

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JARAK CELAH BLADE PENGANGGU DENGAN BLADE UTAMA TERHADAP KINERJA SAVONIUS

Aris Rahmanto

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

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

Indra Herlamba Siregar

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 jarak celah blade pengganggu. Variasi jarak celah blade pengganggu yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pada variasi jarak celah 0cm, 2cm, 4cm, dan 6cm. Pengujian ini dilakukan pada terowongan angin yang telah dikondisikan. Uji eksperimen ini untuk mengetahui besarnya daya dan efisiensi setelah dilakukan variasi penambahan blade pengganggu terhadap prestasi kerja turbin angin savonius tipe-S satu tingkat. Hasil penelitian ini diketahui bahwa model turbin angin savonius satu tingkat dengan penambahan variasi jarak celah blade pengganggu sebesar 6cm menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi dibandingkan jarak celah pengganggu 0cm, 2cm, 4cm dengan beban 4000 gram mampu menghasilkan daya sebesar 3,03 Watt dan nilai efisiensi sebesar 20,4% pada kecepatan angin 6 m/s.

Kata kunci : Savonius, vertical, blade pengganggu

Abstract

Energy needs will continue to increase along with the population growth, economic development and energy consumption patterns themselves. Until now the role of fossil energy resources such as petroleum and coal which are non-renewable sources of energy is still very dominant. It is necessary to use other new and renewable energy resources. Wind is one of the renewable energy resources that can be quickly reproduced by nature. Wind turbines are devices that can convert wind energy into motion energy and produce electricity. This type of research is an experimental study, making a single-level savonius type-S type vertical wind turbine model by adding interfering variation of gap blade. The variation of the confounding gap blade used in this study is in the variation of the gap distance of 0 cm, 2 cm, 4 cm, and 6 cm. This test was carried out in a conditioned wind tunnel. This experimental test was to determine the magnitude and efficiency after variations in the addition of disruptive blades to the performance of one-level Savonius S-type wind turbines. The results of this study show that the savonius one-level wind turbine model with the addition of confounding blade gap distance of 6cm produces the highest power and efficiency compared to the gap gap 0cm, 2cm, 4cm with a load of 4000 grams capable of producing power of 3.03 Watts and an efficiency value of 20.4% at wind speeds of 6 m / s.

Keywords: savonious, vertical, gap blade

PENDAHULUAN

Jumlah penduduk selalu bertambah sehingga kepadatan populasi terus meningkat. Hal ini akan berpengaruh pada daya dukung lingkungan. Daya dukung lingkungan yang terbatas menyebabkan kelangkaan sumber daya alam terjadi pencemaran, dan timbul persaingan untuk mendapatkan sumber daya alam. Selain itu pertumbuhan penduduk yang tinggi tanpa diikuti pertumbuhan ekonomi yang seimbang sering kali hanya menghasilkan sumber daya manusia yang berkualitas rendah.

Masalah kependudukan dan kerusakan lingkungan hidup merupakan dua permasalahan yang kini sedang dihadapi bangsa Indonesia, pertumbuhan penduduk yang cepat meningkatkan permintaan terhadap sumber daya alam, pada saat yang sama meningkatnya konsumsi yang disebabkan oleh membengkaknya jumlah penduduk yang pada akhirnya akan berpengaruh pada semakin berkurangnya sumber daya alam.

Kebutuhan energi di Indonesia khususnya di dunia pada umumnya terus meningkat karena pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi, salah satu sumber pemasok listrik PLTA bersama pembangkit listrik tenaga uap PLTU dan pembangkit listrik tenaga gas PLTG memegang penting untuk persediaan listrik terutama Jawa, Madura, dan Bali.

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.

Indonesia belum seluruhnya tercukupi terlebih pada daerah yang terpencil. Lebih dari 86 % dari energi dunia saat ini berasal dari bahan bakar fosil sementara itu permintaan kebutuhan energi dunia semakin hari semakin bertambah secara pesat maka dari itu banyak ahli banyak ahli mencari energi alternatif yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik.

