



ANALISIS PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN SAVONIUS

Moch Iqbal Kurniawan¹, Indra Laksana², Supardi³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: mochiqbalkurniawan3@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi yang pesat. Menurut laporan Badan Energi Internasional (IEA), konsumsi energi dunia diperkirakan akan terus meningkat dalam beberapa dekade mendatang. Di tengah tantangan ini, energi terbarukan, khususnya energi angin, telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan. Turbin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin yang banyak digunakan, terutama di daerah dengan kecepatan angin yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kecepatan angin dan jumlah sudu terhadap performa turbin angin tipe Savonius, khususnya dalam hal efisiensi putaran dan daya output yang dihasilkan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis perbandingan performa antara dua bentuk sudu, yaitu tipe L dan spiral vertikal, guna menentukan sudut sudu yang paling optimal dalam menangkap energi angin secara maksimal. Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan diperoleh nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya generator. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya turbin. Daya turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai daya angin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya angin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya angin. Daya angin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.

Kata kunci : Turbin Savonius, Efisiensi Turbin, Daya Turbin, Daya Angin.

ABSTRACT

Global energy needs continue to increase along with rapid population growth and economic development. According to the International Energy Agency (IEA) report, world energy consumption is expected to continue to increase in the coming decades. Amidst these challenges, renewable energy, especially wind energy, has emerged as a promising alternative to meet sustainable energy needs. The Savonius turbine is one type of wind turbine that is widely used, especially in areas with low wind speeds. The purpose of this study was to determine the extent to which wind speed and number of blades affect the performance of the Savonius type wind turbine, especially in terms of rotation efficiency and output power generated. In addition, this study also aims to analyze the performance comparison between two blade shapes, namely the L type and the vertical spiral, in order to determine the most optimal blade angle in capturing wind energy optimally. Based on the test results and calculations, the highest generator power value was obtained on the 2 L blade with a value of 10.79 W. The lower the wind speed, the lower the generator power value. Increasing the number of blades will reduce the generator power on average. The generator power on the L type blade is greater than the spiral blade. The highest turbine power value is obtained on 4 spiral blades with a value of 3.96 W. The lower the wind speed, the lower the turbine power value. Increasing the number of blades on average will increase the turbine power. The turbine power on the spiral type blade is greater than the L blade. The highest wind power value is obtained on the 4 spiral blades with a value of 11.87 W. The lower the wind speed, the lower the wind power value. Increasing the number of blades on average will increase wind power. The wind power on the spiral type blade is greater than the L blade. The highest turbine efficiency value is obtained on the 2 spiral blades with a value of 68.4%. The lower the wind speed, the lower the turbine efficiency value. Increasing the number of blades on average will decrease turbine efficiency. The turbine efficiency on the spiral type blade is greater than the L blade.

Keywords: *Savonius Turbine, Turbine Efficiency, Turbine Power, Wind Power.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi yang pesat. Menurut laporan Badan Energi Internasional (IEA), konsumsi energi dunia diperkirakan akan terus meningkat dalam beberapa dekade mendatang, yang tentunya memerlukan sumber energi baru dan terbarukan. Di tengah tantangan ini, energi terbarukan, khususnya energi angin, telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) telah menjadi salah satu solusi yang efektif dalam menghasilkan energi bersih. Dengan memanfaatkan kekuatan angin, PLTB tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan potensi angin yang melimpah, memiliki peluang besar untuk mengembangkan PLTB sebagai bagian dari strategi energi nasional.

