



## Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejuruan (JIPTEK)

Jurnal Homepage: <https://jurnal.uns.ac.id/jptk>

### STUDI EKSPERIMENTAL PERFORMANSI TURBIN SAVONIUS DI PESISIR PANTAI KABUPATEN DEMAK TERHADAP DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN

Wahyu Santoso<sup>1</sup>, Herman Saputro<sup>2</sup>, dan Husin Bugis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,  
Universitas Sebelas Maret

Email : [wahyusantoso@student.uns.ac.id](mailto:wahyusantoso@student.uns.ac.id)

#### *Abstract*

*Energy from fossil fuels consisting of petroleum, coal, natural gas containing raw material for energy fulfillment in Indonesia is still very central through the use of raw materials from renewable energy is still very low. In Indonesia the potential for renewable energy such as wind energy needs to be optimized. One of the uses of wind energy is through savonius wind turbine as electricity generators. Characteristics of savonius wind turbine with vertical axis rotors which gave a simple shape, and that able to control low speeds. This is in accordance with regions in Indonesia which have low average speeds. This experimental study, aims to determine the description of wind potential and determine the performance of savonius wind turbines on the coast of Demak regency on the electrical energy produced. Savonius wind turbine used is made of galvalum material in the form of an S type rotor with diameter 1.1 m and height 1.4 m, using pulley transmission system with multiplication ratio 1:6 dan using generator type PMG 200 W. This research uses the method experiment. Data collection in the form of wind speed, humidity, temperature, rotor rotation speed, voltage and electric current is carried out at 14.30 to 17.30 Western Indonesian Time. Data Analysis in this study uses quantitative descriptive analysis. The result showed the potential of wind on the coast of Demak regency have an average wind speed of 2,02 m/s with a temperature of 31,34 °C and humidity of 76,96. And the performance of the installed wind turbine produces the highest power 3.5 watt with an electric power coefficient of 0,181 and tip speed ratio around 1,75. From these result, the potential of wind with performance savonius turbine can generate electricity used for pond lighting in the village Berahan Kulon Kecamatan Wedung.*

**Keywords :** Wind energy, Savonius VAWT, Wind Velocity, Demak

## A. PENDAHULUAN

Bahan baku untuk pembangkit listrik yang menjadi primadona di Indonesia maupun di dunia masih seputar energi fosil yaitu pada batubara, minyak bumi, dan gas. Dimasa depan energi fosil ini semakin lama akan semakin habis. Menurut *Statistical Review of World Energy 2018*, konsumsi energi di Indonesia meningkat 5% pada tahun 2017 dan rata-rata peningkatan dalam kurun waktu 2006-2016 sebesar 2,9%.

Energi dari bahan bakar fosil yang terdiri dari minyak bumi, batu bara, gas alam yang berperan sebagai bahan baku untuk pemenuhan energi di Indonesia masih sangat sentral sedangkan pemanfaatan bahan baku dari *renewable energy* / energi baru terbarukan masih sangat rendah. Penggunaan energi fosil sebagai bahan baku pemenuhan kebutuhan energi menyebabkan polusi yang tinggi serta berperan dalam penghasil gas rumah kaca yang dapat merusak lapisan ozon bumi. Pemerintah berupaya melakukan inovasi dan berlomba semaksimal mungkin untuk menggunakan energi baru terbarukan (EBT). Energi baru terbarukan merupakan sumber energi yang keberadaannya tidak akan habis dan dapat diperbarui. Selain itu, keberadaan energi baru terbarukan relatif mudah didapat, gratis dan minim

limbah/polusi. Kategori energi baru terbarukan meliputi energi surya, angin, air, gelombang laut, biogas serta biomassa sedangkan potensi energi angin sangat melimpah (ESDM,2016).

