

UJI EKSPERIMEN MODEL TURBIN ANGIN *SWIRLING* SAVONIUS DENGAN DEFLEKTOR DIAM MENGGUNAKAN TEROWONGAN ANGIN

Moh. Zulianto

S1 Teknik Mesin Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : moh.zulianto@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Indonesia sudah dikenal sebagai negara yang kaya akan sumber daya energi fosil dan energi baru terbarukan, Selama ini energi fosil yang bersifat *unrenewable* masih sangat di butuhkan bagi kehidupan masyarakat Indonesia sedangkan energi yang bersifat *renewable* (terbarukan) relatif belum banyak dimanfaatkan. Salah satu sumber daya EBT yang potensial untuk dikembangkan adalah angin, di Indonesia rata-rata kecepatan angin berkisar antara $3m/s-6m/s$. turbin angin savonius sumbu vertikal adalah Salah satu alat yang dapat digunakan sebagai energi terbarukan dengan memanfaatkan angin berkecepatan rendah, namun masih mempunyai kelemahan efisiensi yang rendah di bandingkan turbin lainnya. Penelitian dilakukan dengan menguji model turbin angin tipe- *Swirling Savonius* dengan penambahan deflektor diam, adapun variasi bebas penelitian ini adalah jumlah bilah deflektor yaitu 4, 8, 12, 16 sudu dengan sudut 45° , Pengujian ini dilakukan pada kondisi angin buatan. Uji eksperimen ini untuk mengetahui efisiensi penambahan Deflektor terhadap kinerja turbin angin *Swirling Savonius* 1 tingkat 2 *blade*. Hasil penelitian memaparkan bahwa jumlah sudu 12 adalah jumlah sudu yang menghasilkan kinerja yang terbaik dengan daya sebesar $2,724 Watt$ dan nilai efisiensi sebesar $24,960\%$ pada kecepatan angin $6 m/s$.

Kata kunci: Energi angin, sumbu vertikal, turbin angin *Swirling Savonius*, Deflektor.

Abstract

Indonesia has been known as a country that is rich in fossil energy resources and new renewable energy. So far, unrenewable fossil energy is still very much needed for the life of the Indonesian people while renewable energy is relatively underutilized. One potential EBT resource to be developed is wind, in Indonesia, the average wind speed ranges from $3m / s-6m / s$. Savonius vertical axis wind turbine is one of the tools that can be used as renewable energy by utilizing low-speed wind but still has a low-efficiency disadvantage compared to other turbines. The research was conducted by testing the Savonius Swirling-type wind turbine model with the addition of a silent deflector, while the free variation of this study was the number of deflector blades which were 4, 8, 12, 16 blades with an angle of 45° , this test was carried out under artificial wind conditions. This experimental test is to find out the efficiency of adding Deflector to the performance of a level 2 blade Swirling Savonius wind turbine. The results of the study explained that the number of blades 12 is the number of blades that produce the best performance with a power of $2.724 Watts$ and an efficiency value of 24.960% at a wind speed of $6 m / s$.

Keywords: Wind energy, vertical axis, Swirling Savonius wind turbine, Deflector.

PENDAHULUAN

Indonesia sudah dikenal sebagai salah satu negara yang kaya akan sumber daya energi fosil dan energi baru terbarukan. Peran dari sumber daya energi fosil seperti minyak bumi dan batubara yang merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui masih sangatlah penting bagi kehidupan masyarakat di Indonesia dan belum tergantikan dalam berbagai aspek kehidupan. Kebutuhan energi di Indonesia pasti akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah

penduduk, laju pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri.

Pemakaian energi fosil yang berlebihan selain merugikan negara juga merugikan lingkungan yang 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, Banyak negara mencari solusi untuk mengurangi masalah pemanasan global dengan mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil untuk pembangkit energi.