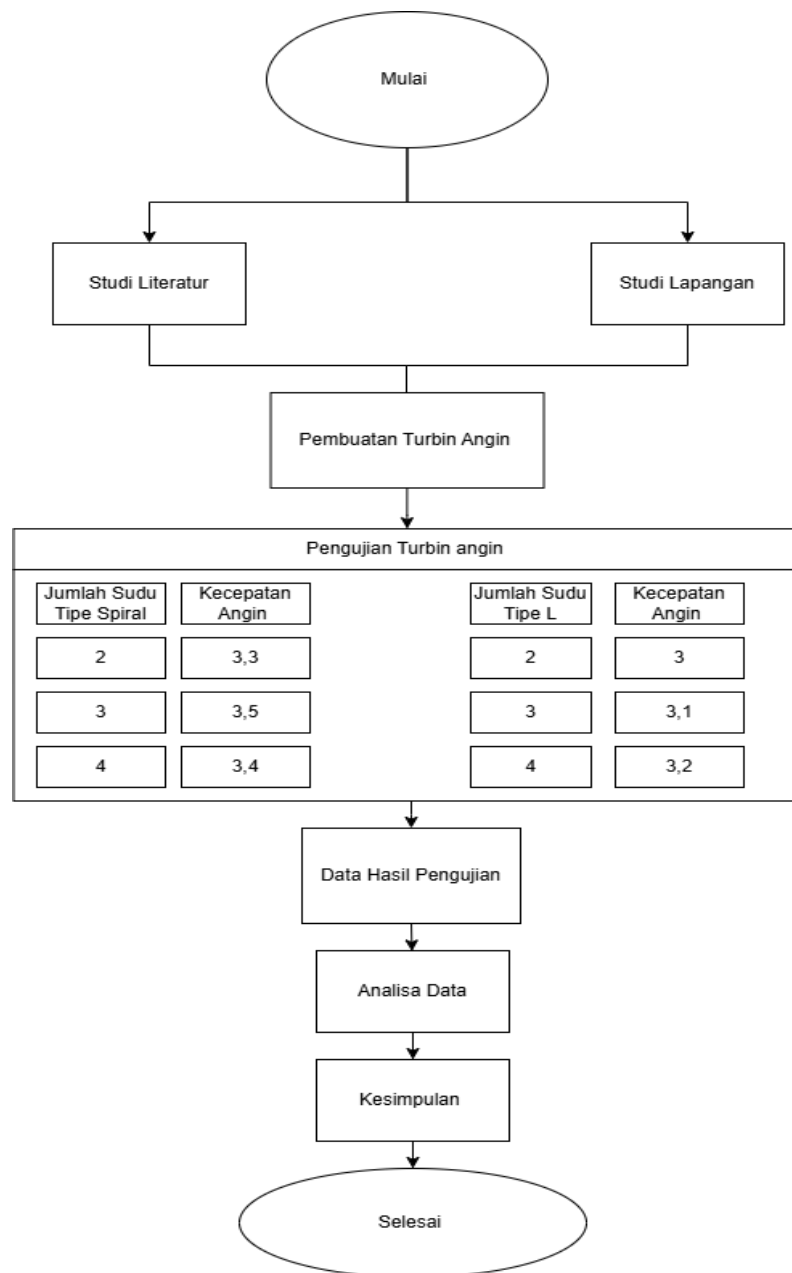
Turbin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin yang banyak digunakan, terutama di daerah dengan kecepatan angin yang rendah. Desainnya yang sederhana dan kemampuannya untuk menangkap angin dari berbagai arah membuatnya cocok untuk aplikasi di lingkungan yang berubah-ubah. Namun, kinerja turbin Savonius masih banyak dipengaruhi oleh desain sudu yang digunakan, sehingga penelitian dan pengembangan desain yang lebih efisien sangat diperlukan. Desain ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan kecepatan putaran turbin, sehingga meningkatkan daya listrik yang dihasilkan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa modifikasi desain sudu dapat memberikan dampak signifikan terhadap kinerja turbin. Namun, masih banyak yang perlu dieksplorasi mengenai pengaruh spesifik dari desain sudu spiral vertikal.

Selain desain, faktor-faktor lain seperti kecepatan angin, sudut penempatan sudu, dan kondisi lingkungan juga berperan penting dalam menentukan kinerja turbin. Oleh karena itu, analisis yang komprehensif terhadap semua variabel ini perlu dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana meningkatkan kinerja turbin Savonius. Melalui pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara desain sudu dan kecepatan putaran turbin, penelitian ini dapat membantu dalam merumuskan strategi yang lebih efektif untuk memanfaatkan potensi energi angin di Indonesia. Dalam penelitian ini, beberapa teori yang relevan

dapat digunakan untuk mendukung analisis kecepatan putaran turbin Savonius dengan desain sudu spiral vertikal. Teori aerodinamika menjelaskan bagaimana bentuk dan desain sudu mempengaruhi aliran udara dan gaya yang bekerja pada turbin. Nilai gaya seret tertinggi diperoleh pada sudu 4 L dengan nilai 2,83 N. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai gaya seret. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan gaya seret. Secara rata-rata gaya seret pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Perbedaan nilai karena perbedaan kecepatan angin. Nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya generator. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya turbin. Daya turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai daya angin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya angin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya angin. Daya angin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai COP tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 2,61. Semakin turun kecepatan angin akan meningkatkan nilai COP. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan COP. Efisiensi turbin pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral.

2. PROSEDUR EKSPERIMEN

Berikut merupakan prosedur eksperimen pada penelitian ini:



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan sistematis yang terdiri dari:

1. Penentuan Topik dan Studi Literatur

Melakukan studi pustaka merupakan tahap peneliti mempelajari hal-hal yang relevan dengan penelitian memulai karya tulis, jurnal, buku maupun

bersumber dari internet. Tujuan dari studi pustaka untuk menambahkan wawasan dan sebagai dasar teori dalam melakukan penelitian.

2. **Persiapan Alat dan Komponen**

Melakukan perencanaan untuk menentukan apa saja komponen – komponen yang dibutuhkan dalam membuat alat tersebut serta perhitungan yang tepat pada setiap elemen pembangunan alat tersebut dengan mengacu pada standart yang ada. Berikut adalah komponen pembangun alat :

1. Plat Alumunium
2. Baja ST 41
3. Hollow 3x3
4. Pulley A dan B
5. Sabuk V-Belt
6. Bearing Pillow Block
7. Plat ST 41
8. Generator DC

3. **Perakitan Sistem Turbin Angin**

Observasi ini dilakukan di universitas 17 agustus surabaya tepatnya rooftop lantai 3 gedung teknik. Perencanaan ini di buat untuk mengetahui efisiensi sudu dan daya yang dihasilkan turbin angin tersebut. Karena dari beberapa temuan di berbagai industri turbin dengan sudu savonius spiral vertical masih jarang di temui.