Di wilayah pesisir pantai Kabupaten Demak, Jawa Tengah mempunyai potensi energi angin yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Pesisir pantai Demak yang didominasi dengan usaha perikanan berupa tambak terletak jauh dari pemukiman desa. Maka dari itu, diperlukan biaya tinggi untuk instalasi listrik PLN jika mengharapkan adanya penerangan di sekitar tambak. Berdasarkan data praeksperimen yang dilakukan pada waktu pagi hari, siang hari, sore hari, dan malam hari di pesisir pantai Demak, diperoleh kecepatan angin yang konstan berkisar 2 s.d. 4 *m/s* pada sore hari. Menurut Pamungkas (2017) dengan kecepatan angin tersebut sudah bisa menghasilkan listrik sebesar 13,40 *watt* menggunakan turbin angin Savonius.

Pemanfaatan potensi energi angin di Demak sebagai energi pembangkit listrik dapat dilakukan melalui teknologi turbin angin. Turbin angin yang dapat digunakan yaitu turbin angin *savonius*. Turbin ini termasuk turbin sumbu vertikal yang mudah berputar pada kondisi kecepatan

angin rendah (Kamal,2008). Dan turbin angin ini dapat menerima angin dari segala arah, mudah dan murah dalam pembuatannya dan dapat berputar pada kecepatan angular yang cukup rendah (Akwa, Vielmo & Petry, 2012:3055). Dan juga oleh Pamungkas (2017) yang melakukan penelitian studi performansi turbin angin *Savonius* tipe S dengan variasi penambahan *fin* pada sudu dan kecepatan angin menyatakan bahwa turbin angin *Savonius* dapat menghasilkan daya listrik yang efisien.

Penelitian ini dilaksanakan agar dapat mengetahui deskripsi potensi angin di pesisir pantai Kabupaten Demak untuk pembangkit listrik tenaga angin dan menguji performansi turbin angin *Savonius* di daerah pesisir pantai Demak terhadap energi listrik yang dihasilkan.

## B. METODE PENELITIAN

Metode eksperimen digunakan dalam penelitian yaitu berupa penelitian performansi dari turbin angin *Savonius* yang terpasang pada tower. Aktivitas yang dikerjakan dalam penelitian ini meliputi, studi literatur, mempersiapkan instalasi turbin angin, pengambilan data, dan analisis data. Pengambilan data dilakukan dengan cara pengukuran kecepatan angin,

temperatur dan kelembaban lingkungan, arus listrik, tegangan listrik, kecepatan putaran generator. Daya listrik didapatkan dari perkalian arus dan tegangan listrik. Analisis data menggunakan teknik analisis deskriptif.

Tabel 1. Spesifikasi Rangkaian Turbin Angin *Savonius*

Spesifikasi	Nilai
Tinggi tower/menara	6000 mm
Generator	200 Watt
Rasio Transmisi pulley	1 : 6
Diaemeter poros	20 mm
Diameter blade/sudu	700 mm
Tinggi blade/sudu	1400 mm
Overlap sudu	200 mm
Jumlah sudu	2 buah
Material sudu	Galvalum

Teknik pengumpulan data dilakukan menggunakan anemometer, tachometer, voltmeter, dan amperemeter. Angka yang ditampilkan pada alat ukur dicatat dalam tabel yang telah disiapkan. Pengambilan data pada turbin angin selama 3 hari mulai pukul 14.30 s.d. 17.30 WIB secara periodik pada setiap menit dilakukan pengambilan data sebanyak 10. Kemudian data digunakan untuk menggambarkan *profile* daya listrik pada turbin angin.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

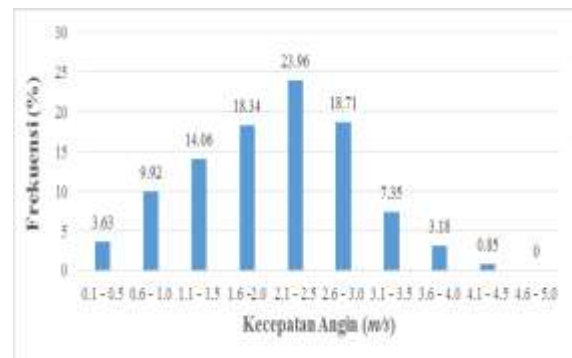
Data hasil pengukuran dalam bentuk diagram kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan metode penyelidikan deskriptif kuantitatif. Penyelidikan deskriptif kuantitatif untuk menyelidiki permasalahan pemanfaatan energi baru terbarukan berupa angin dengan cara menganalisis hubungan-hubungan sebab akibat dengan membandingkan faktor-faktor yang diteliti.

