

STUDI EKSPERIMENTAL MODEL TURBIN ANGIN SAVONIUS SATU TINGKAT DENGAN PENAMBAHAN FIX DRAG REDUCING

Andi Yasa

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: andiyasa@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi akan terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri. Sampai saat ini peran sumber daya energi fosil seperti minyak bumi dan batubara yang merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui masih sangat dominan. Perlu adanya pemanfaatan sumber daya energi lain yang baru dan terbarukan. Angin merupakan salah satu sumber daya energi terbarukan yang secara cepat dapat diproduksi kembali oleh alam. Turbin angin merupakan alat yang dapat mengkonversi energi angin menjadi energi gerak dan menghasilkan listrik. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen, pembuatan model turbin angin sumbu vertikal jenis *savonius* tipe-S satu tingkat dengan menambahkan variasi *fix drag reducing*. Variasi *fix drag reducing* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pada variasi sudut bukaan 0° , 15° , 30° , 45° , 60° dan 90° . Pengujian ini dilakukan pada terowongan angin yang telah dikondisikan. Uji eksperimen ini untuk mengetahui besarnya daya dan efisiensi setelah dilakukan variasi penambahan *fix drag reducing* terhadap prestasi kerja turbin angin *savonius* tipe-S satu tingkat. Hasil penelitian ini diketahui bahwa model turbin angin *savonius* satu tingkat dengan penambahan variasi sudut bukaan *fix drag reducing* sebesar 15° menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi dibandingkan variasi sudut bukaan 0° , 30° , 45° , 60° dan 90° dengan beban 2000 gram mampu menghasilkan daya sebesar 1,72 Watt dan nilai efisiensi sebesar 15,78% pada kecepatan angin 6 m/s.

Kata kunci: *Savonius*, vertikal, *fix drag reducing*.

Abstract

Energy demand will continue to increase along with population growth rate, economic growth and energy consumption pattern itself. Until now the role of fossil energy resources such as petroleum and coal which is a source of energy that can not be renewed is still very dominant. There is a need to utilize other new and renewable energy resources. Wind is one of the renewable energy resources that can quickly be reproduced by nature. Wind turbine is a tool that can convert wind energy into motion energy and generate electricity. This type of research is experimental research, making model of vertical axis wind turbine type *savonius* type-S one level by adding variation of *fix drag reducing*. Fixed drag reducing variations used in this study are variation of aperture angle 0° , 15° , 30° , 45° , 60° and 90° . This test is performed on a conditioned wind tunnel. This experimental test to determine the amount of power and efficiency after the variation of the addition of *fix drag reducing* to the work performance of wind turbine *savonius* type-S one level. The results of this study note that the wind turbine *savonius* model one level with the addition of variation of the opening angle *fix drag reducing* of 15° produces power and the highest efficiency compared to the variation of aperture angle 0° , 30° , 45° , 60° and 90° with a load of 2000 grams capable of generating power of 1.72 Watt and an efficiency value of 15.78% at a wind speed of 6 m/s.

Keywords: *Savonius*, vertical, *fix drag reducing*.

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara yang kaya akan sumber daya energi fosil dan energi baru terbarukan. Peran sumber daya energi fosil seperti minyak bumi dan batubara yang merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui masih sangat dominan dan belum tergantikan dalam berbagai aspek

kehidupan. Kebutuhan energi Indonesia akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, laju pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri.

Menurut Dewan Energi Nasional (2016) kebutuhan akan energi primer di Indonesia akan meningkat 6,4% per tahun hingga tahun 2025 jika dibandingkan dengan konsumsi energi pada tahun 2015 sebesar 128,8 *Million*

Ton of Oil Equivalent (MTOE) menjadi 238,8 MTOE atau meningkat sekitar 1,8 kali lipatnya pada tahun 2025. Namun sebagian besar (82%) dari kebutuhan energi primer tersebut masih dipenuhi oleh energi fosil dan diproyeksikan energi fosil masih akan tetap dominan (75%) sampai dengan tahun 2035. Sedangkan hal tersebut berbanding terbalik dengan jumlah energi fosil yang sifatnya terbatas dan akan terus menipis jumlahnya. Selama ini eksplorasi sumberdaya energi justru lebih banyak difokuskan pada energi fosil yang bersifat *unrenewable* sedangkan energi yang bersifat *renewable* (terbarukan) relatif belum banyak dimanfaatkan.

