

**STUDI EXPERIMENTAL TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE C SATU TINGKAT
DENGAN PENAMBAHAN FIX DRAG REDUCING PADA BLADE**

Riyan Cahya Subekti

S1 Pendidikan Teknik Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : riyansubekti@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Semakin pesatnya perkembangan teknologi, ekonomi dan pertumbuhan penduduk menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan energi. Sumber energi minyak bumi masih mendominasi sebagai sumber energi utama. Permintaan energi minyak bumi dari tahun ketahun semakin meningkat hal ini dapat menyebabkan krisis energi. Dengan kondisi seperti ini maka perlu pengembangan sumber energi alternatif ramah lingkungan salah satunya adalah energi angin. Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber energi angin yang sangat besar dikarenakan Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki garis pantai yang panjang. Angin yang berhembus di daerah pesisir pantai cukup tinggi, akan tetapi untuk daerah selain pesisir pantai memiliki kecepatan angin yang relatif rendah. Hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu vertikal tidak bergantung pada arah angin untuk menghasilkan daya maksimal. Jenis penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan saat ini berupa prototek turbin angin savonius tipe C yang diuji ditempat terbuka dengan variasi sudut bukaan 10° , 20° , 30° , 40° . Uji eksperimen ini untuk mengetahui efisiensi penambahan *fix drag reducing* terhadap kinerja turbin angin savonius tipe C satu tingkat dengan dua *blade*. Hasil penelitian didapatkan bahwa turbin angin jenis Savonius tipe C satu tingkat dua *blade* dengan penambahan variasi bukaan *fix drag reducing* 30° menghasilkan daya elektrik turbin sebesar 5,21 watt, efisiensi turbin sebesar 7,04% pada kecepatan angin 3,72 m/s dan mendapatkan terbaik dibandingkan dengan variasi bukaan *fix drag reducing* yang lain.

Kata kunci: Energi angin, sumbu vertikal, turbin angin *savonius*, sudu, *fix drag reducing*, *blade*.

Abstract

*The more rapid development of technology, economics and population growth increasingly increases energy needs. Petroleum energy sources are still the main energy source. Demand for petroleum from year to year is increasing, this can lead to an increase in energy. With these conditions, it is necessary to develop environmentally friendly energy sources. One of them is wind energy. Indonesia is a country with a huge potential for wind energy because Indonesia is an archipelago that has a long coastline. The wind that blows on the coast of Coastal is quite high, but for areas other than Coastal the coast has relatively low wind speeds. This can be overcome by using a vertical axis wind turbine. Vertical axis wind turbines do not match the direction of the wind to produce maximum power. The type of this research is that the current research consists of a protoni savonius type C wind turbine offered in an open place with variations in the opening angle of 10° , 20° , 30° , 40° . This trial test to study the efficiency of *fix drag repair* on the performance of a one-level type C savonius wind turbine with two blades. The results obtained by Savonius type C one level two blade wind turbines with contributions to variations in openings improve the 30% reduction resulting in electric turbine power of 5.21 watts, turbine efficiency of 7.04% at wind speeds of 3.72 m / s and get best compared to the variation of *drag reducing openings* other.*

Keywords: Wind energy, vertical axis, wind turbine *savonius*, blade, *drag reducing fix*, *blade*.

PENDAHULUAN

Semakin menipisnya sumber energi yang tidak dapat terbarukan (*nonrenewable*), serta penggunaan bahan bakar yang berasal dari fosil yang mencemari lingkungan, memerlukan suatu jalan alternative guna mengganti sumber energi tersebut dengan sumber energi yang terbarukan (*renewable*). Sumber energi tak terbarukan yang banyak digunakan saat ini adalah bahan bakar yang berasal dari fosil minyak bumi, gas alam, dan batubara. Sayangnya jika energi ini habis maka diperlukan sumber-sumber energi baru (Daryanto, 2007).

Salah satu potensi pemanfaatan sumber energi terbarukan yang bisa digunakan adalah energi angin. Angin adalah salah satu bentuk energi tertua yang telah lama di kenal dan di gunakan manusia. Sebagaimana di ketahui, pada dasarnya angin terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin.

Energi angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh secara cuma-cuma yang jumlahnya melimpah dan tersedia terus-menerus sepanjang tahun. Indonesia merupakan Negara kepulauan yang memiliki sekitar 17.500 pulau dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 km. Di Indonesia memiliki kecepatan angin yang cukup, dan kecepatan angin di Indonesia dengan rata-rata berkisar antara 3 - 6 m/s. Kecepatan yang lebih tinggi dapat diperoleh di daerah Nusa Tenggara yang berkisar antara 3,5 - 6,5 m/s. Sedangkan pulau-pulau seperti Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua hanya memiliki kecepatan angin sekitar 2,7 - 4,5 m/s.