Setelah dilakukan pengamatan turbin dengan sudu savonius ini daya yang dihasilkan kurang efisien sehingga dapat mempengaruhi energi listrik yang di hasil kan dan komponen yang digunakan sebelumnya menggunakan material plat st 41

4. **Variasi Pengujian**

Data data yang dihasilkan dikumpulkan, di olah dan di analisa untuk menentukan dan menyesuaikan kebutuhan alat yang akan dirancang.

Tabel 1. Hasil pengukuran Data Hasil Pengujian

Sudu	Percobaan	V _{angin} (m/s)	V _{turbin} (rpm)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
Spiral 2	1	3,3	80	1,235	3,5
	2	2,8	78	1,22	3,36
	3	2,6	75	1,205	3,35
Spiral 3	1	3,5	79	1,23	3,4
	2	2,9	65	1,175	3,3
	3	2,4	63	1,165	3,21
Spiral 4	1	3,4	70	1,185	3,35
	2	2,9	64	1,17	3,25
	3	2,5	60	1,145	3,1
L 2	1	3	104	2,24	4,82
	2	2,6	101	2,23	4,8
	3	2,1	95	2,213	4,2
L 3	1	3,1	102	2,235	4,8
	2	2,7	99	2,22	4,4
	3	2,5	97	2,213	4,15
L 4	1	3,2	100	2,23	4,7
	2	2,7	98	2,215	4,65
	3	2,3	93	2,21	4,35

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil pengukuran analisa

Berdasarkan pengujian yang dilakukan maka diperoleh data sebagai berikut:

Sudu Spiral 2

Luas permukaan

$$A_{\text{penampang}} = \pi r^2 = \pi (0,225 \text{ m})^2 = 0,158 \text{ m}^2.$$

Luas sapuan sudu

$$A_{\text{sapuan}} = p \times l \times n = 0,548 \text{ m} \times 0,225 \text{ m} \times 2 = 0,246 \text{ m}^2.$$

Daya masuk dan keluar pada generator

$$P_{in\ generator} = \frac{1}{2\rho} \times A_{penampang} \times v_{angin}^3$$
$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,158\ m^2 \times (3,3\ m/s)^3 = 3,49\ W$$

$$P_{out\ generator} = V \times I = 3,5\ V \times 1,235\ A = 4,32\ W$$

Efisiensi generator

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out\ generator}}{P_{in\ generator}} \times 100\ \% = \frac{4,32}{3,49} \times 100\ \% = 123\ \%$$

Gaya seret

$$F_{seret} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d$$
$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,158\ m^2 \times (80\ rpm)^2 \times 2,3 = 2,43\ N$$

BHP

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,34\ N}{1,23} = 1,97\ N$$

Torsi

$$T = BHP \times r = 1,97\ N \times 0,225\ m = 0,44\ Nm$$

Kecepatan sudut

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 80\ rpm}{60} = 8,37\ rad/s$$

Menghitung daya keluar dan masuk turbin

$$P_{out\ turbin} = T \times \omega = 0,44\ Nm \times 8,37\ rad/s = 3,71\ W$$

$$P_{in\ turbin} = P_{angin} = \frac{1}{2\rho} \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3$$
$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,246\ m^2 \times (3,3\ m/s)^3 = 5,43\ W$$

Efisiensi turbin

$$\eta = \frac{P_{out\ turbin}}{P_{in\ turbin}} \times 100\% = \frac{3,71\ W}{5,43\ W} \times 100\% = 68,4\%$$

Tabel 1. Hasil pengukuran Data 2 Sudu Spiral

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
P_{out} (Watt)	4,32	4,09	4,03
P_{in} (Watt)	3,49	2,13	1,71
$\eta_{generator}$ (%)	123	233	266
F_{seret} (Watt)	2,43	1,75	1,51
BHP (N)	1,97	0,75	0,56
T (Nm)	0,44	0,16	0,1
ω (rad/s)	8,37	8,16	7,85
P_{turbin} (Watt)	3,71	1,38	1,01
P_{angin} (Watt)	5,43	3,31	2,65
η (%)	68,4	41,6	37,7

Sudu Spiral 3

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi (0,225 \text{ m})^2 = 0,158 \text{ m}^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,548 \text{ m} \times 0,225 \text{ m} \times 3 = 0,393 \text{ m}^2.$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ generator}} &= 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,158 \text{ m}^2 \times (3,5 \text{ m/s})^3 = 4,17 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{out \text{ generator}} = V \times I = 3,4 \text{ V} \times 1,23 \text{ A} = 4,18 \text{ W}$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out \text{ generator}}}{P_{in \text{ generator}}} \times 100 \% = \frac{4,18}{4,17} \times 100 \% = 152 \%$$

$$\begin{aligned} F_{seret} &= 0,5p \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,158 \text{ m}^2 \times (79 \text{ rpm})^2 \times 2,3 = 2,74 \text{ N} \end{aligned}$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,74 \text{ N}}{1,52} = 1,79 \text{ N}$$

$$T = BHP \times r = 1,79 \text{ N} \times 0,225 \text{ m} = 0,4 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 79 \text{ rpm}}{60} = 8,26 \text{ rad/s}$$

$$P_{out \text{ turbin}} = T \times \omega = 0,12 \text{ Nm} \times 8,26 \text{ rad/s} = 3,34 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ turbin}} &= P_{angin} = 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,393 \text{ m}^2 \times (3,5 \text{ m/s})^3 = 10,33 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{out \text{ turbin}}}{P_{in \text{ turbin}}} \times 100\% = \frac{3,34 \text{ W}}{10,33 \text{ W}} \times 100\% = 32,3\%$$