Dampak bagi lingkungan, pemakaian energi fosil dapat mencemari udara dan pemanasan global yang pada akhirnya akan menyebabkan rusaknya lingkungan. Penggunaan energi fosil sendiri dapat mengakibatkan perubahan iklim global yang disebabkan oleh meningkatnya emisi gas rumah kaca sehingga akan memicu meningkatnya suhu permukaan bumi dan dapat menciptakan lingkungan yang kurang kondusif.

Untuk memenuhi kebutuhan energi, mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi ketergantungan akan sumber daya energi fosil maka perlu ditingkatkan upaya pemanfaatan EBT (Energi Baru Terbarukan). Salah satu sumber daya EBT yang potensial untuk dikembangkan adalah angin. Merujuk PP No. 79 tahun 2014 yang menjelaskan energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dikembangkan saat ini. Energi angin didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Beberapa kelebihan dari energi terbarukan seperti angin adalah sumbernya relatif mudah diperoleh, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar minyak.

Indonesia secara geografis dilewati garis khatulistiwa dan beriklim tropis. Potensi energi angin di Indonesia berdasarkan data kecepatan angin di berbagai wilayah, sumberdaya energi angin Indonesia berkisar antara 2,5–5,5 *m/s* pada ketinggian 24 meter di atas permukaan tanah. Dengan kecepatan tersebut sumberdaya energi angin Indonesia termasuk dalam kategori kecepatan angin kelas rendah hingga menengah sehingga potensial untuk pengembangan dengan skema pembangkit skala kecil tersebar dengan kapasitas maksimum sekitar 100kW per turbin (ESDM, 2010). Dengan demikian energi baru dan terbarukan angin dapat dijadikan sebagai sumber energi pembangkit listrik yang berkelanjutan di Indonesia.

Salah satu alat yang dapat digunakan sebagai energi terbarukan dengan memanfaatkan angin adalah turbin angin. Turbin angin *savonius* merupakan salah satu jenis

turbin angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dan merupakan salah satu jenis turbin angin yang tertua dari turbin angin jenis *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) (Akwa, 2012). Turbin angin *savonius* mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis dalam bentuk gaya dorong (*drag force*).

Banyak kelebihan yang dimiliki turbin angin jenis ini yaitu mampu menerima angin dari segala arah, mudah dan murah dalam pembuatannya, dan dapat berputar pada kecepatan yang cukup rendah (Mohamed, 2010). Sehingga cocok dengan karakteristik angin Indonesia yang selalu berubah-ubah arah secara tidak teratur dengan kecepatan angin yang terbilang relatif kecil, yaitu 2,5–5,5 *m/s*. Selain itu *noise* yang dihasilkan oleh turbin angin *Vertical Axis* lebih kecil daripada *noise* yang dihasilkan oleh turbin angin *Horizontal Axis*.

Hal inilah yang menjadikan peneliti mempertimbangkan untuk memilih turbin angin jenis *Vertical Axis* sebagai analisa prestasi turbin angin pada kondisi tersebut. Pada penelitian sebelumnya tentang turbin angin *savonius* yang dilakukan oleh Moch. Arif Afifuddin (2010), mengenai “*Studi Experimental Performansi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) dengan Variasi Desain Turbine*”. Pada penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa semakin panjang lengan turbin maka semakin kecil putarannya namun nilai torsinya menjadi semakin besar.

Penelitian tentang turbin angin *savonius* dilakukan oleh Robby Ilham Fitrandi (2014) dengan judul “*Karakteristik Turbin Angin Savonius 2 dan 3 Blade Dengan Menggunakan Bantuan Guide Vane*”. Hasil penelitian menunjukkan *Coefficient of Power* (C_p) tertinggi yang dapat dihasilkan turbin angin *savonius* adalah dengan jumlah *blade* 2 bertipe-S dan pada satu tingkat.

Hasil jejak penelitian diatas pada dasarnya dilakukan demi mencapai prestasi kerja maksimal yang dapat diperoleh oleh turbin angin tipe *savonius* secara efisien sehingga dapat menjadi langkahpenting dalam peningkatan performansi turbin angin *savonius* (Altan, 2009).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh model turbin angin *savonius* satu tingkat dengan penambahan variasi sudut bukaan *fix drag reducing* sebesar 0°, 15°, 30°, 45°, 60° dan 90°.