Dalam proses terjadinya angin dipengaruhi oleh beberapa faktor yang menyebabkan angin dapat ada dan muncul antara lain (1) *Gradien Barometris*, adalah bilangan yang menampilkan adanya perbedaan tekanan udara dari 2 isobar pada jarak 111 km. Dimana semakin besar *gradien barometris*, maka semakin cepat juga tiupan angin, (2) letak tempat, adalah angin lebih cepat yang berada/dekat di garis khatulistiwa, dari pada yang jauh dari khatulistiwa, (3) tinggi tempat, tinggi rendahnya tempat/lokasi dapat mempengaruhi karena semakin tinggi tempat tersebut, maka semakin kencang angin bertiup, dan sebaliknya, Hal ini dapat terjadi karena disebabkan oleh pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan yang tidak merata seperti

gunung, pohon dan tempat lainnya memberikan gaya gesekan yang besar. (4) waktu, disiang hari angin bergerak lebih cepat dari pada di malam hari.

Penelitian sistem konversi energi angin kecepatan rendah belum banyak dilakukan di Indonesia, padahal ada beberapa lokasi yang mempunyai kecepatan angin rendah secara kontinyu yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Disamping itu, angin merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*), sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan.

Penelitian tentang turbin savonius dilakukan oleh N.H.Mahmoud (2012) dengan judul "*An experimental study on improvement of Savonius Rotor performance*". Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin angin dengan 2 sudu lebih efisien dari pada 3 dan 4 sudu, begitu juga turbin dengan 2 tingkat memiliki performa lebih tinggi dari pada turbin dengan 1 tingkat. Penelitian ini dilakukan pada terowongan angin dengan kecepatan angin rata-rata 6-9 m/s.

Turbin angin savonius merupakan salah satu jenis turbin angin yang dapat di manfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, turbin angin savonius ini cukup sederhana dan praktis tidak terpengaruh oleh arah angin. Turbin angin saavonius mengkorvesikan energi angin menjadi energi mekanis dalam bentuk gaya dorong (*drag force*), sebagian sudu mengambil energi angin disebut *downwind* sedangkan sudu yang melawan angin disebut *upwind*. Energi angin yang memutar turbin angin diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian bawah turbin angin.(Blakwell,1997.).

Penelitian tentang turbin angin savonius di lakukan oleh M.Haydarul Haqqi, Gunawan Nugroho, Ali Musyafa' (2013) dengan judul "*Rancang bangun turbing angin vertikal savonius dengan variasi jumlah blade terintegrasi circular shield untuk memperoleh daya maksimum*". Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin konvensional 2 sudu dengan adanya *circular shield* memperlihatkan performa lebih baik dan nilai C_p meningkat cukup tinggi rata-rata peningkatan C_p sebesar 87% dengan kecepatan angin 3,5- 4m/s.

Penelitian tentang turbin angin savonius dilakukan oleh Robby Ilham Fitrandi,(2014) dengan

judul “karakteristik turbin angin savonius 2 dan 3 blade dengan menggunakan guide vane”. Model turbin dengan spesifikasi blade 2 buah dan 3 buah , tinggi 300mm, panjang 300mm, dan diameter 17,5mm, kecepatan angin rata-rata 3,5 dan 4,2 m/s, dengan variasi beban 600gr, 700gr, 800gr, dengan variasi sudut 0° , 15° , 30° , 45° . Hasil penelitian menunjukkan turbin angin 2 blade memiliki daya dan koefisien yang maksimal dengan menggunakan sudut *gude vane* 15° yang mampu menghasilkan putaran lebih optimum.

Penelitian tentang turbin angin savonius dilakukan oleh Paige Archinal, Jefferson Lee, dkk dengan judul “partially enclosed vertical axis wind turbine”. model turbin dengan tinggi turbin 37,50 cm dan diameter 26 cm dengan penambahan tutup setengah lingkaran untuk memaksimalkan kinerja turbin. Hasil penelitian turbin dengan tutup setengah lingkaran yaitu menunjukkan penurunan koefisien kinerja sebesar 83% menjadi 72%, *output* torsi sebesar 56% dan 86%, *output* daya sebesar 49% dan 92% untuk kecepatan angin 3,7m/s.

Feri Hidayatulloh (2017) mengenai “pengaruh perubahan sudut lengkung blade terhadap kinerja turbin angin savonius tipe S dua tingkat pada kondisi angin real dengan variasi perubahan sudut lengkung 125° , 130° , 155° ”. Kecepatan angin real dilapangan hasil pengujian rata-rata antara 2-6 m/s dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut : Perubahan sudut lengkung blade berpengaruh terhadap kinerja putaran poros dan kemampuan *self starting*, turbin savonius dengan sudut lengkung 125° lebih tinggi pada kecepatan angin 2,47 m/s, sudut lengkung 130° pada kecepatan angin 2,67 m/s dan sudut lengkung blade 135° pada kecepatan angin 2,78 m/s pada saat *self starting*nya .Daya tertinggi turbin angin savonius tipe S dua tingkat pada kondisi angin real sudut lengkung blade 125° sebesar 37,41 watt dan (Pg) daya elektrik generator 47,33 watt pada kecepatan angin 6,73 m/s dengan *tip speed ratio* (λ) 0,76 Efisiensi (η) turbin angin savonius tipe S dua tingkat pada kondisi angin real tertinggi dihasilkan dengan variasi sudut lengkung blade 125° sebesar 24,92 % pada kecepatan angin 3,42 m/s.