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 solusi Energi Baru Terbarukan yang saat ini digunakan secara komersial di Indonesia diantaranya adalah energi air, panas bumi, bio energi, energi angin, sinar matahari dan masih banyak lagi energi terbarukan yang masih dalam pengembangan. Yang mana dalam pengembangan tentu terdapat beberapa kendala diantaranya dalam penggunaan tenaga air, ketersediaan lahan dan pasokan air, sedangkan untuk penggunaan energi panas bumi kendalanya adalah teknologi dan biaya eksplorasi yang besar serta harus pada daerah tertentu seperti daerah pegunungan berapi. Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa digunakan dalam skala kecil adalah energi angin, tetapi Masih kurangnya pemanfaatan energi alternatif lain yang sudah tercipta sebelumnya yang masih belum di manfaatkan secara maksimal oleh manusia.

Negara Indonesia memiliki pantai sepanjang 80.791,42 km. Garis panjang pantai tersebut merupakan wilayah yang potensi untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kecepatan hembusan angin rata-rata sekitar 3m/s–6m/s dan arah angin selalu berubah-ubah sehingga akan sulit untuk menghasilkan energi listrik dengan jumlah skala besar. Hal ini dikarenakan letak geografis Indonesia merupakan Negara tropis. Sehingga pengembangan pemanfaatan angin di Indonesia tergolong rendah. Dengan demikian energi baru dan terbarukan angin dapat dijadikan sebagai sumber energi pembangkit listrik yang berkelanjutan di Indonesia (DEN: 2010).

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang kita kenal adalah dua turbin angin pada umumnya yaitu turbin angin poros horizontal dan turbin angin poros vertikal merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai energi pembangkitnya. Karena angin terdapat dimana-mana sehingga mudah untuk didapatkan serta tidak membutuhkan biaya yang banyak. Karena listrik tidak dihasilkan langsung oleh alam maka untuk memanfaatkan energi angin ini di perlukan sebuah alat yang bekerja dan menghasilkan energi listrik. Diantaranya Alat yang digunakan adalah kincir angin. Kincir angin ini akan menangkap angin dan akan

menggerakkan generator yang nantinya akan menghasilkan energi listrik.

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, dkk: 2012). Turbin angin *savonius* mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis dalam bentuk gaya dorong (*drag force*). Kelebihan turbin angin *savonius* adalah tidak membutuhkan aliran angin yang tinggi untuk memutar turbin, namun masih mempunyai kelemahan yaitu efisiensi turbin *savonius* masih tergolong rendah di banding dengan turbin lainnya. Beberapa peneliti ini berusaha untuk menaikkan efisiensi turbin dengan berbagai upaya yang sudah di lakukan.

Penelitian tentang turbin angin *savonius* di lakukan oleh N.H. Mahmoud, dkk (2012) mengenai “*An experimental study on improvement of Savonius rotor performance*”. Penelitian ini membandingkan tentang jumlah sudu dari dua *blade* (2b), tiga *blade* (3b) dan empat *blade* (4b); satu tahap dan tahap ganda, dengan rasio tumpang tindih (*overlap*). Hasil penelitian tersebut menyatakan penggunaan 2 buah *blade* pada turbin angin *savonius* lebih efisien dari pada 3 dan 4 buah *blade*.

Penelitian tentang turbin *savonius* A. Al-Faruk (2014) “*Influence of Blade Overlap and Blade Angle on the Aerodynamic Coefficients in Vertical Axis Swirling type Savonius Wind Turbine*” hasil menunjukkan daya maksimum diperoleh pada rasio 0,20 (pisau tumpang tindih) 195° sudut busur pisau. Hasil koefisien kekuatan turbin berputar-putar meningkat sebesar 25,5%. Namun, pada pertunjukan kecepatan sudut yang lebih rendah dari berputar-putar dan turbin *Savonius* tetap sama.