Manfaat penelitian ini adalah memberikan wawasan tentang pengaplikasian model turbin angin *savonius* satu tingkat dengan penambahan *fix drag reducing*, dan dapat digunakan sebagai acuan, perbandingan dan referensi pada penelitian selanjutnya.

METODE

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi perancangan model turbin angin vertikal *savonius* tipe-S (dua *blade*) satu tingkat dengan variasi penambahan *fix drag reducing*, pembuatan turbin angin vertikal, *set up* alat, dan pengambilan data pada terowongan penelitian.

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diobservasi. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi sudut bukaan terhadap 3 buah *fix drag reducing* sebesar 0° , 15° , 30° , 45° , 60° dan 90° .



Gambar 1. Variasi Bukaan Sudut *Fix Drag Reducing*

- Variabel Terikat

Variabel terikat adalah faktor-faktor yang diobservasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah daya dan efisiensi turbin angin.

- Variabel Kontrol

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 model turbin angin, beban turbin angin mulai dari 100 gram, 200 gram sampai dengan berhenti. Dan kecepatan angin mulai dari 3 m/s , 3.5 m/s , sampai dengan 6 m/s .

Alat dan Instrumen Penelitian



Gambar 2. Rangkaian Terowongan Penelitian



Gambar 3. Model Turbin Angin dalam Penelitian

Spesifikasi Turbin Angin:

- Savonius Tipe-S.
- Satu Tingkat.
- Dua *Blade*.
- Diameter Turbin Angin 300 mm.
- Tinggi Turbin Angin 300 mm.
- Diameter Poros Turbin 15 mm.
- *Fix Drag Reducing* 30 x 30 mm.
- Jumlah 3 Buah tiap *Blade*.
- Variasi Sudut Bukaan 0° , 15° , 30° , 45° , 60° dan 90° .
- Bahan *Blade* Plat Seng 0,3 mm.
- Bahan *End Plate* Akrilik 6 mm/2.
- Bahan Poros Plastik Padat.

Teknik Pengumpulan Data

Pengambilan data merupakan suatu proses yang penting dalam mencapai tujuan penelitian dimana parameter-parameter yang diukur adalah daya yang dihasilkan dan bagaimana efisiensinya. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan teknik eksperimen, yaitu mengukur dan menguji obyek yang diteliti dan mencatat data-data yang diperlukan peneliti. Data-data yang diperlukan tersebut dicatat pada tiap tingkat bukaan sudut *fix drag reducing*, kecepatan angin (m/s), beban poros dan pegas (*gram*) sehingga akan diperoleh putaran poros turbin (*RPM*) yang selanjutnya akan diolah dengan dasar perhitungan rumus yang ada dan akhirnya akan diperoleh data besarnya daya dan efisiensi.

Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan untuk menganalisa data pada penelitian ini adalah statistika deskriptif, sehingga analisis data dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari eksperimen dimana hasilnya berupa data kuantitatif dalam bentuk tabel dan grafik. Dan selanjutnya hasil penelitian dari data-data tersebut dituangkan menjadi kalimat yang mudah untuk dipahami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Angin

Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap daya yang akan dihasilkan oleh turbin angin. Sebab angin mengandung energi berupa daya angin. Hal ini dapat kita lihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Daya Angin (P_w) vs Kecepatan Angin (V)

Kecepatan Angin (m/s)	P_w (watt)
3	1,364445
3,5	2,166688
4	3,234240
4,5	4,605002
5	6,316875
5,5	8,407761
6	10,915560

Dimana data menunjukkan bahwa daya angin yang dihasilkan pada kecepatan angin $6 m/s$ lebih besar jika dibandingkan dengan kecepatan angin dibawahnya. Maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin $6 m/s$ pada penelitian ini mampu menghasilkan daya dan efisiensi terbaik. Berikut adalah hasil pengambilan data terbaik pada kecepatan angin $6 m/s$ terjadi pada variasi sudut bukaan *fix drag reducing* sebesar 15° .

Tabel 2. Data Penelitian Terbaik pada Kecepatan Angin $6 m/s$.

