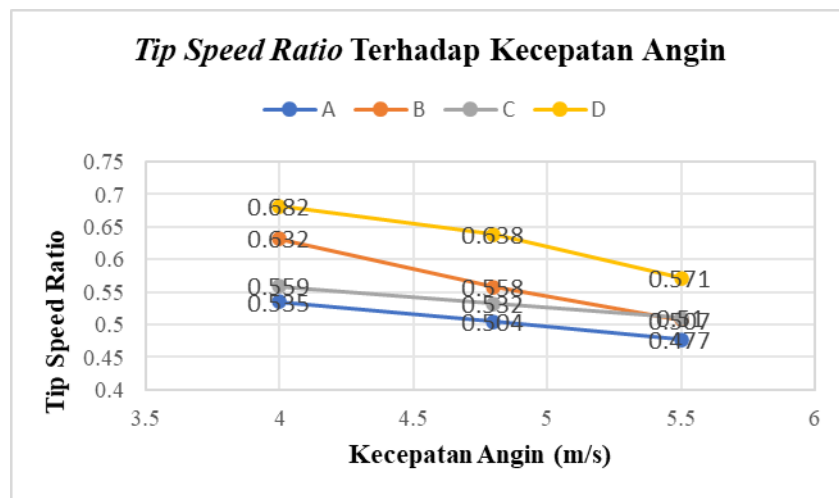
Gambar 4 Koefisien daya turbin terhadap kecepatan angin

Berdasarkan Tabel 6 dapat dibuat grafik pada gambar 4, pada grafik percobaan A menunjukkan koefisien daya yang paling rendah dari keempat percobaan dengan nilai koefisien daya 0,593 pada kecepatan angin 4 m/s, 0,560 pada kecepatan angin 4,8 m/s, dan 0,529 pada kecepatan angin 5,5 m/s. Pada grafik percobaan B menunjukkan koefisien daya yang lebih tinggi dari percobaan A dan percobaan C dengan nilai koefisien daya 0,702 pada kecepatan angin 4 m/s, 0,619 pada kecepatan angin 4,8 m/s, dan 0,563 pada kecepatan angin 5,5 m/s. Pada percobaan C nilai koefisien daya lebih kecil dari percobaan B, dengan nilai koefisien 0,621 pada kecepatan angin 4 m/s, 0,591 pada kecepatan angin 4,8 m/s, dan 0,566 pada kecepatan angin 5,5 m/s, hal ini menunjukkan bahwa putaran poros turbin mempengaruhi koefisien daya. Percobaan D mendapatkan nilai koefisien daya tertinggi dari semua percobaan, dimana nilai koefisien 0,756 pada kecepatan angin 4 m/s, 0,708 pada kecepatan angin 4,8 m/s, dan 0,634 pada kecepatan angin 5,5 m/s, akan tetapi nilai koefisien daya menurun seiring bertambahnya kecepatan angin, dalam kasus ini menunjukkan nilai koefisien daya terhadap kecepatan angin adalah parabolik dimana nilai koefisien daya akan mengalami kenaikan hingga titik optimum tertentu kemudian mengalami penurunan, yang artinya nilai optimum percobaan D pada kecepatan angin 4 m/s.

Selain akibat dari rugi-rugi aliran angin yang terbuang sia-sia, aliran angin yang dihasilkan *stand fan* pada kecepatan yang tinggi menjadi aliran yang bergerak secara acak dan

tidak terprediksi, dan sirkulasi angin saat melewati turbin menjadi faktor penurunan tersebut. Aliran angin pada saat melewati turbin yang dipengaruhi juga oleh diameter turbin dan sudu yang digunakan menjadikan perbedaan nilai koefisien daya pada masing-masing percobaan dan kecepatan angin yang diujikan.