### C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan selama 3 hari yaitu pada tanggal 22 s.d 24 Maret 2019 pukul 14.30 s.d. 17.30 WIB interval 1 menit sekali. Berdasarkan data praeksperimen jam 14.30 WIB turbin angin mulai bisa berputar dengan kecepatan konstan sehingga menghasilkan arus listrik yang terbaca pada amperemeter dan

voltmeter dan juga pada jam 17.30 kecepatan angin sudah tidak konstan lagi sehingga arus listrik tidak terbaca pada amperemeter dan voltmeter. Sehingga pengambilan data penelitian akan dilakukan mulai pukul 14.30 s.d 17.30 WIB setiap menit diambil 10 data selama 3 hari berturut-turut. Kemudian data-data di masukkan ke dalam Ms. Excel untuk dilakukan pengolahan data. Berikut data yang diperoleh antara lain :

#### 1. Frekuensi kecepatan angin



Gambar 1 Data frekuensi kecepatan angin

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa frekuensi angin terbanyak pada interval kecepatan angin 2,1 s.d 2,5 m/s yakni sebesar 23,96 % dengan total 1101 data, sedangkan data frekuensi terkecil pada interval kecepatan angin 4,1 s.d 4,5 m/s yakni sebesar 0,85% dengan total 39 data. Kecepatan angin rata-rata (mean) selama 3 hari berturut-turut adalah 2,02 m/s. Median dan modus dari kecepatan angin tersebut adalah 2,3 m/s dan 2,2 m/s.

#### 2. Temperatur dan kelembaban

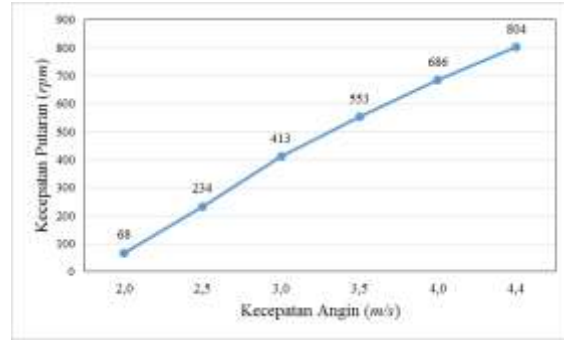
Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa rata-rata temperatur terendah dan rata-rata kelembaban tertinggi berada di hari ke 1 yaitu temperatur sebesar 76.65 dengan kelembaban 31.48 °C. Sedangkan rata-rata temperatur tertinggi dan rata-rata kelembaban terendah berada di hari ke 2 yaitu sebesar 31.48 °C dengan kelembaban 77.17.

Hari Ke-	Pukul	Temperatur	Rata-rata Temperatur	Kelembaban	Rata-rata Kelembaban
1	14.31 – 15.30	32	31.48	74.98	76.65
	15.31 – 16.00	31.36		77.32	
	16.31 – 17.30	31.3		77.67	
2	14.31 – 15.30	31.92	31.26	75	77.17
	15.31 – 16.00	31.28		76	
	16.31 – 17.30	30.57		80	
3	14.31 – 15.30	31.57	31.3	76	77.08
	15.31 – 16.00	31.66		76	
	16.31 – 17.30	30.67		80	

Gambar 2 Temperatur dan kelembaban

Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan di turbin angin *savonius* di pesisir pantai Demak memiliki perbandingan terbalik antara temperatur dan kelembaban. Berdasarkan data yang diperoleh selama 3 hari berturut-turut yang berlangsung di Desa Berahan Kulon, Kecamatan Wedung Kabupaten Demak bahwa kecepatan angin, temperatur dan kelembaban di pesisir pantai demak dapat di manfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga angin.