No.	Besar Sudut Bukaan <i>Fix Drag Reducing</i> (Derajat)	Kecepatan Angin (m/s)	Beban Poros (gram)	Beban Pegas (gram)	Putaran Turbin (rpm)
1	15	6	100	40	391,3
2	15	6	200	90	380,4
3	15	6	300	145	372,3
4	15	6	400	200	364,4
5	15	6	500	255	359,5
6	15	6	600	310	353,1
7	15	6	700	360	347,8
8	15	6	800	410	341,8
9	15	6	900	475	334,3
10	15	6	1000	530	327,6
11	15	6	1100	590	319,7
12	15	6	1200	650	313,1
13	15	6	1300	715	310,5
14	15	6	1400	780	306,7
15	15	6	1500	845	300,4
16	15	6	1600	900	294,9
17	15	6	1700	965	288,6
18	15	6	1800	1030	281,3

No.	Besar Sudut Bukaan <i>Fix Drag Reducing</i> (Derajat)	Kecepatan Angin (m/s)	Beban Poros (gram)	Beban Pegas (gram)	Putaran Turbin (rpm)
19	15	6	1900	1095	273,8
20	15	6	2000	1160	266,6
21	15	6	2100	1210	241,6
22	15	6	2200	1260	217,4
23	15	6	2300	1320	200,1
24	15	6	2400	1395	188,3
25	15	6	2500	1460	168,7
26	15	6	2600	1520	150,8
27	15	6	2700	1575	127,0
28	15	6	2800	1630	111,3
29	15	6	2900	1690	55,3
30	15	6	3000	1760	0,0

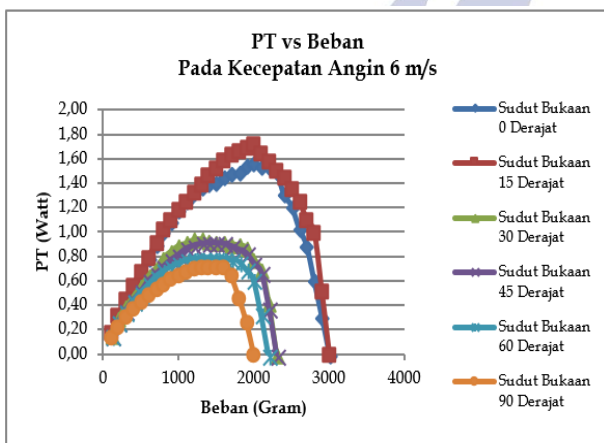
Hasil Perhitungan Daya Turbin Angin vs Beban akan disajikan dalam bentuk Tabel dan Grafik, sebagai berikut:

Tabel 3. Daya Turbin Angin (P_T) pada Kecepatan Angin $6 m/s$.

Kecepatan Angin $6 m/s$						
Variasi Beban	Besar Sudut Bukaan <i>Fix Drag Reducing</i>					
	0°	15°	30°	45°	60°	90°
100	0,174	0,181	0,154	0,151	0,145	0,134
200	0,314	0,322	0,286	0,265	0,255	0,225
300	0,437	0,444	0,387	0,357	0,347	0,309
400	0,555	0,561	0,466	0,443	0,433	0,377
500	0,653	0,678	0,553	0,513	0,505	0,434
600	0,784	0,788	0,639	0,599	0,566	0,483
700	0,900	0,910	0,702	0,655	0,635	0,533
800	1,001	1,025	0,788	0,717	0,680	0,569
900	1,084	1,093	0,841	0,772	0,713	0,621
1000	1,177	1,185	0,888	0,814	0,744	0,647
1100	1,247	1,254	0,907	0,864	0,768	0,676
1200	1,317	1,325	0,936	0,889	0,782	0,696
1300	1,362	1,397	0,942	0,906	0,781	0,718
1400	1,388	1,463	0,923	0,910	0,790	0,716
1500	1,408	1,514	0,913	0,912	0,783	0,710
1600	1,456	1,588	0,912	0,906	0,786	0,716
1700	1,472	1,632	0,904	0,885	0,767	0,639
1800	1,493	1,666	0,892	0,858	0,761	0,465
1900	1,544	1,696	0,875	0,827	0,694	0,268
2000	1,558	1,723	0,777	0,744	0,611	0,000

