



Pengaruh pengarah angin dan kecepatan angin pada turbin savonius tiga sudu terhadap energi listrik yang dihasilkan

Sudirman Sudirman ^{a,1}, Hadi Santoso ^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Borneo Tarakan Jl. Amal Lama Kampung Enam No. 1 Tarakan, 77123 Indonesia

¹E-mail: sudirman.ftborneo@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 13 September 2020

Direvisi pada 26 September 2020

Disetujui pada 27 November 2020

Tersedia daring pada 30 November 2020

Kata kunci:

Savonius, pengarah angin, tiga sudu.

Keywords:

Savonius turbine, wind guide, three blades.

ABSTRAK

Turbin savonius adalah diantara jenis turbin yang dapat digunakan pada kecepatan angin rendah. Variasi jumlah sudu turbin savonius yaitu dua sudu, tiga sudu, dan empat sudu. Turbin savonius dengan tiga sudu memiliki performa yang lebih baik dalam menghasilkan kecepatan rotasi daripada dua dan empat sudu. Dimensi dan konstruksi yang sederhana dan murah serta perawatan yang mudah dapat dikembangkan dan digunakan oleh masyarakat. Pada penelitian ini penambahan pengarah angin dan kecepatan angin pada turbin savonius tiga sudu diamati untuk mengetahui pengaruhnya terhadap energi listrik yang dihasilkan. Pengamatan pada penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Pada kecepatan angin 5 m/s, prototipe turbin angin savonius tiga sudu menghasilkan tegangan listrik 2 Volt. Sedangkan saat menggunakan pengarah angin, tegangan listrik 2 Volt didapatkan pada kecepatan angin 4,5 m/s, sehingga penambahan pengarah angin pada prototipe turbin angin savonius tiga sudu dapat meningkatkan energi listrik yang dihasilkan. Selain itu variasi sudut pengarah angin terhadap arah datang angin juga mempengaruhi tegangan listrik yang dihasilkan. Pada variasi sudut 15, 20, 25, 30 derajat didapatkan sudut 20 derajat menghasilkan tegangan listrik maksimum untuk masing-masing kecepatan udara 1,8 m/s sampai dengan 4 m/s.

ABSTRACT

Savonius turbines are among the types of turbines that can be used at low wind speeds. The variations in the number of savonius turbine blades are two blades, three blades, and four blades. The three-blade savonius turbine performs better at producing rotational speed than the two and four blades. The dimensions and construction are simple and cheap and easy maintenance of this turbine can be developed and used by the community. In this study, the addition of wind directors and wind speed on the three-blade savonius turbine were observed to determine their effect on the electrical energy produced. Observations in this study were carried out by using the experimental method. At a wind speed of 5 m/s, the prototype three-blade savonius wind turbine produces a 2 Volt electric voltage. Meanwhile, when using a wind direction, a 2 Volt electric voltage is obtained at a wind speed of 4.5 m/s, so that the addition of a wind direction to the three-blade savonius wind turbine prototype can increase the electrical energy produced. In addition, variations in the wind direction angle to the direction of the wind also affect the resulting electrical voltage. In the variation of angles of 15, 20, 25, 30 degrees, the angle of 20 degrees is obtained which produces the maximum electric voltage for each air velocity of 1.8 m/s to 4 m/s.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9073>

1. Pendahuluan

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang perlu untuk dimaksimalkan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu cara untuk memanfaatkan energi angin yaitu dengan turbin angin. Energi listrik yang dihasilkan dari hembusan angin dikonversi melalui turbin angin yang memutar poros generator. Turbin savonius adalah salah satu jenis turbin angin yang banyak diteliti, dimana turbin angin ini dapat memanfaatkan hembusan angin dengan kecepatan rendah tanpa memperhatikan arah datang angin. Hal ini sesuai dengan kondisi angin di Indonesia yang memiliki kecepatan angin rendah

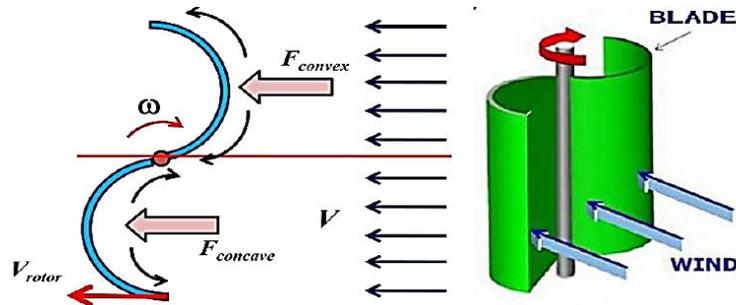


dan berubah-ubah. Berdasarkan hal tersebut, turbin savonius dapat digunakan di Indonesia dan khususnya di daerah penelitian yang akan diterapkan pada pengembangan penelitian lanjutan dari penelitian ini, yaitu di Kota Tarakan dan daerah-daerah di provinsi Kalimantan Utara [1].