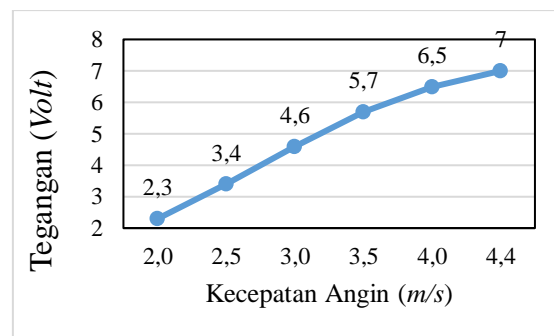
### 3. Kecepatan Putar Generator



Gambar 3 Kecepatan putar generator

Hasil data penelitian dari pengukuran kecepatan putaran generator diperoleh dengan menggunakan alat ukur tachometer digital untuk mengetahui kecepatan rotor turbin angin. Berdasarkan gambar 3, generator mulai berputar pada kecepatan angin 2,0 m/s dengan menghasilkan kecepatan putaran sebesar 68 rpm. Dan perputaran generator tertinggi pada kecepatan angin 4,4 m/s dengan menghasilkan putaran sebesar 804 rpm.

### 4. Tegangan Listrik

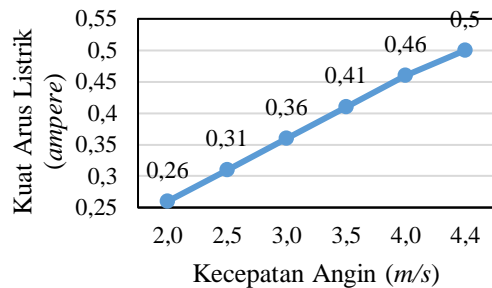


Gambar 4 Tegangan listrik

Pada data tegangan listrik tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin mulai dari 2,0 m/s mulai menghasilkan tegangan listrik sebesar 2,3 volt dan meningkat sesuai dengan kecepatan angin. Tegangan listrik

terbesar yang tercatat yaitu 7 volt pada kecepatan angin 4,4 m/s.

## 5. Kuat Arus



Gambar 5 Kuat arus

Pada data kuat arus listrik tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin mulai dari 2,0 m/s mulai menghasilkan kuat arus listrik sebesar 0,26 A dan meningkat sesuai dengan kecepatan angin. Kuat Arus listrik terbesar yang tercatat yaitu 0,5 A pada kecepatan angin 4,4 m/s.

## PEMBAHASAN

### 1. Potensi angin di pesisir pantai Demak sebagai pembangkit energi listrik

Berdasarkan data hasil pengukuran kecepatan angin seperti pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata selama 3 hari berturut-turut saat pengujian berlangsung di Desa Berahan Kulon, Kecamatan Wedung, Kabupaten Demak adalah 2,02 m/s. Menurut Pamungkas (2017) turbin angin *savonius* 1 fin dengan kecepatan angin 2,0 m/s mulai menghasilkan energi listrik. Hal ini dapat diartikan bahwa kecepatan angin di pesisir pantai

Demak sudah memenuhi batas minimal dari kecepatan angin untuk bisa menghasilkan energi listrik.

Berdasarkan data hasil pengukuran temperatur dan kelembaban yang ditunjukkan oleh Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata temperatur berbanding terbalik dengan kelembaban. Perbedaan temperatur dan kelembaban mendukung terjadinya gerakan udara. Semakin tinggi temperatur maka semakin rendah kelembaban udara, sehingga udara akan bergerak (Nurchayati, 2009). Hal ini dapat diartikan bahwa kondisi kelembaban dan temperatur di pesisir pantai demak mendukung terjadinya gerakan udara untuk berhembus.