Penelitian tentang Turbin anggi *Savonius* Halil Muhammad (2018) “Pengujian Kinerja Turbin Angin *Savonius* Sumbu Vertikal Overlap Dengan Deflektor Lengkung Ganda” menyatakan bahwa Efisiensi maksimum tertinggi adalah pada sudut deflektor $\alpha = 135^\circ$ $\beta = 45^\circ$ pada kecepatan angin 4 m/s $\eta_{max} = 8,027\%$, dan kecepatan angin 6 m/s $\eta_{max} = 6,763\%$. efisiensi terbaik pada kecepatan Penggunaan pelat deflektor lengkung ganda di bagian hulu depan turbin dan sisi samping dapat meningkatkan kecepatan aliran angin, mengurangi gaya *drag* sudu turbin *Savonius* pada posisi balik sehingga dapat meningkatkan koefisien daya C_p dan koefisien torsi CT.

Penelitian tentang turbin angin savonius di lakukan oleh M.A Kamoji (2008) mengenai “*Experimental Investigation On Single Stage Modified Savonius Rotor*” Perbandingan kinerja dimodifikasi Savonius rotor dengan poros, dimodifikasi Savonius rotor tanpa poros dan rotor Savonius konvensional. Menyatakan bahawa hasil koefisien tertinggi di dapatkan turbin angin tanpa poros.

Penelitian tentang turbin angin Tipe-Darius di lakukan oleh Siregar Herlamba. dkk (2017) mengenai “*Komparansi Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H Dua tingkat dengan Billah Profile Modified Naca 0018 dengan dan tanpa wind Deflector*” Penambahan Wind Deflector mampu meningkatkan kinerja turbin rata-rata sebesar 43,3% dengan daya turbin dan C_p yang di dihasilkan maksimal sebesar 0,72 watt.

Penelitian tentang turbin angin savonius di lakukan oleh Budi Sugiharto. dkk (2017) “*Simulasi Kincir Angin Savonius dengan Variasi Pengarah*” Jumlah pengarah divariasikan 4, 8 dan 16 pengarah dengan bentuk pengarah plat datar dan lengkung. dari variasi sudut yang dilakukan peneliti Torsi statik maksimum terjadi pada posisi sudut 45° dan jumlah pengarah 16, dengan nilai lebih dari dua kali torsi statik tanpa pengarah. Pengarah lengkung tidak menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding dengan pengarah datar.

METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

➤ Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diobservasi. Variabel bebas pada penelitian ini adalah dengan variasi jumlah sudu deflektor yaitu: 4 sudu, 8 sudu, 12 sudu dan 16 sudu.



Gambar 1. Swirling savonius deflektor 4 sudu



Gambar 2. Swirling savonius deflektor 8 sudu



Gambar 3. Swirling savonius deflektor 12 sudu



Gambar 4. Swirling savonius deflektor 16 sudu

➤ Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah faktor-faktor yang di observasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah daya dan karakteristik efisiensi.

➤ Variabel Kontrol (*Control Variable*)

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 *Savonius* tipe-Swirling (2 blade) dan 1 Tingkat.
- Dimensi Turbin 300 mm x 300 mm

- Material blade PVC dan penampang akrilik.
- Beban turbin angin terdiri dari 100 gram, 200 gram, 300 gram, dan seterusnya sampai dengan berhenti, untuk pembebanan menggunakan anak timbang.
- Kecepatan angin yang digunakan, yaitu 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s, 4.5 m/s, 5 m/s, 5.5 m/s dan 6 m/s, untuk mendapatkan variasi kecepatan yaitu menggunakan alat ukur Anemometer.

Instrumen dan Alat Penelitian

Instrumen dan Alat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

➤ Tachometer



Gambar 5. Tachometer

➤ Kipas



Gambar 6. Kipas

➤ Anemometer



Gambar 7. Anemometer

➤ Terowongan Pengujian



Gambar 8. Terowongan

➤ Neraca Digital



Gambar 9. Neraca Digital

➤ Beban anak timbangan.