Menurut Dewan Energi Nasional (2010) 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 100 *kW* per turbin.

Dalam kehidupan sehari – hari manusia pasti membutuhkan energi, selain berdasarkan sifat alamnya sumber energi juga di kategorikan berdasarkan ketersediaan energi terbarukan dan energi tidak terbarukan yang sering di gunakan dalam kehidupan manusia untuk memenuhi kebutuhan contoh:

- Energi terbarukan merupakan sumber energi alam yang dapat langsung di manfaatkan dengan bebas ketersediaan energi terbarukan ini tak terbatas dan bisa dimanfaatkan secara terus menerus. Contoh dari energi terbarukan : matahari,air, panas bumi,udara,tumbuhan.
- Sumber energi tak terbarukan akan habis pada beberapa tahun yang akan datang. Diprediksi tidak lebih dari 50 tahun lagi energi fosil di dunia akan habis. Selain karena akan habis, energi fosil juga berdampak negatif terhadap lingkungan. Emisi gas rumah kaca dari pembakaran energi fosil berdampak pada pemanasan global yang menyebabkan perubahan iklim. Karena itulah energi pengganti fosil sangat diperlukan untuk kebutuhan energi di masa yang akan. Contoh dari sumber energi tak terbarukan adalah : minyak,gas,batubara.

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 di hasilkan oleh turbin angin *Horizontal Axis*.

Hal inilah menjadikan peneliti mempertimbangkan untuk memilih turbin angin jenis *Vertical Axis* sebagai analisa prestasi turbin angin pada kondisi tersebut. Pada penelitian sebelumnya di lakukan oleh Mohanad (2017) mengenai “ Studi Eksperimental Peningkatan Kinerja Savonius Rotor Dengan Belahan Multiple “ dari hasil penelitian dijelaskan bahwa hasil terbaik dari model turbin savonius (tinggi blade 600mm) konfigurasi 2 blade dengan 2 blade pengganggu dengan jarak 20mm di setiap blade memiliki hasil torsi rata - rata lebih baik dari model savonius 2 blade biasa. Nilai torsi tertinggi diperoleh sebesar 0,028 Nm pada turbin dengan ketinggian blade pengganggu 1 dan 2 sama senilai 200 mm. Dan Daya tertinggi juga di dapat sebesar 1,04 W pada model ketinggian pengganggu 1 dan 2 senilai 200mm. Keduanya di dapat pada kec angin 13m/s. Disini disimpulkan bahwa semakin besar nilai dari blade pengganggu akan menambah berat turbin dan mengurangi torsi yang dihasilkan.

Penelitian tentang turbin angin savonius di lakukan oleh Mahmoud (2012) mengenai “*An experimental study*

on improvement of Savonius rotor performance”. Hasil penelitian tersebut menyatakan penggunaan 2 buah *blade* pada turbin angin *savonius* lebih efisien daripada 3 dan 4 *blade*.

Penelitian simulasi *blade* pengganggu yang di lakukan oleh Sonu & Rajesh (2016) Konfigurasi dengan penambahan 2 *Blade* pengganggu diamati memiliki kinerja yang lebih baik daripada konfigurasi konvensional untuk semua kasus, mencapai nilai CP maksimum 0,2266 pada $V = 8,23$ m/s dengan peningkatan 8,89%. Studi peningkatan dilakukan untuk menjaga rasio aspek, dimensi eksternal dan parameter aliran yang sama untuk kedua konfigurasi di setiap kasus. Pengaturan seperempat *blade* pengganggu menangkap porsi energi kinetik yang tidak digunakan dari aliran fluida yang masuk dan dengan demikian membantu meningkatkan kinerja.

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 langkah penting dalam peningkatan performansi turbin angin *savonius*. Maka dari latar belakang di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang “Studi Eksperimental Pengaruh Jarak Celah *Blade* Pengganggu dengan *Blade* Utama teradap kinerja *Savonius*”.