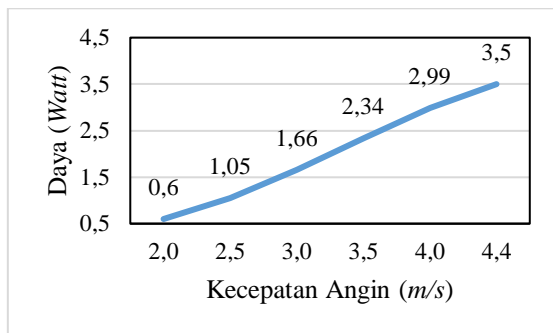
Berdasarkan data yang diperoleh selama 3 hari berturut-turut yang berlangsung di Desa Berahan Kulon, Kecamatan Wedung bahwa kecepatan angin, temperatur dan kelembaban di pesisir pantai demak dapat di manfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga angin.

### 2. Performansi turbin angin *Savonius* di daerah pesisir pantai demak

#### a. Kecepatan angin terhadap Daya listrik

Berdasarkan data hasil penelitian pada pengukuran tegangan listrik dan arus listrik, maka didapatkan besar daya listrik yang dihasilkan oleh generator turbin angin. Besar daya listrik yang dihasilkan merupakan hasil

kali antara tegangan listrik dengan arus listrik.

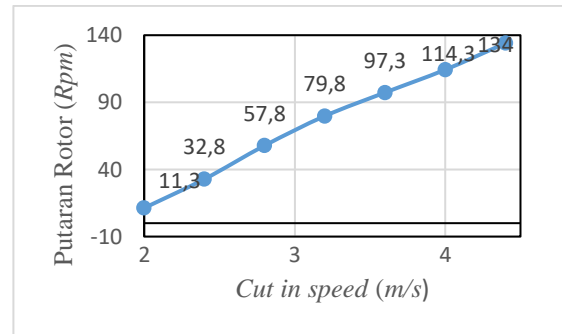


Gambar 6 Daya Listrik

Gambar 6 menunjukkan bahwa daya listrik tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 3,5 watt. Dari rentang kecepatan angin 2,0 s.d 4,4 m/s, daya listrik yang dihasilkan oleh generator cenderung mengalami peningkatan meskipun tidak secara signifikan. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar kecepatan angin maka terjadi peningkatan daya listrik yang dihasilkan.

### b. Kecepatan angin terhadap Putaran poros rotor turbin

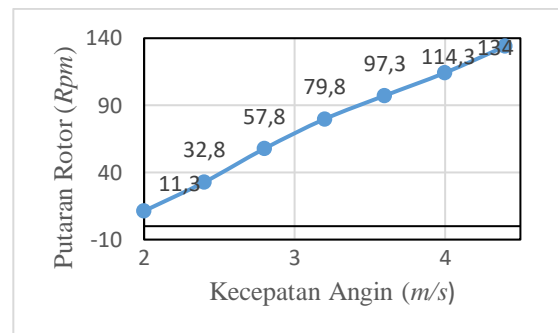
Kecepatan Putaran Rotor Turbin didapatkan dari data hasil kecepatan putaran generator dan besarnya rasio percepatan pulley. Besar rasio dari percepatan puli yang digunakan adalah 1:6 artinya setiap 1 putaran rotor turbin angin, maka rotor generator akan berputar 6x putaran. Ketika kecepatan rotor generator meningkat, maka besar tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator mengalami peningkatan, sehingga besar daya listrik meningkat.



Gambar 7 Kecepatan rotor turbin

### c. Cut in Speed

*Cut in speed* (kecepatan *cut in*) merupakan kecepatan angin terendah dimana turbin angin mulai menghasilkan daya bermanfaat. Salah satu kelebihan dari turbin angin *Savonius* terletak pada kemampuan untuk bekerja pada kecepatan angin yang rendah. *Cut in speed* turbin angin *Savonius* berbeda-beda sesuai dengan jumlah *fin* yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan *fin* dengan jumlah 1.