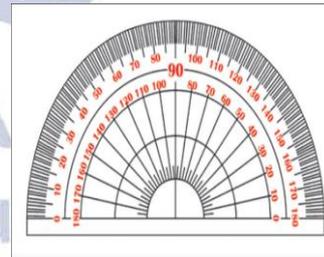
Gambar 10. Beban Anak Timbang

➤ Manometer



Gambar 11. Manometer

- Poros berbahan plastic padat.
- Model turbin angin sesuai desain penelitian.
- Busur Derajat 180 Derajat.



Gambar 12. Busur

➤ Inverter Kendali Kipas.



Gambar 13. Inverter

Prosedur Penelitian



Gambar 14. Alat penelitian tampak samping

- Tahap Persiapan pengambilan data
 - Menyiapkan alat-alat dan Instrumen penelitian
 - Merangkai Obyek penelitian yaitu model turbin tipe-*Swirling* Savonius satu tingkat dengan penambahan Deflektor Diam.
 - Melakukan Uji coba pada instrumen guna mengetahui apabila terjadi suatu kesalahan sebelum proses Pengambilan data.
- Tahap Pelaksanaan Penelitian pengambilan data Daya dan efisiensi
 - Merangkai model turbin angin pada terowongan penelitian.
 - Kemudian menentukan variasi jumlah sudu deflektor yaitu: 4 sudu, 8 sudu, 12 sudu dan 16 sudu, dengan sudut 45°.
 - Menghidupkan kipas, lalu menaikkan kecepatan putaran kipas angin secara bertahap hingga mencapai kecepatan yang dituju.
 - Mengukur kecepatan angin dengan *anemometer*, pengukuran kecepatan angin dilakukan setelah angin melewati terowongan angin. Variasi kecepatan angin yang digunakan, yaitu: 3 m/s, 3.5 m/s, 4 m/s, 4.5 m/s, 5 m/s, 5.5 m/s dan 6 m/s.
 - Pengamatan mulai dilakukan setelah turbin diberi beban dari 100 gram, 200 gram, 300 gram, dan seterusnya sampai dengan berhenti.
 - Ukur putaran poros turbin angin menggunakan *tachometer*.
 - Lakukan pembacaan di alat ukur naraca untuk mengetahui beban pegas.
 - Pengambilan data dilakukan setiap tingkat kecepatan angin dan pembebanan.
 - Melakukan pencatatan data yang meliputi, kecepatan angin, putaran turbin angin, dan beban.

$$A = L \times D$$

$$= 0,3 \times 0,3 = 0,09 \text{ m}$$

Jadi:

$$P_w = 0,5\rho AV^3 \infty$$

$$= 0,5 \times 1,123 \times 0,09 \times 216$$

$$= 10,916 \text{ watt}$$

➤ Daya Turbin (PT)

Dimana:

$$PT = T \cdot \omega$$

$$T = F \times r$$

$$= 0,588 \times r$$

$$= 0,588 \times 0,0075$$

$$= 0,00441 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 476,8}{60}$$

$$= \frac{2.994,304}{60}$$

$$= 49,90506 \text{ rad/s}$$

Jadi:

$$PT = T \cdot \omega$$

$$= 0,00441 \times 49,90506$$

$$= 0,2200 \text{ watt}$$

➤ Efisiensi Turbin (CP)

Dimana:

$$CP = \text{Koefisien Daya Turbin (\%)}$$

$$PT = \text{Daya Turbin (0,2200 watt)}$$

$$P_w = \text{Daya Angin (10,916 watt)}$$

$$CP = \frac{PT}{P_w}$$

$$= \frac{0,2200}{10,916} \times 100\%$$

$$= 2,016 \%$$

Analisa

➤ **Daya Angin PW**

Hasil Perhitungan Daya Angin (Pw) vs Kecepatan Angin (V) akan disajikan dalam bentuk Grafik pada tingkat kecepatan angin, sebagai berikut:

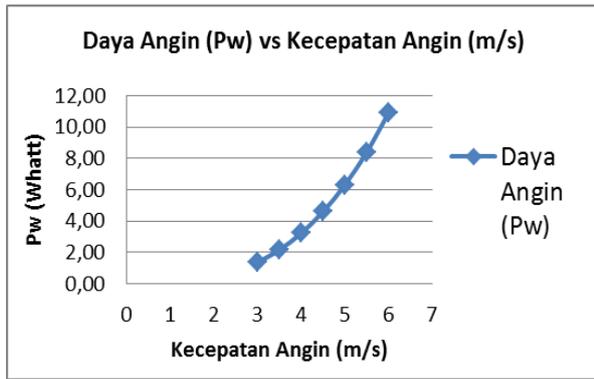
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

➤ Daya Angin

Dimana:

$$V^3 \infty = 6^3$$

$$= 27 \text{ m/s}$$

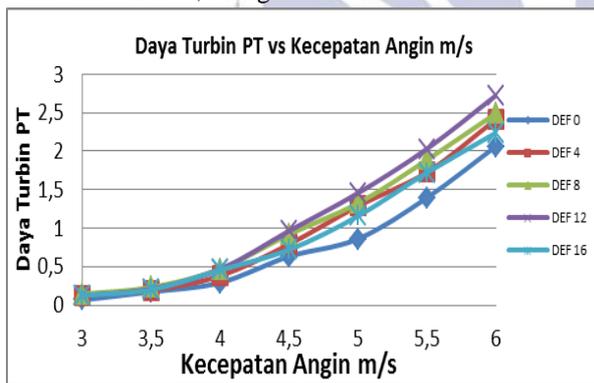


Gambar 15. Daya Angin (Pw) vs Kecepatan Angin

Dari hasil Gambar 4.1 grafik di atas sudah bias di simpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka daya angin yang di dihasilkan akan semakin besar.

➤ **Daya Turbin**

Hasil Perhitungan Daya Turbin Angin (PT) maksimal (tertinggi) vs Kecepatan Angin (V) dalam Tabel dan Grafik, sebagai berikut:



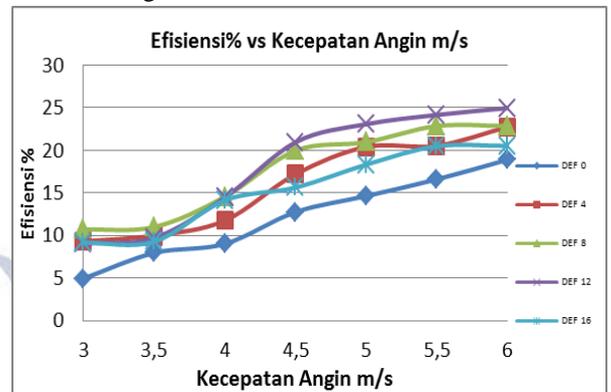
Gambar 16. Daya Turbin (Pt) vs Kecepatan Angin m/s

Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin angin. Hal ini dapat kita lihat pada Gambar 4.2 dimana data Grafik menunjukkan bahwa daya Turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 6 m/s lebih besar jika dibandingkan dengan kecepatan angin dibawahnya, Selain itu variasi jumlah deflektor juga sangat berpengaruh pada Daya yang di hasilkan oleh Turbin angin, itu bisa dilihat dari grafik diatas dimana Turbin tanpa deflektor menghasilkan daya turbin sebesar 2,063 watt pada kecepatan angin 6 m/s, pada variasi deflektor 4 sudu di peroleh daya sebesar 2,411 watt, pada kecepatn angin 6 m/s dengan jumla sudu deflektor 8 sudu daya yang di hasilkan 2,494 watt, pada kecepatan angin 6 m/s dengan jarak jumlah 12 sudu deflektor menghasilkan daya 2,724 watt, pada

kecepatan angin 6 m/s dengan jarak jumlah 16 sudu deflektor menghasilkan daya 2,239 watt.