Tabel 2. Hasil pengukuran Data 3 Sudu Spiral

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
P_{out} (Watt)	4,18	3,87	3,73
P_{in} (Watt)	4,17	2,37	1,34
$\eta_{generator}(\%)$	152	205	289
F_{seret} (Watt)	2,74	1,88	1,28
BHP (N)	1,79	0,91	0,44
T (Nm)	0,40	0,20	0,10
ω (rad/s)	8,26	6,80	6,59
P_{turbin} (Watt)	3,34	1,40	0,66
P_{angin} (Watt)	10,33	5,87	3,33
η (%)	32,3	23,8	19,8

Sudu Spiral 4

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi(0,225 \text{ m})^2 = 0,158 \text{ m}^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,548 \text{ m} \times 0,225 \text{ m} \times 4 = 0,493 \text{ m}^2.$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ generator}} &= 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,158 \text{ m}^2 \times (3,4 \text{ m/s})^3 = 3,82 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{out \text{ generator}} = V \times I = 3,35 \text{ V} \times 1,185 \text{ A} = 3,96 \text{ W}$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out \text{ generator}}}{P_{in \text{ generator}}} \times 100 \% = \frac{3,96}{3,82} \times 100 \% = 153 \%$$

$$\begin{aligned} F_{seret} &= 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,158 \text{ m}^2 \times (70 \text{ rpm})^2 \times 2,3 = 2,58 \text{ N} \end{aligned}$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,58 \text{ N}}{1,53} = 1,68 \text{ N}$$

$$T = BHP \times r = 1,68 \text{ N} \times 0,225 \text{ m} = 0,37 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 70 \text{ rpm}}{60} = 7,32 \text{ rad/s}$$

$$P_{out \text{ turbin}} = 0,37 \text{ Nm} \times 7,32 \text{ rad/s} = 2,78 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ turbin}} &= P_{angin} = 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,493 \text{ m}^2 \times (3,4 \text{ m/s})^3 = 11,87 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{out \text{ turbin}}}{P_{in \text{ turbin}}} \times 100\% = \frac{2,78 \text{ W}}{11,87 \text{ W}} \times 100\% = 23,4\%$$

Tabel 3. Hasil pengukuran Data 4 Sudu Spiral

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
P_{out} (Watt)	3,96	3,80	3,54
P_{in} (Watt)	3,82	2,37	1,52
$\eta_{generator}(\%)$	153	201	253
F_{seret} (Watt)	2,58	1,88	1,39
BHP (N)	1,68	0,93	0,55
T (Nm)	0,37	0,20	0,12
ω (rad/s)	7,32	6,69	6,28
P_{turbin} (Watt)	2,78	1,40	0,77
P_{angin} (Watt)	11,87	7,37	4,72
η (%)	23,4	19,0	16,5

Sudu L 2

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi (0,25 \text{ m})^2 = 0,196 \text{ m}^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,5 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 2 = 0,25 \text{ m}^2.$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ generator}} &= 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,196 \text{ m}^2 \times (3 \text{ m/s})^3 = 3,24 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{out \text{ generator}} = V \times I = 4,82 \text{ V} \times 2,24 \text{ A} = 10,79 \text{ W}$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out \text{ generator}}}{P_{in \text{ generator}}} \times 100 \% = \frac{10,79}{3,24} \times 100 \% = 433 \%$$

$$\begin{aligned} F_{seret} &= 0,5p \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,196 \text{ m}^2 \times (104 \text{ rpm})^2 \times 2,3 = 2,48 \text{ N} \end{aligned}$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,48 \text{ N}}{4,33} = 0,57 \text{ N}$$

$$T = BHP \times r = 0,57 \text{ N} \times 0,25 \text{ m} = 0,14 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 104 \text{ rpm}}{60} = 10,88 \text{ rad/s}$$

$$P_{out \text{ turbin}} = T \times \omega = 0,14 \text{ Nm} \times 10,88 \text{ rad/s} = 1,56 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ turbin}} = P_{angin} &= 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,25 \text{ m}^2 \times (3 \text{ m/s})^3 = 4,13 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{out \text{ turbin}}}{P_{in \text{ turbin}}} \times 100\% = \frac{1,56 \text{ W}}{4,13 \text{ W}} \times 100\% = 37,7\%$$