Tujuan Penelitian

- Untuk mengetahui pengaruh besarnyadaya yang di hasilkan turbin angin *savonius*.
- Untuk mengetahui pengaruh besarnyaefisiensi yang di hasilkan turbin angin *savonius*.

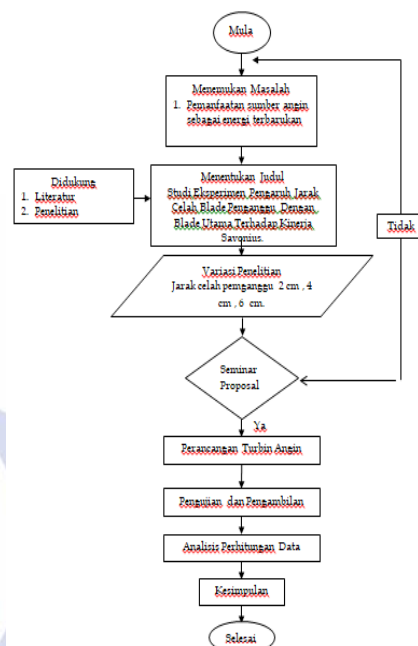
Manfaat Penelitian

Peneliti ini di harapkan mampu untuk memberi manfaat antara lain:

- Bagi peneliti yaitu untuk menambah wawasan, pengalaman,dan ilmu pengetahuan tentang turbin angin *savonius* dengan penambahan pengganggu
- Bagi dunia akademik dapat digunakan sebagai referensi tambahan untuk penelitian lebih lanjut tentang turbin angin *savonius* penambahan *blade* pengganggu.

METODE

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

➤ Variabel Bebas

Variabel bebas variable yang menyebabkan atau mempengaruhi factor – factor yang di observasi. Variabel bebas pada penelitian ini dengan jarak celah pengganggu 0cm ,2cm ,4cm,6cm.



Gambar 2. Variasi Jarak Celah

➤ Variabel Terikat

Variabel terikat adalah faktor–faktor yang di observasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh dari variabel bebas.

➤ Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dapat dikendalikan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak di pengaruhi oleh faktor – faktor lain yang tidak termasuk dalam penelitian variabel kontrol dalam penelitian ini adalah model turbin angin, beban turbin angin mulai dari 200 gram, 250 gram sampai dengan berhenti. Dan kecepatan angin mulai dari 3 m/s, 4 m/s, sampai dengan 6 m/s.

Instrumen Dan Alat Penelitian

➤ Instrument Penelitian



Gambar 3. Rangkaian Terowongan Penelitian

Spesifikasi Turbin Angin :

- Savonius Tipe-S.
- Satu Tingkat
- Dua Blade
- Diameter Turbin 350 mm
- Tinggi Turbin 350 mm
- Variasi Jarak Celah 0cm,2cm,4cm,6cm
- Bahan Blade Utama PPC
- Bahan Blade Pengganggu PPC



Gambar 4. Model Turbin Angin dalam Penelitian

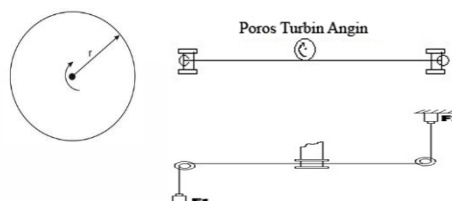
Teknik Pengumpulan Data

Pengambilan data merupakan suatu proses yang penting dalam mencapai tujuan penelitian dimana 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 di perlukan peneliti. Data-data yang diperlukan tersebut dicatat pada tiap jarak celah pengganggu, 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. Perhitungan untuk torsi dengan skema pengereman tali terhadap poros dengan berat beban.



Gambar 5. Skema Pengereman Tali untuk Torsi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Angin

Kecepatan angina sangat berpengaruh terhadap daya yang akan di hasilkan oleh turbin angin sebab angin mengandung energy berupa daya angin. Hal ini dapat kita lihat pada table di bawah ini .