➤ **Efisiensi Turbin Angin CP (%)**

Perhitungan Efisiensi Turbin (CP) vs Kecepatan Angin (Pw) akan disajikan dalam bentuk Tabel dan Grafik, sebagai berikut:



Gambar 17. Efisiensi % (CP) vs Kecepatan Angin m/s

Efisien daya atau *coefficient off power* (CP) merupakan perbandingan antara daya turbin angin (PT) dengan daya angin (Pw) yang diekstrak oleh turbin. Sama halnya dengan daya, efisiensi daya yang dihasilkan turbin angin juga dipengaruhi oleh besarnya daya angin yang berhembus. Untuk pengaruh penambahan deflektor diam pada Turbin angin swirling savonius juga sangat berpengaruh terhadap daya (PT) dan efisiensi (CP) pada turbin.

Dari hasil Gambar 4.3 di atas, grafik menunjukkan bahwa efisiensi terbaik di dapat pada kecepatan angin 6 m/s di banding dengan kecepatan 3 m/s 3,5 m/s 4 m/s 4,5 m/s 5 m/s dan 5,5 m/s dengan jumlah sudu Deflektor 12 sudu. Hasil Efisiensi yang terbaik adalah Deflektor Jumlah sudu 12 sebesar 24,960%. Di bandingkan dengan variasi jumlah sudu 4 sudu, 8 sudu dan 16 sudu. Peran penambahan Deflektor diam dengan sudut bilah 45° sangat berpengaruh pada Daya dan Efisiensi Turbin, karena dengan penambahan Deflektor diam dapat mengurangi gaya Drag pada sisi cembung dan menambah gaya drag pada sisi cekung sehingga turbin bisa berputar secara maksimal dan dapat menghasilkan daya dan efisiensi tinggi.

PENUTUP

Simpulan

Setelah dilakukan penelitian terhadap Uji Eksperimen Model Turbin Pada Kinerja di Terowongan Angin Tipe-Swirling savonius dengan Penambahan Deflektor Diam dengan penambahan variasi Jumlah Sudu

deflektor yaitu 4 sudu, 8 sudu, 12 sudu 16 sudu, dengan sudut Deflektor 45° pada kecepatan angin 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s, 5 m/s, 5,5 m/s dan 6 m/s maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Daya tertinggi turbin angin *Swirling* savonius satu tingkat dengan penambahan Jumlah Sudu Deflektor diperoleh pada variasi jumlah sudu deflektor 12 sudu sebesar 2,72463 watt pada kecepatan angin 6 m/s dengan beban 2400 gram. Ini di karenakan adanya variasi jumlah sudu deflektor dengan jumlah 12 sudu dan pada sudut 45° pada Turbin savonius tipe-*Swirling* pada permukaan sisi cekung yang berperan menerima daya angin untuk memutar turbin sangat berpengaruh besar karena angin terfokus menghantam sisi cekung pada turbin, sehingga mengurangi gaya hambat pada sisi cembung.
- Efisiensi (η) Turbin angin terbesar terjadi pada variasi jumlah sudu deflektor 12 sudu sebesar 24,96097% pada kecepatan angin 6 m/s dengan beban 2400 gram. Ini karena efisiensi (CP) merupakan perbandingan antara Daya Turbin (PT) dengan daya Angin (Pw) yang di ekstrak oleh Turbin.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai turbin angin tipe *Swirling* savonius ini dan penyempurnaan pada rangkaian pengujian turbin angin, diantaranya:

- Untuk penelitian selanjutnya diharapkan:
 - Menggunakan variasi Jumlah Sudu Deflektor dengan Jumlah yang mendekati terbaik.
 - Menggunakan model Turbin yang berbeda agar dapat diketahui model terbaik yang sesuai jika dipasangkan dengan variasi Jumlah Sudu Deflektor Diam.
 - Mengembangkan turbin angin dengan variasi Jumlah sudu Deflektor untuk diuji pada turbin angin skala yang lebih besar ditempat terbuka dengan penggerak angin alami.
- Pada rangkaian pengujian:
 - Meningkatkan kualitas tali yang digunakan pada sistem pengereman poros saat proses pembebanan dilakukan agar dapat menahan beban yang lebih berat dan diharap mampu menjaga keselamatan kerja dalam pengumpulan data selama pengujian.
 - Penambahan dudukan untuk alat ukur *tachometer* dan *anemometer* agar posisi alat ukur dapat selalu *standby* pada posisi yang sama.