Tabel 4. Hasil pengukuran Data 2 Sudu L

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
P_{out} (Watt)	10,79	10,70	9,29
P_{in} (Watt)	3,24	2,11	1,11
$\eta_{generator}$ (%)	433	572	762
F_{seret} (Watt)	2,48	1,86	1,21
BHP (N)	0,57	0,32	0,15
T (Nm)	0,14	0,08	0,03
ω (rad/s)	10,88	10,57	9,94
P_{turbin} (Watt)	1,56	0,86	0,39
P_{angin} (Watt)	4,13	2,69	1,41
η (%)	37,7	32	28

Sudu L 3

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi (0,25 \text{ m})^2 = 0,196 \text{ m}^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,5 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 3 = 0,375 \text{ m}^2.$$

$$P_{in generator} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,196 \text{ m}^2 \times (3,1 \text{ m/s})^3 = 3,58 \text{ W}$$

$$P_{out generator} = V \times I = 4,8 \text{ V} \times 2,235 \text{ A} = 10,72 \text{ W}$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out generator}}{P_{in generator}} \times 100 \% = \frac{10,72}{3,58} \times 100 \% = 403 \%$$

$$F_{seret} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d$$

$$= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,196 \text{ m}^2 \times (102 \text{ rpm})^2 \times 2,3 = 2,65 \text{ N}$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,65 \text{ N}}{4,03} = 0,65 \text{ N}$$

$$T = BHP \times r = 0,65 \text{ N} \times 0,25 \text{ m} = 0,16 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 102 \text{ rpm}}{60} = 10,67 \text{ rad/s}$$

$$P_{out turbin} = T \times \omega = 0,16 \text{ Nm} \times 10,67 \text{ rad/s} = 1,75 \text{ W}$$

$$P_{in turbin} = P_{angin} = 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,375 \text{ m}^2 \times (3,1 \text{ m/s})^3 = 6,84 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out turbin}}{P_{in turbin}} \times 100\% = \frac{1,75 \text{ W}}{6,84 \text{ W}} \times 100\% = 25,6\%$$

Tabel 5. Hasil pengukuran Data 3 Sudu L

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
P_{out} (Watt)	10,72	9,76	9,18
P_{in} (Watt)	3,58	2,36	1,87
$\eta_{generator}(\%)$	403	484	531
F_{seret} (Watt)	2,65	2,01	1,72
BHP (N)	0,65	0,41	0,32
T (Nm)	0,16	0,10	0,08
ω (rad/s)	10,67	10,36	10,15
P_{turbin} (Watt)	1,75	1,07	0,82
P_{angin} (Watt)	6,84	4,52	3,58
η (%)	25,6	23,8	22,9

Sudu L 4

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi (0,25 \text{ m})^2 = 0,196 \text{ m}^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,5 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 4 = 0,5 \text{ m}^2.$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ generator}} &= 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,196 \text{ m}^2 \times (3,2 \text{ m/s})^3 = 3,93 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{out \text{ generator}} = V \times I = 4,7 \text{ V} \times 2,23 \text{ A} = 10,48 \text{ W}$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out \text{ generator}}}{P_{in \text{ generator}}} \times 100 \% = \frac{10,48}{3,93} \times 100 \% = 370 \%$$

$$\begin{aligned} F_{seret} &= 0,5p \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,196 \text{ m}^2 \times (100 \text{ rpm})^2 \times 2,3 = 2,83 \text{ N} \end{aligned}$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,83 \text{ N}}{3,7} = 0,76 \text{ N}$$

$$T = BHP \times r = 0,76 \text{ N} \times 0,25 \text{ m} = 0,19 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 100 \text{ rpm}}{60} = 10,46 \text{ rad/s}$$

$$P_{out \text{ turbin}} = T \times \omega = 0,19 \text{ Nm} \times 10,46 \text{ rad/s} = 2,01 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ turbin}} = P_{angin} &= 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,5 \text{ m}^2 \times (100 \text{ m/s})^3 = 10,03 \text{ W} \end{aligned}$$

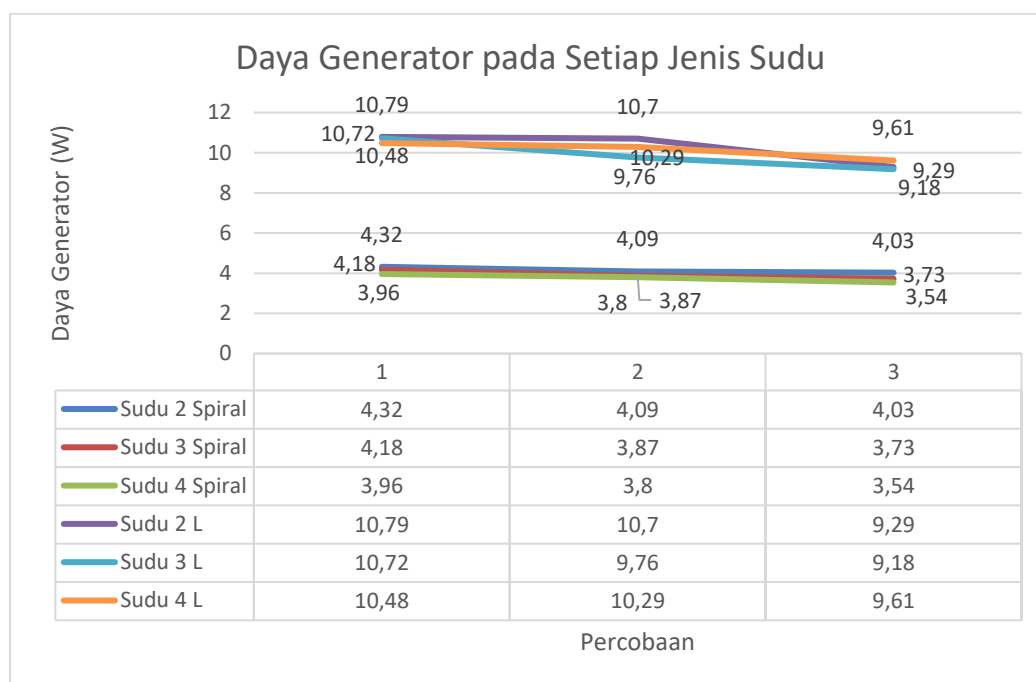
$$\eta = \frac{P_{out \text{ turbin}}}{P_{in \text{ turbin}}} \times 100\% = \frac{2,01 \text{ W}}{10,03 \text{ W}} \times 100\% = 19,9\%$$