Berdasarkan Tabel 6 nilai *tip speed ratio* turbin juga berbeda antara percobaan satu dengan yang lain pada masing-masing kecepatan angin, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5 *Tip speed ratio* terhadap kecepatan angin

Grafik 5 menunjukkan peningkatan nilai kecepatan angin maka nilai *tip speed ratio* tidak selalu lebih tinggi, terlebih pada percobaan D dimana terjadi peningkatan nilai TSR pada kecepatan angin 4 m/s namun turun secara drastis pada kecepatan angin 5,5 m/s, menunjukkan bahwa grafik seharusnya berbentuk parabolik, namun pada penelitian ini terbatas pada kecepatan angin tertentu sesuai dengan kecepatan angin pada *stand fan*. Fenomena turunnya nilai koefisien daya dan TSR ini disebabkan oleh rugi-rugi aliran angin yang tidak sempurna yang menghantam sudu turbin, rugi-rugi benda yaitu tiang dan anemometer yang ditempatkan sejajar dengan turbin, faktor diameter *stand fan* yang tidak sebesar tinggi turbin, dan faktor gaya aerodinamis yang dipengaruhi diameter turbin.

Seiring bertambahnya kecepatan angin, putaran poros rotor juga ikut naik meskipun terdapat rugi-rugi yang besar, sementara itu seluruh percobaan mendapatkan nilai yang tertinggi pada kecepatan angin 4 m/s, aliran fluida yang mudah dan optimal menghantam sudu turbin yang merupakan modifikasi dari turbin savonius konvensional, sehingga memberikan torsi yang positif pada segala sudut serang angin.

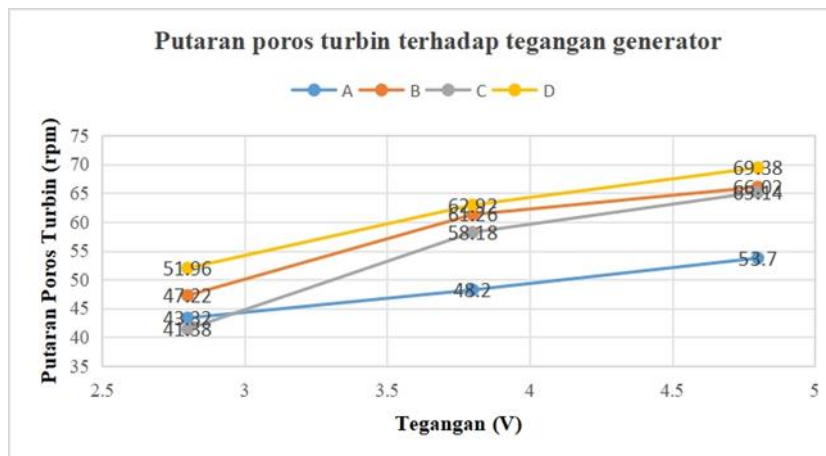
B. Performa Turbin Angin Savonius Heliks Setelah Terintegrasi Dengan Generator

Turbin angin savonius setelah terintegrasi dengan generator tentunya mengalami penurunan performa karena beban turbin untuk berputar bertambah, namun dengan adanya gear putaran generator dapat dioptimalkan sehingga konversi energi mekanis menjadi energi listrik dapat maksimal.

Tabel 7 Hasil pengukuran putaran poros turbin dan tegangan generator tanpa beban

Percobaan	Putaran poros turbin (rpm)	Tegangan Generator (volt)
1A	43,32	2,84
2A	48,20	3,44
3A	53,70	4,06
1B	47,22	3,6
2B	61,26	4,45
3B	66,02	4,8
1C	41,38	2,98
2C	58,18	3,44
3C	65,14	3,96
1D	51,96	3,72
2D	62,92	4,44
3D	69,38	4,86

Berdasarkan Tabel 7 perbedaan nilai putaran poros turbin (n) mengakibatkan perbedaan nilai *output* tegangan pada generator, semakin besar putaran generator yang dihasilkan, tegangan keluaran pada generator juga bertambah besar, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6 Putaran poros turbin terhadap tegangan generator

Gambar 6 menunjukkan hubungan putaran poros turbin terhadap tegangan generator, grafik menunjukkan peningkatan putaran poros turbin dan tegangan generator pada keempat percobaan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.