Abdurrohman Wachid (2018) tentang “study experimental turbin angin savonius 2 tingkat dengan penambahan drag reducing pada retraining blade (studi kasus pada 2 blade pertingkat). Daya Tertinggi turbin angin Savonius 2 tingkat dengan Drag Reducing

pada Retraining Blade terdapat pada jumlah variasi 3 Drag Reducing sebesar 190,76 watt dan (Pg) daya elektrik Generator 6,51 watt pada kecepatan angin 5,38 m/s dengan *tip speed ratio* (λ) sebesar 1,03. Efisiensi Overall (η) Turbin angin sebesar pada jumlah variasi 3 Drag Reducing sebesar 4,85% pada kecepatan angin 3,58 m/s.

Dari latar belakang di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang “Studi *Experimental* Turbin Angin Savionus Tipe C Satu Tingkat Dengan Penambahan Fix Drag Reducing pada Blade” pada kondisi angin real.

Rumusan Masalah

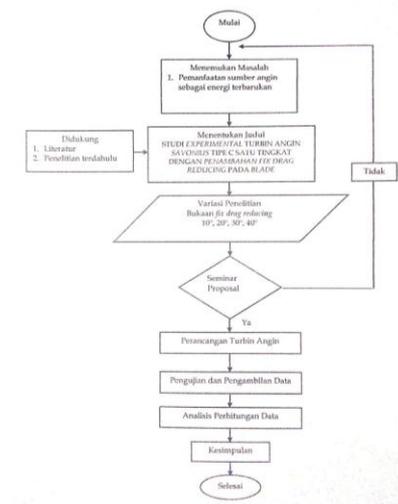
Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang diajukan adalah sebagai berikut:

- ❖ Bagaimana pengaruh *fix drag reducing* pada blade terhadap daya yang dihasilkan turbin angin savonius pada kondisi angin di real?
- ❖ Bagaimana pengaruh *fix drag reducing* pada blade terhadap efisiensi turbin angin savonius pada kondisi angin di real?

Tujuan Penelitian

- ❖ Mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin angin savonius tipe C satu tingkat dua blade dengan *fix drag reducing* pada *returning blade*.
- ❖ Mengetahui efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin savonius tipe C satu tingkat dua blade dengan *fix drag reducing* pada *returning blade*.

METODE



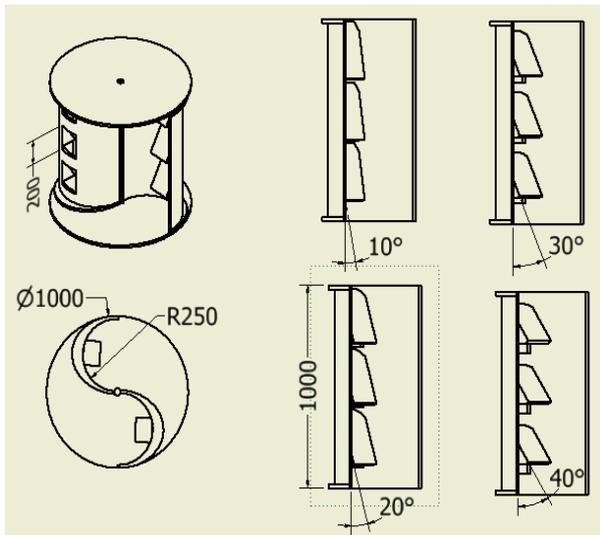
Gambar 1. Flow chart penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Kegiatan yang

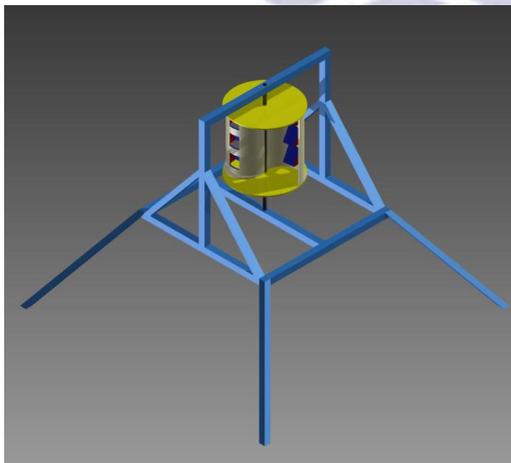
dilakukan dalam penelitian ini meliputi perancangan turbin angin vertikal jenis *Savonius* tipe C satu tingkat dua *blade* dengan variasi penambahan *fix drag reducing*, pembuatan turbin angin vertikal, *set up* alat, dan pengambilan data.

Variabel Penelitian

❖ Variabel bebas (*independent variable*) adalah variable yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor - faktor yang diobservasi. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi bukaan *fix drag reducing* 10°, 20°, 30°, 40°.