$$COP = \frac{P_{out}}{P_{angin}} = \frac{10,48 \text{ W}}{10,03 \text{ W}} = 1,04.$$

Tabel 6. Hasil pengukuran Data 4 Sudu L

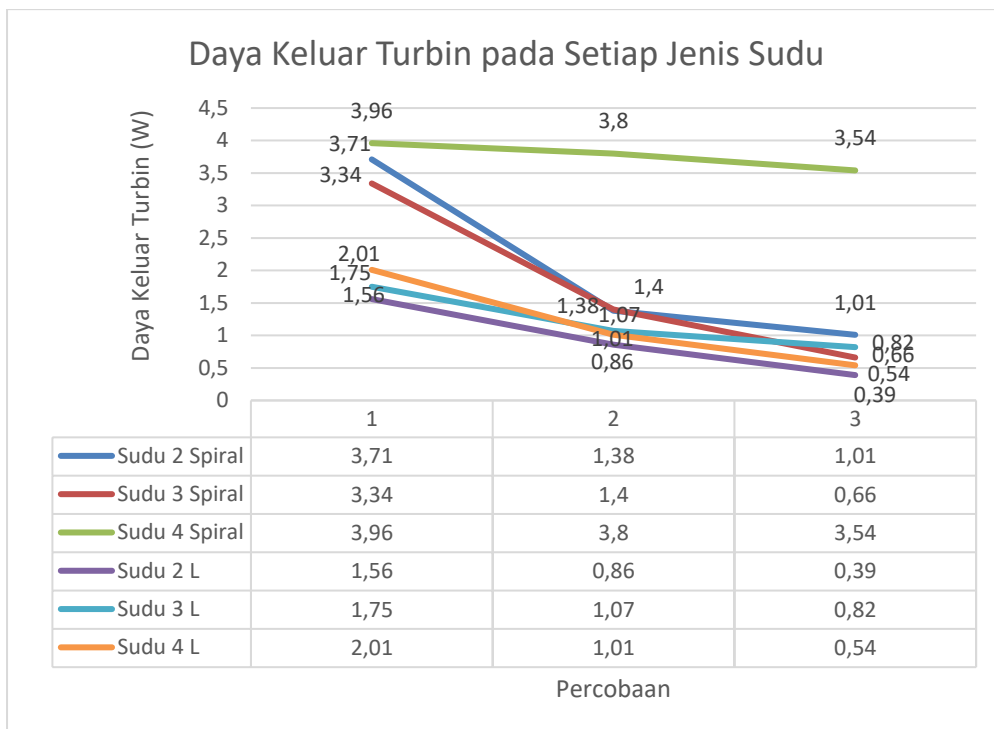
Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
P_{out} (Watt)	10,48	10,29	9,61
P_{in} (Watt)	3,93	2,36	1,46
$\eta_{generator}$ (%)	370	511	657
F_{seret} (Watt)	2,83	2,01	1,46
BHP (N)	0,76	0,39	0,22
T (Nm)	0,19	0,09	0,05
ω (rad/s)	10,46	10,25	9,73
P_{turbin} (Watt)	2,01	1,01	0,54
P_{angin} (Watt)	10,03	6,02	3,72
η (%)	19,9	16,7	14,5