Percobaan A mendapatkan nilai rata-rata paling rendah dibanding percobaan lainnya, dimana pada kecepatan angin 4 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 43,32 rpm dengan tegangan generator 2,84 volt, pada kecepatan angin 4,8 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 48,2 rpm dengan tegangan generator 3,44 volt, dan pada kecepatan angin 5,5 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 53,70 rpm dengan tegangan generator 4,06 volt. Percobaan B pada grafik menunjukkan nilai yang cukup tinggi, dimana pada kecepatan angin 4 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 47,22 rpm dengan tegangan generator 3,6 volt, pada kecepatan angin 4,8 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 61,26 rpm dengan tegangan generator 4,45 volt, dan pada kecepatan angin 5,5 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 66,02 dengan tegangan generator 4,8 volt. Percobaan C mendapatkan nilai yang rendah dibanding percobaan A pada kecepatan angin 4 m/s dimana putaran poros turbin 41,38 rpm dengan tegangan generator 2,98 volt, tetapi mendapatkan nilai lebih tinggi pada kecepatan angin 4,8 m/s dimana putaran poros turbin 58,18 rpm, dengan tegangan generator 3,44 volt, dan pada kecepatan angin 5,5 m/s dimana putaran pors turbin 65,14 rpm, dengan tegangan generator 3,96 volt. Percoban D mendapatkan nilai paling tinggi dari semua percobaan, dimana pada kecepatan angin 4 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 51,96 rpm, dengan tegangan generator 3,72 volt, pada kecepatan angin 4,8 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 62,92 rpm, dengan tegangan generator 4,44 volt, dan pada kecepatan angin 5,5 m/s mendapatkan nilai putaran poros turbin 69,38 rpm, dengan tegangan generator 4,86 volt.

Pada percobaan ini beban turbin untuk berputar bertambah karena adanya generator, hal tersebut dapat dilihat pada perbandingan kecepatan putaran poros turbin pada Tabel 4 dan kecepatan putaran poros turbin pada Tabel 7 Grafik pada gambar 6 juga menunjukkan bertambahnya kecepatan angin pada masing-masing percobaan nilai tegangan generator mendapatkan hasil yang kurang memuaskan dan hanya bertambah sedikit.

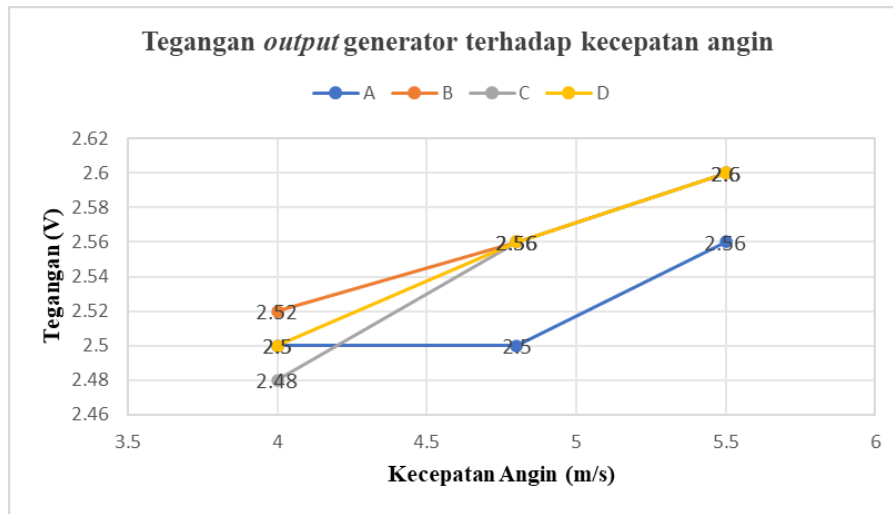
C. Analisa output generator sebagai fungsi kecepatan angin pada turbin savonius dengan beban terpasang lampu DC