Gambar 2. Desain *fix drag reducing*



Gambar 3. Desain turbin angin *Savonius*

Diameter turbin 1000 mm

Tinggi *blade* 1000 mm

Tebal *blade* 0,8 mm

Tinggi turbin keseluruhan 1000 mm

❖ Variabel terikat (*dependent variable*) adalah faktor - faktor yang diobservasi dan diukur

untuk menentukan adanya pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah daya dan efisiensi yang dihasilkan pada masing - masing variasi bukaan *fix drag reducing*.

❖ Variabel kontrol merupakan variabel yang dapat dikendalikan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor - faktor lain yang tidak termasuk dalam penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- Waktu pengambilan data pukul 11.00 - 16.00 WIB.
- Pengambilan data kecepatan angin awal sebagai acuan sehingga pengambilan data selanjutnya yaitu kecepatan angin yang mendekati acuan data awal dengan toleransi kecepatan angin maksimal 0,5 m/s. Menyiapkan

Prosedur Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, hal-hal yang dipersiapkan peneliti adalah sebagai berikut:

Tahap persiapan

- Proposal penelitian, menentukan rumusan masalah, membuat rancangan penelitian, serta menentukan waktu dan tempat penelitian.
- Berkonsultasi dengan dosen pembimbing mengenai proposal penelitian dan rumusan masalah yang telah dipilih oleh peneliti.
- Mendesain model turbin angin sumbu vertikal jenis *savonius* tipe C satu tingkat dua *blade* dengan penambahan *fix drag reducing* dengan bukaan variasi sudut 10°, 20°, 30° dan 40°.
- Survei dan membeli perlengkapan dan alat - alat yang akan digunakan.
- Menyiapkan instrumen penelitian dan alat ukur.
- Melakukan koordinasi dengan dosen pembimbing mengenai waktu pelaksanaan penelitian.

Tahap Assembly

- Perakitan *fix drag reducing* sesuai dengan derajatnya.
- Perakitan turbin angin pada rangka
- Memasang *blade* pada turbin angin

- Memasang sistem kelistrikan turbin angin

Tahap Pelaksanaan Penelitian

- Menentukan arah angin supaya turbin bisa berjalan maksimal.
- Pastikan rangkaian turbin angin sumbu vertikal berjalan lancar.
- Kemudian menentukan derajat bukaan *fix drag reducing* yang akan diteliti yaitu 10°, 20°, 30° dan 40°.
- Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit sekali.
- Pengambilan data mulai pukul 11.00 - 16.00 WIB.
- Ukur kecepatan angin menggunakan anemometer.
- Ukur putaran turbin menggunakan tachometer.
- Ukur arus dan voltase menggunakan amperemeter dan voltmeter.
- Pencatatan hasil dari semua pengukuran yang dilakukan dari setiap 10 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitan data “Studi *Experimental* Turbin Angin Savonius Tipe C Satu Tingkat Dengan Penambahan *Fix Drag Reducing* Pada *Blade*” yang di peroleh dari pengujian di gedung A8 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya mendapatkan hasil yang di sajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Tanpa Bukaan *Fix Drag Reducing*

Tanpa Bukaan <i>Fix Drag Reducing</i>					
Waktu Pengujian 13 April 2019 Pukul 10.00 – pukul 16.00	No	Kecepatan Angin(M/S)	Rpm	Tegangan (V)	Arus (A)
	1	3,56	52,5	8,39	0,17
	2	4,93	83,7	10,12	0,32
	3	3,25	43,7	8,18	0,12
	4	4,87	77,7	10,10	0,31
	5	4,14	63,8	9,65	0,24
	6	5,09	86,0	10,55	0,35
	7	5,37	97,8	11,00	0,40
	8	3,49	50,1	8,29	0,14
	9	4,37	70,3	10,10	0,28
	10	3,87	59,3	9,38	0,21

Tabel 2. Variasi Bukaan *Fix Drag Reducing* 10°

Bukaan <i>Fix Drag Reducing</i> 10°					
Waktu Pengujian 15 April 2019 Pukul 10.00 – pukul 16.00	No	Kecepatan Angin(M/S)	Rpm	Tegangan (V)	Arus (A)
	1	3,57	57,5	8,52	0,17
	2	4,17	72,6	9,26	0,26
	3	3,25	44,9	8,18	0,12
	4	3,48	53,7	8,40	0,16
	5	5,10	94,0	11,07	0,39
	6	4,28	75,9	9,48	0,27
	7	4,46	80,4	10,33	0,29
	8	5,19	96,1	11,18	0,41
	9	4,35	78,3	10,17	0,28
	10	3,36	47,8	8,36	0,14

Tabel 3. Variasi Bukaan *Fix Drag Reducing* 20°

Bukaan <i>Fix Drag Reducing</i> 20°					
Waktu Pengujian 20 April 2019 Pukul 10.00 – pukul 16.00	No	Kecepatan Angin(M/S)	Rpm	Tegangan (V)	Arus (A)
	1	4,13	67,8	9,15	0,25
	2	3,69	59,8	8,56	0,19
	3	4,89	87,1	10,57	0,35
	4	4,27	71,8	10,02	0,29
	5	3,45	50,9	8,40	0,16
	6	5,18	95,5	11,85	0,39
	7	5,36	99,3	11,38	0,43
	8	4,50	77,9	10,19	0,31
	9	3,93	64,8	9,06	0,24
	10	3,25	44,3	8,97	0,12