Hasil Siklus Analisis Grafik



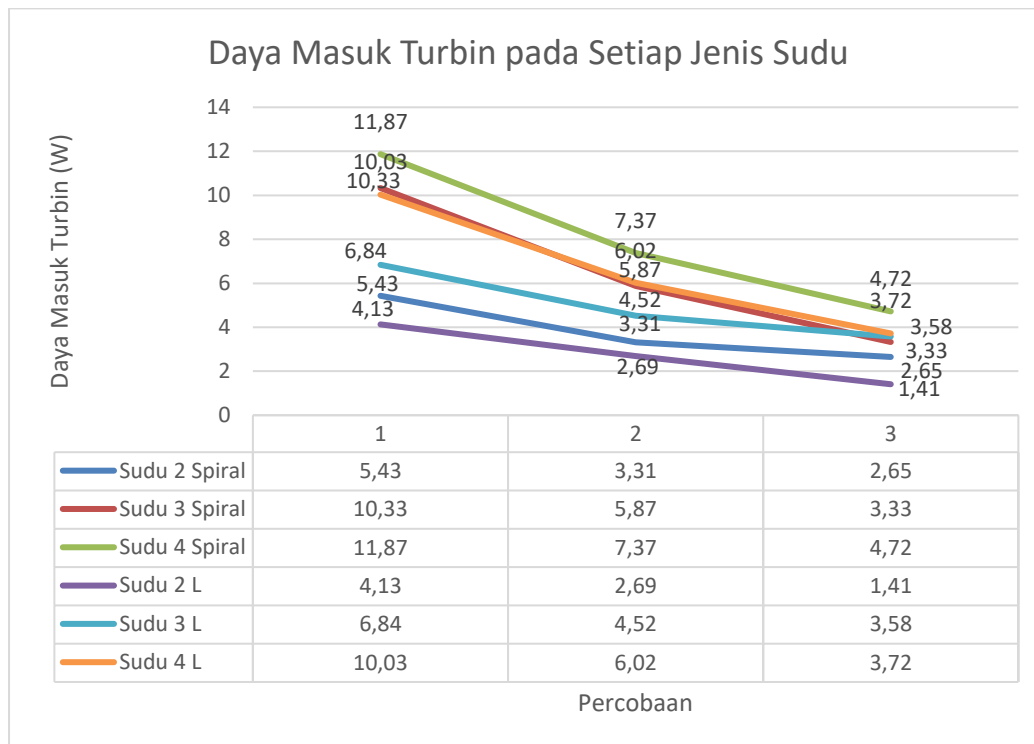
Gambar 1 Grafik gaya seret pada setiap jenis sudu

Nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya generator, dapat terlihat pada percobaan ke 2 dan ke 3 dengan nilai 10,7 W, dan 9,29 W. Tertinggi kedua pada sudu 3 L dengan nilai 10,72 W, 9,76 W, dan 9,18 W. Tertinggi ketiga pada sudu 4 L dengan nilai 10,48 W, 10,29 W, dan 9,61 W. Tertinggi keempat pada sudu 2 spiral dengan nilai 4,32 W, 4,09 W, dan 4,03 W. Tertinggi kelima pada sudu 3 spiral dengan nilai 4,18 W, 3,87 W, dan 3,73 W. Dan yang terakhir pada sudu 2 spiral dengan 3,96 W, 3,8 W, dan 3,54 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. gaya seret pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Perbedaan nilai karena perbedaan kecepatan angin.



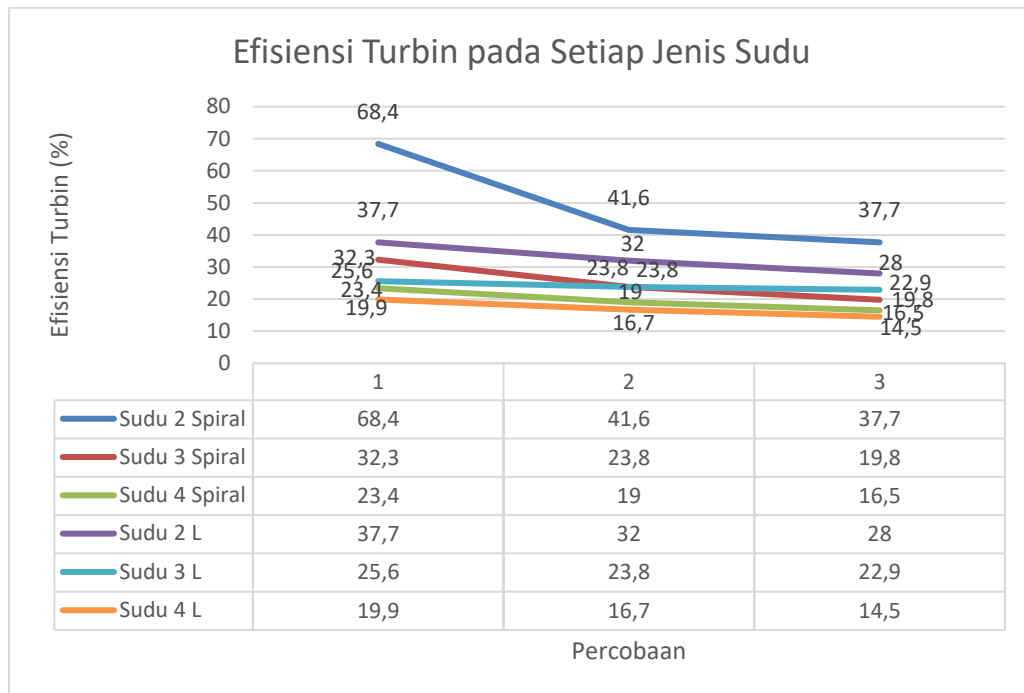
Gambar 2 Grafik daya generator pada setiap jenis sudu

Nilai daya keluar turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya keluar turbin, dapat terlihat pada percobaan ke 2 dan ke 3 dengan nilai 3,8 W, dan 3,54 W. Tertinggi kedua pada sudu 2 spiral dengan nilai 3,71 W, 1,38 W, dan 1,01 W. Tertinggi ketiga pada sudu 3 spiral dengan nilai 3,34 W, 1,4 W, dan 0,66 W. Tertinggi keempat pada sudu 4 L dengan nilai 2,01W, 1,01 W, dan 0,54 W. Tertinggi kelima pada sudu 3 L dengan nilai 1,75 W, 1,07 W, dan 0,82 W. Dan yang terakhir pada sudu 2 L dengan 1,56 W, 0,86 W, dan 0,39 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya keluar turbin. Daya keluar turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.