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, performa turbin angin akan mengalami lebih banyak penurunan setelah terintegrasi dengan generator dan beban, yang terlihat jelas pada pengukuran yaitu pada putaran poros generator, nilai putaran poros turbin setelah terintegrasi dengan generator dicantumkan pada Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8 Hasil pengukuran putaran poros turbin dan tegangan generator dengan beban

Percobaan	Output Generator			Putaran poros turbin (rpm)
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)	
1A	2,50	0,014	0,034	41,94
2A	2,50	0,030	0,075	49,34
3A	2,56	0,048	0,122	52,70
1B	2,52	0,024	0,061	46,64
2B	2,56	0,043	0,109	56,14
3B	2,60	0,054	0,141	59,62
1C	2,48	0,013	0,032	37,48
2C	2,56	0,033	0,083	44,94
3C	2,60	0,046	0,120	47,42
1D	2,50	0,026	0,066	47,52
2D	2,56	0,043	0,111	53,26
3D	2,60	0,055	0,143	59,32

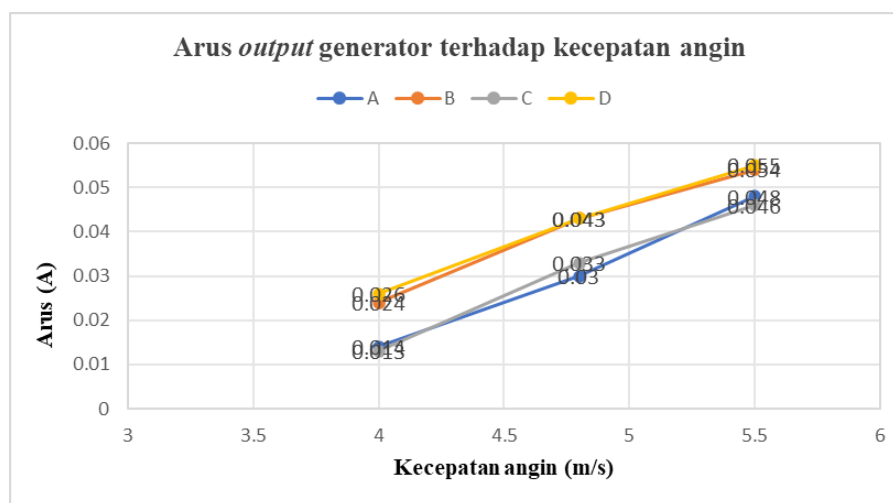
Berdasarkan Tabel 8 hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan generator relatif konstan berkisar pada nilai 2,58 volt karena pada rangkaian percobaan lampu LED dihubung paralel, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7 Tegangan *output* generator terhadap kecepatan angin

Berdasarkan Gambar 7 tegangan output generator menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Pada percobaan C untuk kecepatan angin 4 m/s menghasilkan nilai terkecil yaitu 2,48 V, pada percobaan A mendapatkan nilai yang stabil yaitu 2,5 V dengan sedikit peningkatan pada kecepatan angin 5,5 m/s, sedangkan pada percobaan B dan percobaan D memiliki nilai yang cukup tinggi dan cenderung naik seiring dengan naiknya kecepatan angin.