Tabel 4. Variasi Bukaan *Fix Drag Reducing* 30°

Bukaan <i>Fix Drag Reducing</i> 30°					
Waktu Pengujian 22 April 2019 Pukul 10.00 – pukul 16.00	No	Kecepatan Angin(M/S)	Rpm	Tegangan (V)	Arus (A)
	1	4,22	75,9	9,47	0,27
	2	3,29	46,4	8,54	0,17
	3	3,98	70,7	9,43	0,26
	4	5,11	97,5	11,71	0,39
	5	4,66	86,5	10,78	0,34
	6	5,31	102,8	12,07	0,43
	7	4,98	95,1	11,59	0,38
	8	4,49	81,5	10,42	0,32
	9	3,51	54,8	9,07	0,20
	10	3,72	62,6	9,25	0,24

Tabel 5. Variasi Bukaannya *Fix Drag Reducing* 40°

Bukaannya <i>Fix Drag Reducing</i> 40°					
Waktu Pengujian 24 April 2019 Pukul 10.00 – pukul 16.00	No	Kecepatan Angin(M/S)	Rpm	Tegangan (V)	Arus (A)
	1	3,37	46,2	8,15	0,13
	2	3,56	50,5	8,24	0,16
	3	3,77	53,9	9,38	0,17
	4	4,62	77,8	10,29	0,28
	5	3,85	60,7	9,42	0,18
	6	5,09	88,1	10,42	0,32
	7	5,39	95,8	10,61	0,38
	8	4,51	74,8	10,05	0,25
	9	4,43	73,9	10,07	0,25
	10	4,16	67,9	9,54	0,21

Analisa Perhitungan

❖ Daya Angin

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 1 \times 3,25^3$$

$$P_w = 21,03 \text{ watt}$$

❖ TSR

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

$$\lambda = \frac{3,14 \times 1 \times 44,3}{60 \times 3,25}$$

$$\lambda = 0,71$$

❖ Daya Elektrik Genertor

$$P_g = V \times I$$

$$P_g = 8,97 \text{ volt} \times 0,12 \text{ ampere}$$

$$P_g = 1,08 \text{ watt}$$

❖ Efisiensi Overall

$$\eta = \frac{P_g}{P_w} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1,08}{21,03} \times 100 \%$$

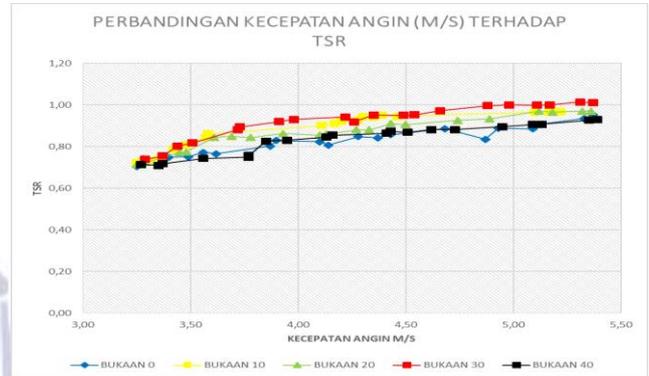
$$\eta = 5,12 \%$$

PEMBAHASAN



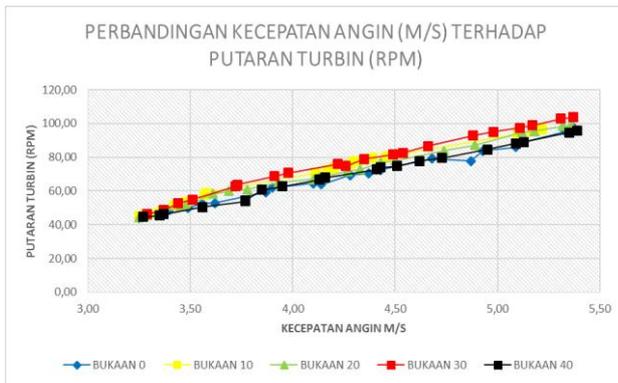
Gambar 4. Grafik daya angin

Berdasarkan gambar 4. kecepatan angin sebanding dengan daya yang dihasilkan angin. Jika kecepatan angin semakin besar maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Daya angin tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 95,91 watt pada kecepatan angin 5,39 m/s.