Gambar 7 Kecepatan putar generator turbin

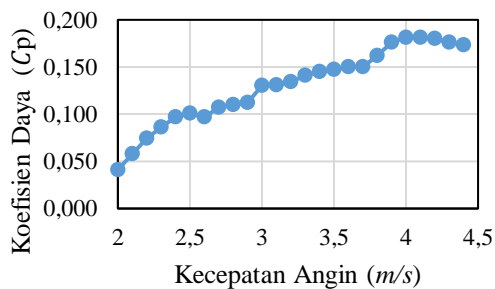
Gambar 7 menunjukkan bahwa *cut in speed* pada turbin angin *Savonius* dengan 1 *fin* dimulai dari kecepatan angin sebesar 2,0 m/s menghasilkan kecepatan putaran generator sebesar 68 rpm. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu oleh

Pamungkas (2017) bahwa *cut in speed* turbin angin *Savonius* dengan variasi 1 *fin* dimulai dari kecepatan angin 2,0 *m/s*.

**d. Performansi turbin angin *Savonius***

Performansi dari turbin angin *savonius* diperoleh dari besar tip speed ratio dan koefisien daya ( $C_p$ ). Tip speed ratio menampilkan perbandingan dari kecepatan putaran rotor turbin terhadap kecepatan angin sedangkan koefisien daya ( $C_p$ ) menunjukkan efisiensi turbin. Koefisien daya ( $C_p$ ) adalah perbandingan daya aktual yang dihasilkan dengan daya ideal turbin.

Pada gambar 8, menunjukkan bahwa koefisien daya tertinggi dari turbin angin *Savonius* dengan variasi 1 *fin* sebesar 0,181 pada kecepatan angin 4 *m/s*.



Gambar 9 *Tip speed ratio*

**3. Permasalahan dan Kendala**

Pengujian turbin angin *Savonius* di pesisir pantai Kabupaten Demak yang dilaksanakan selama 3 hari berturut-turut yaitu pukul 14.30 s.d 17.30 WIB hanya dilakukan dengan durasi selama 3 jam saja. Hal ini dikarenakan kondisi yang tidak menentu di daerah pesisir pantai Kabupaten Demak pada waktu malam hari dan dini hari yang sering terjadi hujan sehingga tidak dapat memungkinkan dalam pengambilan data diatas pukul 17.30 WIB.

Berdasarkan data pada Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 menunjukkan bahwa pada kecepatan angin tertinggi sebesar 4,4 *m/s*, menghasilkan kecepatan putar generator sebesar 804 *rpm* dengan tegangan listrik sebesar 7 *volt* serta kuat arus yang diperoleh sebesar 0,5 *ampere*. Dari data tersebut, maka dihasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 3,50 *watt*. Data perhitungan daya dapat dilihat pada Gambar 4.5. Hal ini menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan sangat kecil sedangkan pemakaian generator yang terpasang menggunakan masukan daya sebesar 200 *watt*. Daya yang

Gambar 8 Koefisien daya

Dan juga nilai dari TSR tertinggi berada di 1,75 pada kecepatan angin 4,4 *m/s*. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Pamungkas (2017) dan Mathew (2006) yang ditunjukkan pada Gambar Nilai TSR dan  $C_p$  dari Berbagai Jenis Turbin.



dihasilkan oleh turbin angin *Savonius* di pesisir pantai Kabupaten Demak ini sebesar 3,50 watt dengan transmisi pulley 1:6 dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Pamungkas (2017) yang dapat menghasilkan daya sebesar 13,40 watt dengan transmisi pulley 1:4 menunjukkan hasil daya terpaut sangat jauh meskipun rasio pulley yang digunakan sudah diperbesar.

Pada pemasangan turbin angin *Savonius* di pesisir pantai Kabupaten Demak yang terpasang di atas tower, mengalami kendala yaitu dengan rubuhnya turbin angin dari atas tower. Robohnya turbin angin *Savonius* ini diketahui pada waktu pagi hari dimana malam hari sebelumnya terjadi hujan deras. Kontruksi sambungan yang tidak dapat menahan kencangnya kecepatan angin pada saat badai menyebabkan turbin angin roboh. Hal ini mengakibatkan dilakukannya penyambungan kembali turbin angin *Savonius* di atas tower.