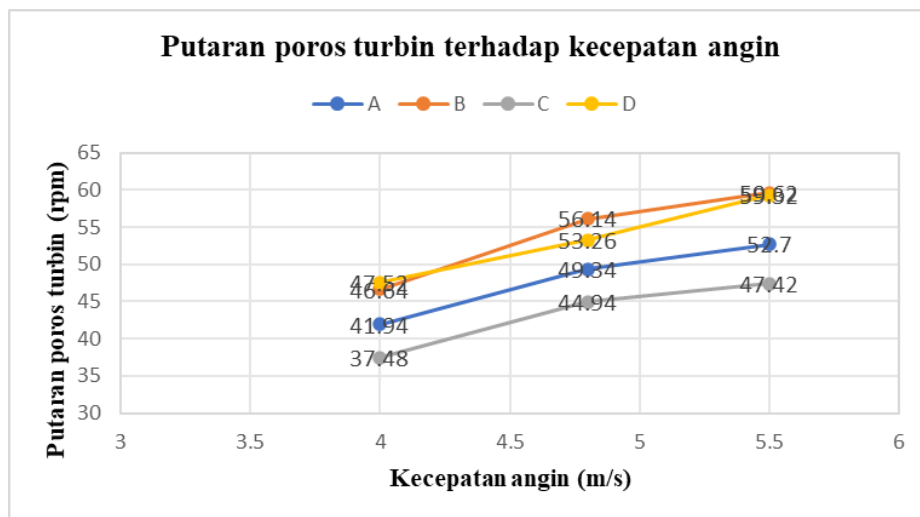
Berdasarkan Tabel 8 juga menunjukkan hasil pengukuran arus, dimana arus yang didapatkan juga sangat kecil dikarenakan putaran turbin relatif kecil, hal ini disebabkan adanya beban lampu LED sehingga beban turbin untuk berputar semakin besar, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 8 Arus *output* generator terhadap kecepatan angin

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan peningkatan arus seiring dengan meningkatnya kecepatan angin, pada kecepatan angin 4 m/s, percobaan C dan percobaan A mendapatkan nilai paling rendah, sehingga menyebabkan nyala lampu kurang terang, dengan kedip atau *ripple* yang sangat jelas, nilai arus terus mengalami kenaikan seiring dengan naiknya kecepatan angin, sedangkan untuk percobaan Percobaan B dan percobaan D nyala lampu cukup terang pada kecepatan angin 4 m/s, dengan sedikit *ripple*, seiring meningkatnya kecepatan angin, nilai arus juga meningkat, sehingga menghasilkan nyala lampu lebih terang.

Berdasarkan Tabel 8 *output* daya meningkat seiring dengan peningkatan tegangan dan arus, untuk nilai putaran poros turbin mengalami penurunan jika dibandingkan dengan Tabel 7, hal tersebut disebabkan oleh beban yang terpasang, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9 Putaran poros turbin terhadap kecepatan angin

Berdasarkan Gambar 4.7 putaran poros turbin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin, pada percobaan C (diameter turbin 72 cm, dan sudu 43,3cm, dengan variasi *overlap* 6 cm) mendapatkan nilai putaran poros terkecil dari semua percobaan, pada kecepatan angin 4 m/s mendapatkan nilai 37,48, dengan nilai tertinggi pada kecepatan angin 5,5 m/s yaitu 47,42, percobaan A (diameter turbin 76 cm, dan sudu 39,3 cm, tanpa variasi *overlap*) mendapatkan nilai putaran poros lebih tinggi dibanding percobaan sebelumnya, yaitu 41,94 pada kecepatan angin 4 m/s, dan tertinggi 52,7 pada kecepatan angin 5,5 m/s, sedangkan pada percobaan B (diameter turbin 74 cm, dan sudu 41,3 cm, dengan variasi *overlap* 3 cm), dan D (diameter turbin 76 cm, dan sudu 45,3 cm, dengan variasi *overlap* 6 cm) mendapatkan nilai

putaran poros turbin yang hampir sama, nilai yang dihasilkan merupakan nilai tertinggi dari kedua percobaan sebelumnya.

Putaran poros turbin setelah terintegrasi pada generator merupakan nilai (n) sehingga daya turbin setelah terintegrasi dengan generator juga berkurang, namun jika dibandingkan dengan daya generator nilainya masih terhitung besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil riset yang telah dilakukan, turbin angin savonius tipe heliks dengan variasi *overlap*, pada percobaan D (diameter turbin 76 cm, dan sudu 45,3 cm, dengan variasi *overlap* 6 cm) menunjukkan unjuk kerja yang paling baik dibandingkan dengan percobaan lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan nilai parameter kinerja yang lebih signifikan pada seluruh pengujian, baik dari sisi daya keluaran, torsi, maupun parameter performa lainnya.