Gambar 5. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap TSR

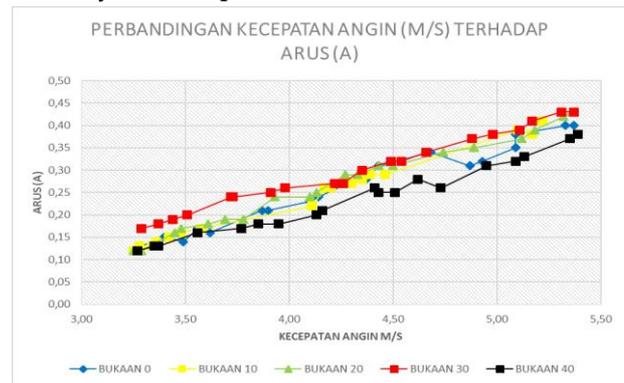
Berdasarkan gambar 5. diatas, perbandingan antara kecepatan angin dengan TSR nilai yang dicapai oleh turbin angin vertikal jenis Savonius tipe C satu tingkat dua *blade* dengan variasi bukaannya *fix drag reducing* pada kondisi angin di lapangan. Tanpa variasi bukaannya *fix drag reducing* sebesar 0,95 pada kecepatan angin 5,37 m/s. Sedangkan dengan variasi bukaannya *fix drag reducing* 10° sebesar 0,97 pada kecepatan angin 5,22 m/s. Pada variasi bukaannya *fix drag reducing* 20° sebesar 0,97 pada kecepatan angin 5,36 m/s. Pada variasi bukaannya *fix drag reducing* 30° mengalami kenaikan, sebesar 1,01 pada kecepatan angin 5,37 m/s. Pada variasi bukaannya *fix drag reducing* 40° mengalami penurunan, sebesar 0,93 pada kecepatan angin 5,39 m/s. Turbin angin savonius dengan variasi bukaannya *fix drag reducing* 30° memiliki nilai TSR tertinggi dikarenakan gaya *drag* yang diterima turbin angin savonius pada sudut *up wind* lebih kecil dibandingkan dengan variasi bukaannya *fix drag reducing* 10° dan variasi bukaannya *fix drag reducing* 20°, sedangkan pada variasi bukaannya *fix drag reducing* 40° angin yang diterima pada sudut *up wind* juga lebih kecil, tapi saat angin mendorong sudut *down wind* luas sapuan yang diterima sudut tersebut akan semakin kecil dikarenakan banyak angin yang meliwati sela-sela *drag* pada sudut *down wind*.



Gambar 6. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap putaran turbin (RPM)

Berdasarkan gambar 6. perbandingan antara kecepatan angin dengan putaran turbin (rpm), bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan putaran turbin (rpm). Variasi bukaan *fix drag reducing* menunjukkan hasil dari kemampuan terendah. Tanpa variasi bukaan *fix drag reducing* pada kecepatan angin 3,25m/s menghasilkan putaran 43,7 rpm. Sedangkan dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 10° pada kecepatan angin 3,25 m/s menghasilkan putaran sebesar 44,9 rpm. Variasi bukaan *fix drag reducing* 20° pada kecepatan angin 3,25 m/s menghasilkan putaran sebesar 44,3 rpm. Variasi bukaan *fix drag reducing* 30° pada kecepatan angin 3,29 m/s menghasilkan putaran sebesar 46,6 rpm. Variasi bukaan *fix drag reducing* 40° pada kecepatan angin 3,27 m/s menghasilkan putaran sebesar 44,6 rpm. Putaran tertinggi turbin angin tanpa variasi bukaan *fix drag reducing* pada kecepatan angin 5,37 m/s menghasilkan putaran 97,8 rpm. Sedangkan dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 10° pada kecepatan angin 5,22 m/s menghasilkan putaran 96,5 rpm. Variasi bukaan *fix drag reducing* 20° pada kecepatan angin 5,36 m/s menghasilkan putaran 99,3 rpm. Variasi bukaan *fix drag reducing* 30° pada kecepatan angin 5,37 m/s menghasilkan putaran 103,6 rpm. Variasi bukaan *fix drag reducing* 40° pada kecepatan angin 5,39 m/s menghasilkan putaran 95,8 rpm. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa turbin angin savonius tipe C dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 30° memiliki kemampuan yang lebih baik dan menghasilkan putaran tertinggi di setiap rata-rata kecepatan angin, ini dikarenakan saat angin mendorong sudu *down wind* masih banyak luas sapuan yang diterima sudu tersebut, dan gaya *drag* pada sudu *up wind* akan lebih kecil dibandingkan dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 10° dan variasi bukaan *fix drag reducing* 20°, sedangkan variasi bukaan *fix drag*

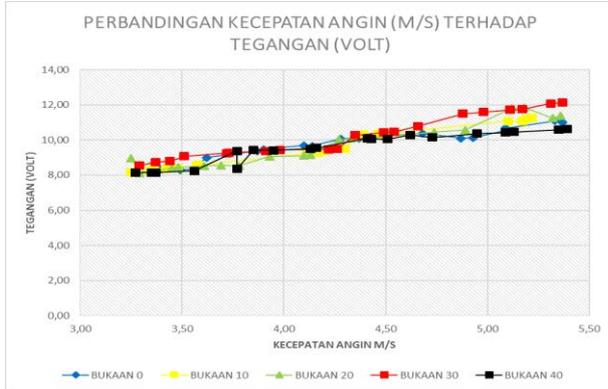
reducing 40° luas sapuan angin pada sudu *up wind* lebih kecil dan pada sudu *down wind* juga lebih kecil dikarenakan pada sudu tersebut banyak angin yang melewati sela-sela gaya *drag* pada sudu *down wind*, ini menyebabkan putaran turbin menurun.