Gambar 3 Grafik daya turbin pada setiap jenis sudu

Nilai daya masuk turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya masuk turbin, dapat terlihat pada percobaan ke 2 dan ke 3 dengan nilai 7,37 W, dan 4,72 W. Tertinggi kedua pada sudu 3 spiral dengan nilai 10,33 W, 5,87 W, dan 3,33 W. Tertinggi ketiga pada sudu 4 L dengan nilai 10,03 W, 6,0 W, dan 3,72 W. Tertinggi keempat pada sudu 3 L dengan nilai 6,84 W, 4,52 W, dan 3,58 W. Tertinggi kelima pada sudu 2 spiral dengan nilai 5,43 W, 3,31 W, dan 2,65 W. Dan yang terakhir pada sudu 2 L dengan 4,13 W, 2,69 W, dan 1,41 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya masuk turbin. Daya masuk turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.



Gambar 4 Grafik daya angin pada setiap jenis sudu

Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin, dapat terlihat pada percobaan ke 2 dan ke 3 dengan nilai 41,6 %, dan 37,7 %. Tertinggi kedua pada sudu 2 L dengan nilai 37,7 %, 32 %, dan 28 %. Tertinggi ketiga pada sudu 3 spiral dengan nilai 32,3 %, 23,8 %, dan 19,8 %. Tertinggi keempat pada sudu 3 L dengan nilai 25,6 %, 23,8 %, dan 22,9 %. Tertinggi kelima pada sudu 4 spiral dengan nilai 23,4 %, 19 %, dan 16,5 %. Dan yang terakhir pada sudu 4 L dengan 19,9 %, 16,7 %, dan 14,5 %. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.

4.4 Pembahasan

Dari hasil pengambilan data turbin savonius diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Nilai data dan perhitungan turbin angin savonius

	Spiral 2			Spiral 3			Spiral 4		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
V_{turb}(rpm)	80	78	75	79	65	63	70	64	60
V_{ang}(m/s)	3,3	2,8	2,6	3,5	2,9	2,4	3,4	2,9	2,5
V (Volt)	3,5	3,36	3,35	3,4	3,3	3,21	3,35	3,25	3,1
I (A)	1,235	1,22	1,205	1,23	1,175	1,165	1,185	1,17	1,145
P_{out turbin}(W)	3,71	1,38	1,01	3,34	1,4	0,66	3,96	3,8	3,54
P_{in turbin}(W)	5,43	3,31	2,65	10,33	5,87	3,33	11,87	7,37	4,72
P_{out generator}(W)	4,32	4,09	4,03	4,18	3,87	3,73	3,96	3,8	3,54
η turbin(%)	68,4	41,6	37,7	32,3	23,8	19,8	23,4	19	16,5
	L 2			L 3			L 4		
V_{turb}(rpm)	104	101	95	102	99	97	100	98	93
V_{ang}(m/s)	3	2,6	2,1	3,1	2,7	2,5	3,2	2,7	2,3
V (Volt)	4,82	4,8	4,2	4,8	4,4	4,15	4,7	4,65	4,35
I (A)	2,24	2,23	2,213	2,235	2,22	2,213	4,7	4,65	4,35
P_{out turbin}(W)	1,56	0,86	0,39	1,75	1,07	0,82	2,01	1,01	0,54
P_{in turbin}(W)	4,13	2,69	1,41	6,84	4,52	3,58	10,03	6,02	3,72
P_{out generator}(W)	10,79	10,7	9,29	10,72	9,76	9,18	10,48	10,29	9,61
η turbin(%)	37,7	32	28	25,6	23,8	22,9	19,9	16,7	14,5

Nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya generator. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya keluar turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya keluar turbin. Daya keluar turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai daya keluar angin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya masuk turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya masuk turbin. Daya masuk turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.

4. KESIMPULAN

Nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya keluar turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya keluar turbin. Daya keluar turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai daya masuk turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya masuk turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya masuk turbin. Daya masuk turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.

5. SARAN

Saran yang disampaikan berdasarkan saat pengujian serta analisis yang telah dilakukan adalah :

1. Perencanaan alat mulai dari awal pemilihan material sudu, penampang hingga terakhir pada perakitan harus dilakukan dengan teliti dan benar sehingga turbin dapat berjalan dengan baik.
2. Pengujian sebaiknya dilakukan pada tempat dengan aliran angin cepat atau dapat menggunakan alat seperti kompresor atau blander.