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Angin (Pw)
3	1,85716
4	4,40216
5	8,59797
6	14,85729

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

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 jarak celah pengganggu 6 cm

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

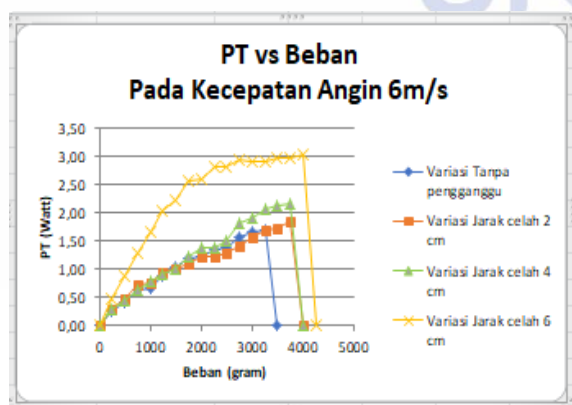
Variasi Jarak Celah	Kecepatan Angin (m/s)	Beban Poros (gram)	Beban Pegas (gram)	Putaran Turbin (rpm)
6 cm	6	0	0	446,4
6 cm	6	250	35	427,1
6 cm	6	500	86	412,3
6 cm	6	750	95	386,7
6 cm	6	1000	125	370,7
6 cm	6	1250	165	365,5
6 cm	6	1500	255	350,5
6 cm	6	1750	297	344,7

Variasi Jarak Celah	Kecepatan Angin (m/s)	Beban Poros (gram)	Beban Pegas (gram)	Putaran Turbin (rpm)
6 cm	6	2000	470	332,6
6 cm	6	2250	590	329,8
6 cm	6	2500	785	320,7
6 cm	6	2750	940	318,2
6 cm	6	3000	1190	314,4
6 cm	6	3250	1435	311,9
6 cm	6	3500	1597	306,5
6 cm	6	3750	1790	297,3
6 cm	6	4000	1960	289,6

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

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

Variasi Beban	Kecepatan Angin 6 m/s Besar Jarak Celah Blade Pengganggu			
	0 cm	2 cm	4 cm	6 cm
0	0,00	0,00	0,00	0,00
250	0,24	0,28	0,29	0,47
500	0,42	0,47	0,45	0,88
750	0,63	0,74	0,63	1,30
1000	0,66	0,75	0,80	1,66
1250	0,89	0,95	0,90	2,03
1500	1,03	1,00	1,00	2,24
1750	1,18	1,08	1,24	2,57
2000	1,22	1,21	1,38	2,61
2250	1,36	1,21	1,38	2,81
2500	1,37	1,29	1,50	2,82
2750	1,58	1,42	1,82	2,95
3000	1,66	1,58	1,91	2,92
3250	1,70	1,69	2,06	2,90
3500	0,00	1,73	2,14	2,99
3750	0,00	1,84	2,16	2,99
4000		0,00	0,00	3,03
4250				0,00

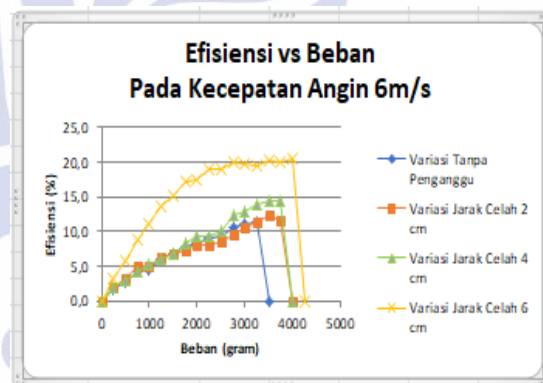


Gambar 6. Daya Turbin Angin (PT) vs Beban pada Kecepatan Angin 6 m/s.

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.