Kecepatan Angin 6 m/s						
Variasi Beban	Besarnya Sudut Bukaannya <i>Fix Drag Reducing</i>					
	0°	15°	30°	45°	60°	90°
2100	1,538	1,654	0,692	0,670	0,333	
2200	1,538	1,572	0,414	0,375	0,000	
2300	1,495	1,509	0,000	0,000		
2400	1,307	1,456				
2500	1,215	1,350				
2600	1,029	1,253				
2700	0,887	1,099				
2800	0,597	1,002				
2900	0,308	0,515				
3000	0,000	0,000				

Kecepatan Angin 6 m/s						
Variasi Beban	Besarnya Sudut Bukaannya <i>Fix Drag Reducing</i>					
	0°	15°	30°	45°	60°	90°
1000	10,783	10,852	8,132	7,453	6,819	5,931
1100	11,423	11,491	8,310	7,918	7,034	6,194
1200	12,067	12,137	8,570	8,144	7,163	6,378
1300	12,480	12,802	8,628	8,300	7,158	6,582
1400	12,716	13,402	8,457	8,334	7,239	6,562
1500	12,902	13,867	8,368	8,359	7,170	6,500
1600	13,340	14,549	8,357	8,298	7,205	6,560
1700	13,483	14,950	8,282	8,112	7,027	5,850
1800	13,676	15,265	8,171	7,856	6,976	4,260
1900	14,149	15,534	8,014	7,576	6,356	2,455
2000	14,271	15,783	7,123	6,819	5,601	0,000
2100	14,089	15,154	6,337	6,136	3,047	
2200	14,093	14,402	3,794	3,435	0,000	
2300	13,695	13,820	0,000	0,000		
2400	11,970	13,337				
2500	11,131	12,365				
2600	9,430	11,478				
2700	8,129	10,069				
2800	5,466	9,178				
2900	2,823	4,716				
3000	0,000	0,000				

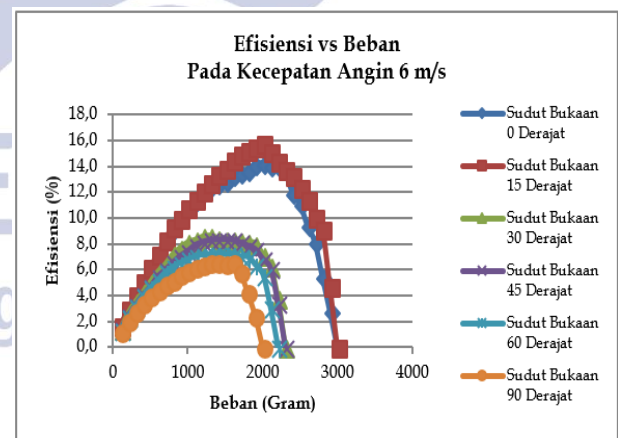


Gambar 4. Daya Turbin Angin (P_T) vs Beban pada Kecepatan Angin 6 m/s.

Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin (%) vs Beban akan disajikan dalam bentuk Tabel dan Grafik, sebagai berikut:

Tabel 4. Efisiensi Turbin Angin (%) pada Kecepatan Angin 6 m/s.

Kecepatan Angin 6 m/s						
Variasi Beban	Besarnya Sudut Bukaannya <i>Fix Drag Reducing</i>					
	0°	15°	30°	45°	60°	90°
100	1,592	1,655	1,414	1,384	1,329	1,225
200	2,878	2,949	2,624	2,431	2,340	2,061
300	4,006	4,067	3,543	3,275	3,183	2,832
400	5,086	5,136	4,270	4,055	3,968	3,451
500	5,979	6,207	5,063	4,695	4,629	3,978
600	7,181	7,217	5,855	5,488	5,187	4,423
700	8,245	8,334	6,434	6,000	5,818	4,886
800	9,175	9,395	7,218	6,568	6,231	5,214
900	9,934	10,013	7,701	7,072	6,528	5,693



Gambar 5. Efisiensi Turbin Angin (%) vs Beban pada Kecepatan Angin 6 m/s.

Daya Turbin Angin

Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin angin. Hal ini dapat kita lihat pada tabel 1 dimana data menunjukkan bahwa daya angin yang dihasilkan pada kecepatan angin 6 m/s lebih besar jika dibandingkan dengan kecepatan angin dibawahnya. Dan dari tabel 3 diatas maka dapat kita ketahui bahwa

daya terbesar yang dapat dihasilkan pada penelitian Turbin Angin *Savonius* Satu Tingkat dengan Penambahan *Fix Drag Reducing* adalah sebesar 1,72 *Watt* yang terjadi pada sudut bukaan 15° dengan beban 2000 *gram*.