- Mengganti poros penyangga turbin angin yang ada saat ini (berbahan plastik) dengan bahan yang lebih *solid*, seperti besi. Agar saat poros berputar tidak melengkung karena akibat dari besarnya Kecepatan angin yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Admind. 2007. Turbin Angin Sumbu Horizontal, (Online), (https://www.google.com/search?q=gambar+turbin+angin+horizontal+rapidshared.com&safe=strict&client=firefox-b-d&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUK EwiMltLqzp7hAhWN6nMBHfqkBisQ_AUIDigB)
- Al-Faruk dan A. Sharifian. 2014. "Influence Aerodynamic Coefficients in Vertical Axis Swirling type Savonius Wind Turbine"
- Arsad, Agus Muhamad., dan Hartono, Firman. 2009. "Pembuatan Kode Desain dan Analisa Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H". *Jurnal Teknologi Dirgantara*. Vol. 7: pp 93-100.
- Akwa, J.V. dkk. 2012. "A Review on The Performance of Savonius Wind Turbines". *Renewable and Sustainable Energy Riviews*. Vol. 16: pp 3054-3064.
- Arifin sanusi.2017. "Performance Analysis of a Combined Blade Savonius Wind Turbines".
- 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.
- Budi Sugiharto , Sudjito Soeparman, Denny Widhiyanuriyawan, Slamet Wahyudi. 2017. "Simulasi Kincir Angin Savonius dengan Variasi Pengarah".
- 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.
- Dewan Energi Nasional. 2016. *Indonesian Energy Outlook (IEO)*. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- 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.
- Halil, Muhammad. 2018 "Penguujian Kinerja Turbin Angin Savonius Sumbu Vertikal Overlap Dengan Deflektor Lengkung Ganda". *Majalah Teknik Simes*.
- Herlamba S, Indra and Ansori, Aris. 2016. "Performance of Combined vertical Axis Wind Tubine blade between airfoil NACA 0018 with Curve Blade with and without Guide vane". *International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER)*. Vol. 7: 863-867.
- 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.
- Katz, Joseph. 1995. *Race Car Aerodynamics Designing for Speed*. Bentley Publishers: a division of Robbert Bentley, Inc.
- Mahmoud. N.H, A.A. El-Haroun, E. Wahba, M.H. Nasef. 2012. "An Experimental Study on Improvement of Savonius Rotor Performance". Mesir: *Engineering-Alexandria University*.
- M.A Kamoji, S.B. Kedare a, S.V. Prabhu. 2008. "Experimental Investigation On Single Stage Modified Savonius Rotor". *Applied Energy*
- Mathew, Sathyajith. 2006. "Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics". Berlin: Springer.
- Nevers, Noel de. 1991. "Fluid Mechanics for Chemical Engineers 2nd Edition". Utah: Mc Graw-Hill, Inc.
- Rathod. Parth, Kapil hatik, ketul shah, het desai, jay shah. 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.
- 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.
- Soelaiman, 2006. "Pengaruh bentuk Sudut terhadap kinerja turbin angin Savonius". *Majalah Ilmiah STTR, Cepu*.
- Tim. 2014. "Pedoman Penulisan Skripsi". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Young, Donald F. Munson, Bruce R. Okiishi, Theodore H. Huebsch, Wade W. 2011. *A Brief Introduction to Fluid Mechanics 5th Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