Variasi Beban	Kecepatan Angin 6 m/s Besar Jarak Celah Blade Pengganggu			
	0 cm	2 cm	4 cm	6 cm
0	0,0	0,0	0,0	0,0
250	1,6	1,9	2,0	3,2
500	2,9	3,2	3,0	5,9
750	4,2	5,0	4,3	8,7
1000	4,5	5,0	5,4	11,2
1250	6,0	6,4	6,1	13,7
1500	6,9	6,7	6,8	15,1
1750	7,9	7,3	8,3	17,3
2000	8,2	8,2	9,3	17,6
2250	9,1	8,1	9,3	18,9
2500	9,3	8,7	10,1	19,0
2750	10,6	9,5	12,3	19,9
3000	11,2	10,6	12,9	19,6
3250	11,5	11,4	13,9	19,5
3500	0,0	12,4	14,4	20,1
3750		11,7	14,5	20,1
4000		0,0	0,0	20,4
4250				0,0



Gambar 7. 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 bahwaday terbesar yang dapat dihasilkan pada penelitian Turbin Angin Savonius Satu Tingkat dengan Penambahan Jarak Celah Blade Pengganggu adalah sebesar 3,03 Watt yang terjadi pada jarak celah 6 cm dengan beban 4000 gram.

Efisiensi Turbin Angin

Efisien daya atau coefficient of 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 Jarak Celah Blade Pengganggu adalah sebesar 20,4% yang terjadi pada jarak celah 6 cm dengan beban 4000 gram.

Pengaruh Penambahan Blade Pengganggu dengan Jarak Celah

Penambahan pengganggu merupakan upaya pengurangan gaya hambatan yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda. Berdasarkan data hasil penelitian yang di peroleh dari masing – masing variasi jarak celah pada blade pengganggu dengan blade utama dapat di jelaskan sebagai berikut :

- Penambahan blade pengganggu dengan jarak celah 6 cm dengan kecepatan angin tinggi lebih bagus di karenakan angin yang masuk terkonsentrasi lebih banyak dan mengalami percepatan karena jarak celah lebar.
- Jika pada kecepatan angin rendah pada jarak celah 6 cm maka angin yang masuk banyak tetapi tidak mengalami percepatan
- Pada kecepatan angin rendah jarak celah yang lebih unggul adalah 4 cm di karenakan angin yang masuk tidak terlalu sempit dan tidak terlalu lebar maka angin yang masuk mengalami percepatan.

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 jarak celah 6 cm sebesar 3,03 watt pada kecepatan angin 6 m/s dengan beban 4000 gram
- Efisiensi (η) Turbin angin terbesar terjadi pada variasi sudut bukaan 15° sebesar 20,4% pada kecepatan angin 6 m/s dengan beban 4000 gram

Saran

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

- Menggunakan variasi jarak celah pengganggu dengan ukuran yang lebih besar serta jarak celah yang lebih besar

- Menggunakan model blade yang berbeda agar dapat di ketahui model yang terbaik
- Menggunakan turbin angin dengan jarak celah pengganggu dengan skala yang besar untuk di uji di tempat terbuka

DAFTAR PUSTAKA

- Abid, M., Vielmo & Petry, A.P. 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.
- Akwa, J.V. 2012. "A Review on The Performance of Savonius Wind Turbines". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 16: pp 3054-3064.
- Dewan Energi Nasional. 2010. *Indonesian Energy Outlook (IEO)*. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Dewan Energi Nasional. 2014. *Indonesian Energy Outlook (IEO)*. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral
- Siregar, Indra Herlamba & Aris Ansori 2016. *Performance of Comined Vertical Axis Wind Turguen Blade Between Airfoil Naca 0018 With Curve Blade With and Without Guide Vane*. *International Journal Of Scantifie & Enginerig Recerve Volume 7, Issue 7, 2016*.
- 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.
- Mohamed, M.H. 2010. "Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade". *Renewable Energy*. Vol. 35: pp 2618-2626.
- Rathod, Parth. 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.
- Sonu ,Sharma., dan Rajesh ,Sharma. 2016. "Performance improvement of Savonius rotor using multiple quarter blades".