Efisiensi Turbin Angin

Efisien daya atau *coefficient off power* (C_p) merupakan perbandingan antara daya turbin angin (P_T) dengan daya angin (P_w) yang diekstrak oleh turbin. Sama halnya dengan daya, efisiensi daya yang dihasilkan turbin angin juga dipengaruhi oleh besarnya daya angin yang berhembus (tabel 1). Dari tabel 4 diatas maka dapat kita ketahui bahwa efisiensi terbaik yang dapat dihasilkan pada penelitian Turbin Angin *Savonius* Satu Tingkat dengan Penambahan *Fix Drag Reducing* adalah sebesar 15,78% yang terjadi pada sudut bukaan 15° dengan beban 2000 *gram*.

Pengaruh Penambahan Variasi Sudut Bukaan *Fix Drag Reducing* Terhadap Turbin Angin

Fix drag reducing merupakan upaya pengurangan gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda. Prinsip kerja *fix drag reducing* dapat diterapkan pada turbin angin sumbu vertikal yang memiliki gaya hambat (*drag*) yang tinggi. Karena setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat akan memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan *blade* tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.

Dalam kasus penelitian turbin angin *savonius* satu tingkat tipe-S kali ini, *fix drag reducing* berfungsi untuk mengurangi gaya hambat yang menerpa pada permukaan cembung (permukaan yang berlawanan dengan arah putar) turbin angin. Sehingga dapat meringankan gaya hambat yang terjadi pada permukaan cembung tersebut namun dengan konsekuensi akan berpotensi mengurangi gaya dorong yang akan diterima pada permukaan cekung (permukaan yang dibutuhkan untuk menerima daya angin sehingga dapat memutar turbin angin). Hal ini sesuai dengan prinsip kerja rotor *savonius* yang telah dijelaskan pada gambar 2.11.

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah diperoleh dari masing-masing variasi besar sudut bukaan *fix drag reducing* maka dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Penambahan variasi *fix drag reducing* dengan sudut bukaan 15° pada penelitian ini memiliki pengaruh yang terbaik jika dibandingkan dengan besar sudut bukaan lainnya, yaitu: 30°, 45°, 60° dan 90°. Bahkan lebih baik jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan penambahan variasi *fix drag reducing* yang dalam hal ini diwakilkan dengan adanya sudut bukaan 0° yang juga dijadikan sebagai parameter keberhasilan dalam penelitian ini. Hal tersebut dipengaruhi dengan penambahan variasi *fix drag reducing* pada permukaan cembung yang berperan mengurangi gaya hambat yang terjadi pada permukaan tersebut (gambar 4.3) sehingga menjadikan turbin angin dapat berputar lebih cepat.

Dan adanya variasi *fix drag reducing* dengan besar sudut bukaan 15° pada permukaan cekung yang berperan menerima daya angin untuk memutar turbin tidak berpengaruh besar karena luas permukaan cekung tidak berkurang banyak (gambar 4.3) sehingga tidak terjadi *loss energy* yang berarti.

- Jika sudut bukaan *fix drag reducing* terlalu besar, maka akan berdampak pada penurunan kecepatan putaran turbin angin. Hal tersebut disebabkan oleh berkurangnya luas permukaan cekung yang seharusnya bisa sebanyak mungkin menerima daya angin yang datang dan menjadikannya gaya dorong untuk dapat memutar turbin angin dengan maksimal. Penurunan kecepatan putaran ini terjadi pada variasi sudut bukaan 30°, 45°, 60° dan 90°

PENUTUP

Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Daya tertinggi turbin angin *savonius* satu tingkat dengan penambahan *fix drag reducing* diperoleh pada variasi sudut bukaan 15° sebesar 1,72 *watt* pada kecepatan angin 6 *m/s* dengan beban 2000 *gram*.
- Efisiensi (η) Turbin angin terbesar terjadi pada variasi sudut bukaan 15° sebesar 15,78% pada kecepatan angin 6 *m/s* dengan beban 2000 *gram*.

Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka penulis menyampaikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan:

- Menggunakan variasi *fix drag reducing* dengan ukuran luasan yang lebih kecil serta besar sudut bukaan yang lebih rendah.
- Menggunakan model *blade* yang berbeda agar dapat diketahui model terbaik yang sesuai jika dipasangkan dengan variasi *fix drag reducing*.
- Mengembangkan turbin angin dengan variasi sudut bukaan *fix drag reducing* untuk diuji pada turbin angin skala yang lebih besar ditempat terbuka dengan penggerak angin alami.

DAFTAR PUSTAKA

- Abid, M. dkk. 2015. *Design, Development and Testing of a Combined Savonius and Darrieus Vertical Axis Wind Turbine*. Pakistan: Faculty of Electrical Engineering, Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering Sciences and Technology.
- Afifuddin, Moch. Arif. 2010. *Studi Experimental Performansi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) dengan Variasi Desain Turbine*. Surabaya: Teknik Fisika-FTI-ITS.

- Ajao, K.R., and M.R, Mahamood. 2009. "Wind Energy Conversion System: The Past, The Present And The Prospect". *Journal of American Science*. Vol. 5: pp 17-22.
- Akwa, J.V. dkk. 2012. "A Review on The Performance of Savonius Wind Turbines". *Renewable and Sustainable Energy Riviews*. Vol. 16: pp 3054-3064.
- Altan, B.D., and Atilgan, M. 2009. "The Use of a Curtain Design to Increase The Performance Level of a Savonius Wind Rotors". *Renewable Energy*. Vol. 35: pp 821-829.
- Arsad, Agus Muhamad., dan Hartono, Firman. 2009. "Pembuatan Kode Desain dan Analisi Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H". *Jurnal Teknologi Dirgantara*. Vol. 7: pp 93-100.
- Dewan Energi Nasional. 2010. *Indonesian Energy Outlook (IEO)*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Dewan Energi Nasional. 2014. *Indonesian Energy Outlook (IEO)*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Dewan Energi Nasional. 2016. *Indonesian Energy Outlook (IEO)*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Dewi, Marizka Lustia. 2010. *Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin*. Surakarta: MIPA-Universitas Sebelas Maret.
- Fiedler, Andrzej J., and Tullis, Stephen. 2009. "Blade Offset and Pitch Effects on a High Solidity Vertical Axis Wind Turbine". *Wind Engineering*. Vol. 33: pp 237-246.
- Fitrandi, Robby Ilham. 2014. *Karakteristik Turbin Angin Savonius 2 dan 3 Blade Dengan Menggunakan Bantuan Guide Vane*. Surabaya: Teknik-Universitas Negeri Surabaya.
- Hau, Erich. 2013. *Wind Turbine: Fundamental, Technologies, Application, Economics*. Three Edition. Berlin: Springer.
- Hidayatulloh, Feri. 2017. "Pengaruh Perubahan Sudut Lengkung Blade Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe S Dua Tingkat Pada Kondisi Angin Real". Surabaya: Teknik-Universitas Negeri Surabaya.
- Mahmoud, N.H. dkk. 2012. *An Experimental Study on Improvement of Savonius Rotor Performance*. Mesir:Engineering-Alexandria University.
- Mathew, Sathyajith. 2006. *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Berlin: Springer.
- Mohamed, M.H. dkk. 2010. "Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade". *Renewable Energy*. Vol. 35: pp 2618-2626.
- Rathod, Parth. dkk. 2016. "A Review on Combined Vertical Axis Wind Turbine". *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology (IJIRSET)*. Vol. 5: pp 5748-5754.
- Renewable Energy Policy Network for The 21st Century (REN21). 2015. *Renewables Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.
- Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Pemerintah No.79 tentang Kebijakan Energi Nasional Tahun 2014*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Siregar, Indra Herlamba. 2007. *Mesin Konversi Energi*. Surabaya: Unipress.
- Siregar, Indra Herlamba. 2013. "Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H Dua Tingkat Dengan Bilah Profile Modified NACA 0018 Dengan dan Tanpa Wind Deflector." *Jurnal Teknik Mesin OTOPRO*. Vol. 8: pp 126-138.
- Siregar, Indra Herlamba., and Aris Ansori. 2016. "Performance of Combined Vertical Axis Wind Turbine blade between airfoil NACA 0018 with Curve Blade with and without Guide Vane". *International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER)*. Vol. 7: pp 863-867.
- Tim. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.