Kondisi ini menunjukkan bahwa nilai *overlap* pada percobaan D mampu mengoptimalkan aliran udara yang masuk, dan meminimalkan hambatan, sehingga menghasilkan perbedaan tekanan yang lebih besar agar konversi energi menjadi lebih efektif, diikuti oleh percobaan B (diameter turbin 76 cm, dan sudu 39,3 cm, dengan variasi *overlap* 3 cm), sedangkan pada percobaan C (diameter turbin 72 cm, dan sudu 43,3cm, dengan variasi *overlap* 6 cm) masih menunjukkan kinerja yang kurang baik, terutama ketika turbin terintegrasi dengan generator.

Sementara itu percobaan A (diameter turbin 76 cm, dan sudu 39,3 cm, tanpa variasi *overlap*) menghasilkan unjuk kerja paling rendah dari semua percobaan. Hal ini ditunjukkan oleh perbandingan kinerjanya pada semua parameter, baik dari sisi daya keluaran, torsi, maupun parameter performa lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa percobaan A kurang mampu mengoptimalkan aliran udara yang masuk, dan tidak dapat meminimalisir hambatan. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa variasi *overlap* memiliki pengaruh signifikan terhadap unjuk kerja turbin savonius tipe heliks, dan pemilihan nilai *overlap* yang tepat sangat menentukan peningkatan performa turbin.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Rawajfeh, M.A. and Gomaa, M.R. (2023) "Comparison between horizontal and vertical axis wind turbine," *International Journal of Applied Power Engineering*, 12(1), pp. 13–23. Available at: <https://doi.org/10.11591/ijape.v12.i1.pp13-23>.

- Angin, T., Aji, F. and Yuwono, T. (2021) “Studi Eksperimental Efek Interaksi Antara Silinder Sirkuler dan Sudu Returning terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius,” 10(2), pp. 4–11.
- Kurniawan, D.R., Teguh, D. and Dirja, I. (2024) “Perancangan dan Analisis Transmisi Pada ATV Bak Listrik Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, 19(1), pp. 11–22. Available at: <https://doi.org/10.32497/jrm.v19i1.4702>.
- Mulkan, A. (2022) “Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik,” *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 3(1), pp. 74–83.
- Rinaldy N. R., H. *et al.* (2025) “Analisis Pengaruh Kecepatan Angin Dan Overlap Ratio Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe-,” *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 6(1), pp. 1–7.
- Silla, I.O., Sanusi, A. and Pell, Y.M. (2022) “Analisis Kinerja Turbin Savonius Sebagai Sumber Energi Alternatif,” *Jurnal Fisika : Fisika Sains dan Aplikasinya*, 7(1), pp. 64–68. Available at: <https://doi.org/10.35508/fisa.v7i1.3811>.
- Simanjuntak, J.N., Tangkuman, S. and Rondonuwu, I. (2021) “Simulasi pengaruh jumlah dan panjang sudu terhadap daya turbin angin tipe poros horisontal,” *Jurnal Poros Teknik Mesin UNSRAT*, 10(1), pp. 31–42. Available at: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/poros/article/view/34765>.
- Suprpto, M. and Muttaqin, I. (2022) “ANALISIS TURBIN ANGIN VERTIKAL HYBRID SAVONIUSBERTINGKAT DAN DARRIEUS TIPE H-ROTOR,” *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 7(2), pp. 59–64.
- Valentino, V. *et al.* (2021) “RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN SAVONIUS UNTUK PENERANGAN PENGINAPAN DI DESA TEMAJUK KECAMATAN PALOH KABUPATEN SAMBAS.”
- Yani, A. (2021) “Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Angin Tipe Propeller Terhadap Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pesisir Pantai),” *Jurnal Teknik Juara Aktif Global Optimis*, 1(2), pp. 39–44. Available at: <https://doi.org/10.53620/jtg.v1i2.45>.