#### **D. PENUTUP**

##### **Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dan pembahasan yang telah dilakukan untuk mengetahui daya listrik yang dihasilkan dari turbin angin *Savonius* di pesisir pantai Demak, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Potensi angin yang ada di pesisir pantai Kabupaten Demak memiliki kecepatan angin rata-rata sebesar 2,02 m/s, dengan rata-rata temperatur dan kelembaban selama 3 hari pengujian sebesar 31.34 °C dan 76.96.
2. Performansi turbin angin *Savonius* yang terpasang di pesisir pantai Kabupaten Demak menghasilkan daya listrik tertinggi sebesar 3,5 watt dengan koefisien daya listrik sebesar 0,181 dan TSR (*Tip Speed Ratio*) sebesar 1,75.

##### **Saran**

Pengujian turbin angin ini perlu dilakukan dengan durasi yang lebih lama agar dapat diketahui pengaruh angin darat dan angin laut terhadap efektifitas daya listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik teknologi turbin angin.

Diperlukan pengembangan dari penggunaan generator yang lebih efektif untuk mendapatkan daya listrik yang lebih optimal. Selain itu, perlunya pengembangan konstruksi turbin angin yang lebih kokoh sambungannya untuk menghindari kerusakan pada saat badai angin datang. Dan juga, perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang arus listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik teknologi turbin angin *Savonius* terhadap pengisian baterai yang disesuaikan dengan

rencana kebutuhan beban di daerah tambak tersebut.

### Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada kedua orang tua saya, bapak-bapak dosen PTM UNS, tim ECCL UNS dan semua sahabat saya.

### DAFTAR PUSTAKA

- Affifudin, F., & Farid, S.H. (2012). Optimalisasi Tegangan Keluaran Dari Solar Cell Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari, *Jurnal Neutrino*, 4 (2), 164-177.
- Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi. (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*. Jakarta : Badan Pegkajian Dan Penerapan Teknologi
- Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi. (2018). *Outlook Energi Indonesia 2018*. Jakarta : Badan Pegkajian Dan Penerapan Teknologi
- Contained Energi Indonesia. (2018). *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Jakarta : PNPM Mandiri
- Daryanto. (2007). *Energi Masalah dan Pemanfaatannya bagi Kehidupan Manusia*. Yogyakarta: Pustaka Widyatama.
- Dewi, Marizka Lustia. (2010). *Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal dengan Modifikasi Rotor Savionus L untuk Optimasi Kinerja Turbin*. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Diah L, Pangestyuningtyas. (2013). *Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya terhadap Radiasi Matahari yang Diterima oleh Panel Surya Tipe Array Tetap*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Direktur Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi. (2016). *Statistik Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi 2016*. Jakarta : DIRJEN EBTKE
- Hossain, M.A. (2011). *Performance Evaluation of 1.68 kWp DC Operated Solar*
- Muin, H. (2017). *Studi Perbandingan Penggunaan Panel Surya Dengan Turbin Angin Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Di Kampus Universitas Sebelas Maret*. Skripsi. Surakarta : Universitas Sebelas Maret
- Pamungkas, S.F. (2017). *Performansi Turbin Angin Savonius Tipe S dengan Variasi Penambahan Fin pada Sudu dan Kecepatan Angin*. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Patel. M.R. (2006). *Wind and Solar Power Systems Design, Analysis, and Operation*. USA: Taylor & Francis Group, LLC.Pump with Auto Tracker using Microcontroller Based Data Acquisition System. ICME 11-RT-030.Savonius Wind Turbines. *Renewable and Sustainable Energi Riviews*, 16,3054-3064.
- Soelaiman F.A.T, Tandian P.N, dan Rosidin, N. (2007) *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol*, Laporan Penelitian ITB Bandung.
- Sudarto, Aris & B. Saragih. (2010). *Resume Pemanfaatan dan Pengembangan Energi Angin*. Jakarta: Kementrian ESDM-Dirjen EBTKE.
- Sugiyono, A. (2015). *Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini*. Tangerang : Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, BPPT