Gambar 7. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap kuat arus generator

Berdasarkan gambar 7. besarnya kecepatan angin mempengaruhi putaran generator untuk menghasilkan arus listrik. Hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan kuat arus listrik yang dihasilkan generator. Dalam pengukuran arus listrik membutuhkan suatu beban, dalam penelitian ini digunakan lampu dengan beban 10w 12v. Jika nilai resistensi semakin besar maka kuat arus yang dihasilkan kecil begitu pula sebaliknya. Kuat arus yang dihasilkan oleh turbin angin savonius tanpa variasi bukaan *fix drag reducing* sebesar 0,40A pada kecepatan angin 5,37 m/s. Sedangkan dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 10° sebesar 0,41A pada kecepatan angin 5,22 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 20° sebesar 0,43A pada kecepatan angin 5,36 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 30° sebesar 0,43A pada kecepatan angin 5,37 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 40° sebesar 0,38A pada kecepatan angin 5,39 m/s. Dikarenakan putaran turbin angin terhadap generator semakin tinggi sehingga mempengaruhi nilai kuat arus yang dihasilkan generator. Dan dapat dilihat dari hasil variasi-variasi tersebut turbin angin savonius dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 30° menghasilkan putaran turbin terbaik yang mempengaruhi nilai kuat arus generator semakin besar, dikarenakan saat angin mendorong sudu *down wind* masih banyak luas sapuan yang diterima sudu tersebut dan gaya *drag* pada sudu *up wind* lebih kecil dibandingkan dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 10° dan variasi bukaan *fix drag*

reducing 20°, sedangkan variasi bukaan *fix drag* reducing 40° pada sudut *up wind* luas sapuan yang diterima semakin kecil, tapi saat angin mendorong sudut *down wind* juga semakin kecil karena banyak angin yang melewati sela-sela gaya *drag* pada sudut tersebut.



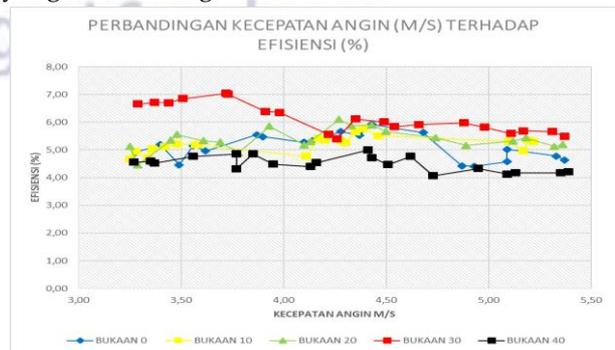
Gambar 8. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap tegangan generator

Berdasarkan gambar 8, besarnya kecepatan angin mempengaruhi putaran turbin angin terhadap putaran generator untuk menghasilkan tegangan listrik. Hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan tegangan listrik generator. Tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin savonius tanpa variasi bukaan *fix drag* reducing sebesar 11,00V pada kecepatan angin 5,37 m/s. Sedangkan dengan variasi bukaan *fix drag* reducing 10° sebesar 11,24V pada kecepatan angin 5,22 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag* reducing 20° sebesar 11,38V pada kecepatan angin 5,36 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag* reducing 30° sebesar 12,12V pada kecepatan angin 5,37 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag* reducing 40° sebesar 10,61V pada kecepatan angin 5,39 m/s. Tegangan tertinggi diperoleh pada variasi bukaan *fix drag* reducing 30° sebesar 12,12V pada kecepatan angin 5,37 m/s. Dikarenakan putaran turbin angin terhadap generator semakin tinggi sehingga mempengaruhi nilai tegangan listrik yang di hasilkan generator. Pada variasi bukaan *fix drag* reducing 30° memiliki putaran turbin angin terbaik dibandingkan dengan variasi bukaan lainnya, dikarenakan saat angin mendorong sudut *down wind* masih banyak luas sapuan yang diterima sudut tersebut, dan gaya *drag* pada sudut *up wind* lebih kecil.



Gambar 9. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap daya listrik generator

Berdasarkan gambar 9, besarnya daya yang dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan kecepatan angin. Daya generator dapat diperoleh dengan perkalian antara tegangan dengan kuat arus generator. Apabila kecepatan angin semakin tinggi maka daya yang dihasilkan oleh generator semakin besar. Daya generator yang dihasilkan oleh turbin angin savonius tanpa variasi bukaan *fix drag* reducing sebesar 4,40W pada kecepatan angin 5,37 m/s. Sedangkan dengan variasi bukaan *fix drag* reducing 10° sebesar 4,61W pada kecepatan angin 5,22 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag* reducing 20° sebesar 4,89W pada kecepatan angin 5,36 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag* reducing 30° sebesar 5,21W pada kecepatan angin 5,37 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag* reducing 40° sebesar 4,03W pada kecepatan angin 5,39 m/s. Daya generator turbin angin savonius tertinggi diperoleh pada variasi bukaan *fix drag* reducing 30° sebesar 5,21W pada kecepatan angin 5,37 m/s. Dikarenakan putaran turbin terhadap generator semakin tinggi sehingga mempengaruhi nilai arus dan tegangan yang dihasilkan generator.



Gambar 10. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi

Berdasarkan gambar 10, besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh generator cenderung tidak stabil dengan kecepatan angin. Efisiensi yang

dihasilkan oleh turbin angin savonius tanpa variasi bukaan *fix drag reducing* sebesar 5,93% pada kecepatan angin 4,43 m/s. Sedangkan dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 10° sebesar 5,76% pada kecepatan angin 4,39 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 20° sebesar 5,90% pada kecepatan angin 4,43 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 30° sebesar 7,04% pada kecepatan angin 3,72 m/s. Turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 40° sebesar 5,00% pada kecepatan angin 4,41 m/s. Efisiensi yang dihasilkan turbin angin di pengaruhi oleh perbandingan daya generator dengan daya turbin angin. Efisiensi tertinggi turbin angin pada variasi bukaan *fix drag reducing* 30° sebesar 7,04% pada kecepatan angin 3,72 m/s. Dikarenakan kecepatan angin antara 3,5 m/s sampai dengan 4 m/s cenderung lebih stabil dibandingkan kecepatan angin yang lainnya.

PENUTUP

Simpulan

Setelah dilakukan penelitian dan dilanjutkan dengan pengolahan data pada bab sebelumnya dapat diketahui daya elektrik generator dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin savonius tipe C satu tingkat dua *blade* dengan *fix drag reducing* pada *blade* dengan menggunakan variasi bukaan 10°, 20°, 30° dan 40°, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- ❖ Untuk kerja, Daya elektrik generator (Pg) tertinggi pada variasi bukaan *fix drag reducing* 30° sebesar 5,21W pada kecepatan angin 5,37 m/s dengan pembebanan lampu 10w12v.
- ❖ Efisiensi *overall* (η) turbin angin sumbu vertical jenis savonius tipe C satu tingkat dua *blade* pada kondisi angin di lapangan, hasil tertinggi diperoleh pada turbin angin dengan variasi bukaan *fix drag reducing* 30° sebesar 7,04% pada kecepatan angin 3,72 m/s.

Saran

- ❖ Untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan turbin angin savonius dua tingkat dengan variasi bukaan *fix drag reducing* lebih variatif dan penempatan lokasi yang mempunyai angin yang lebih setabil dan menggunakan material yang lebih ringan dan kuat dalam perancangan turbin angin supaya mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

- ❖ Penelitian selanjutnya diharapkan mampu mengembangkan generator turbin angin pada putaran rendah yang menghasilkan daya tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, Firman., Mara, I Made., Nuarsa, Made. 2013. "Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal" *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 3 No. 1
- Daryanto, Y. 2007. "Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu". Yogyakarta: BALAI PPTAGG - UPT-LAGG.
- Gulve, Piyush., Brave, Dr. S.B. 2014. "Design And Construction of Vertical Axis Wind Turbine". *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* Vol. 5.
- Hidayatulloh, Feri. 2107. "Pengaruh Perubahan Sudut Lengkung Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe S Dua Tingkat Pada Kondisi Angin Real". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Lake, Elfridus Bruno, dkk. 2015. "Pengaruh Kecepatan Angin dan Sudut Blade terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Duabelas Blade". *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, Vol. 02, No. 01.
- Mahendra, Bayu., Soenoko, Rudy., Sutikno, Djoko. 2013. "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L". Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
- Michael Suseno. 2011. Turbin Angin : *Klasifikasi Turbin Angin*. (Online) (<http://michael-suseno.blogspot.co.id/2011/09/turbin-angin.html?m=1>, diakses pada 12 November 2017).
- Nahkoda, Yusuf Ismail., Saleh, Chorul. 2015. "Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen". *Industri Inovatif* Vol.5, No.2.
- Setiawan, Intoyo Budi. 2016. "Pengaruh Perubahan Sudut Pitch Pada Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Darrieus Tipe-H Dua Tingkat Dengan Pengarah Angin Pada Kondisi Angin Real". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

- Siregar, Indra Herlamba dkk. 2014. *"Pengembangan prototype turbin angin sumbu vertikal untuk pembangkit listrik skala rumah tangga berbasis kinerja mode 1 terowongan angin"*. Jurnal Teknik Mesin (online), vol .1, No,1, (<http://www.unesa.ac.id> diakses 5 Mei 2018)
- Syahrul. 2008. *"Prospek Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Di Daerah Pedesaan"*. Media elektrik, volume 3 nomor 2.
- Tim Penyusun. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi Program Sarjana Strata 1 Universitas Negeri Surabaya*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