Turbin savonius merupakan salah satu turbin angin sumbu vertikal. Memiliki struktur yang sederhana, kecepatan pengoperasian hembusan angin yang relatif rendah, dan kemampuan menangkap angin dari segala arah, namun turbin ini memiliki efisiensi aerodinamis yang rendah. Pembuatan turbin savonius juga lebih mudah karena dibentuk dengan desain yang sederhana [2]. Sudu turbin savonius yang berbentuk cekung saat menerima tekanan udara dan cembung saat berputar searah rotasi turbin menjadikan turbin savonius memiliki efisiensi yang cukup rendah dibandingkan dengan turbin jenis lainnya. Hal ini menjadi objek perhatian para peneliti untuk merencanakan bentuk dan perlakuan pada turbin savonius agar dapat meningkatkan performa turbin savonius [3].

Pada penelitian ini perlakuan terhadap turbin savonius yang dilakukan adalah dengan menggunakan pengarah angin tiga sudu pada turbin savonius. Tujuannya adalah agar aliran udara yang menuju turbin dapat terkonsentrasi pada sudu cekung dan meminimalkan udara pada sudu cembung. Sudut angin yang datang juga divariasikan sehingga didapatkan sudut yang paling optimum untuk menghasilkan tegangan listrik. Turbin savonius memiliki beberapa kelebihan diantaranya dapat memulai rotasi pada hembusan angin yang rendah dan kebisingan yang dihasilkannya cukup rendah dibandingkan dengan turbin angin pada umumnya, terutama turbin dengan sumbu horizontal. Dimensi dan konstruksi yang sederhana dan murah serta perawatan yang mudah menjadi kelebihan lainnya sehingga dapat dikembangkan untuk digunakan oleh masyarakat di perkotaan yang dapat ditempatkan di atap rumah, lampu jalan raya dan rambu-rambu listrik [4].

Turbin savonius memanfaatkan gaya drag dari sudu turbin untuk memutar poros turbin. Pada beberapa penggunaan dan penelitian yang sudah dilakukan, turbin savonius dapat terdiri dari dua, tiga, atau empat sudu. Prinsip kerja turbin savonius yaitu dengan memanfaatkan bentuk cekung dan cembung sudu yang membentuk huruf "S". Hal ini menyebabkan gaya yang mengenai masing-masing sudu memberikan perbedaan reaksi. Ketika sudu cekung tertiuip angin, maka angin akan mendorong sudu untuk berputar di sekitar poros turbin. Sedangkan sudu yang lain terkena angin pada bagian cembung yang menyebabkan angin dibelokkan ke samping sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 [5].



Gambar 1. Skema gaya yang berkerja pada turbin savonius akibat dorongan angin.

Karena kelengkungan sudu cembung yang dikenai angin mengalami gaya drag lebih kecil dibandingkan sudu cekung maka angin dapat memutar sudu-sudu turbin savonius. Karena alasan ini, turbin savonius mengekstraksi energi angin jauh lebih sedikit daripada turbin poros horizontal. Hal ini karena daya yang ditangkap sudu cekung digunakan juga untuk mengatasi gaya drag sudu cembung yang tertiuip angin. Sehingga turbin angin savonius memiliki efisiensi cukup rendah. Disamping itu turbin savonius memiliki kelebihan diantaranya, operasional turbin savonius tidak bergantung pada arah hembusan angin dan dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah yaitu 3 m/s sampai dengan 5 m/s [6]. Untuk menentukan kinerja turbin savonius maka dapat dinyatakan dengan koefisien torsi (C_t) dan koefisien daya (C_p) yang dibandingkan dengan Tip Speed Ratio (λ). Tip Speed Ratio dapat diartikan sebagai perbandingan kecepatan sudut sudu turbin savonius dan kecepatan hembusan angin yang dapat dituliskan sebagai berikut [7]:

$$\text{Tip Speed Ratio} = \frac{\omega \times d}{V}, \quad (4)$$

Keterangan:

ω = Kecepatan sudut sudu turbin (1/s)

d = Diameter sudu turbin savonius (m)

V = Kecepatan hembusan angin (m/s)

Perbandingan antara torsi aktual yang dihasilkan oleh sudu turbin dan torsi yang didapatkan secara teoritis yang terdapat pada angin merupakan parameter penting dalam pembahasan turbin savonius. Rasio dari keduanya disebut koefisien torsi,

$$T_T = \frac{\rho A_s d V^2}{4}, \quad (2)$$

$$C_t = \frac{4T_A}{\rho A_s d V^2}, \quad (3)$$

Keterangan:

T_T = Torsi teoritis (Nm)

C_t = Perbandingan antara torsi aktual sudu turbin (T_A) dan torsi teoritis (T_T)

T_A = Torsi aktual sudu turbin (Nm)

d = Diameter setengah dari silinder rotor (m)

ρ = Massa jenis udara, 1,225 kg/m³

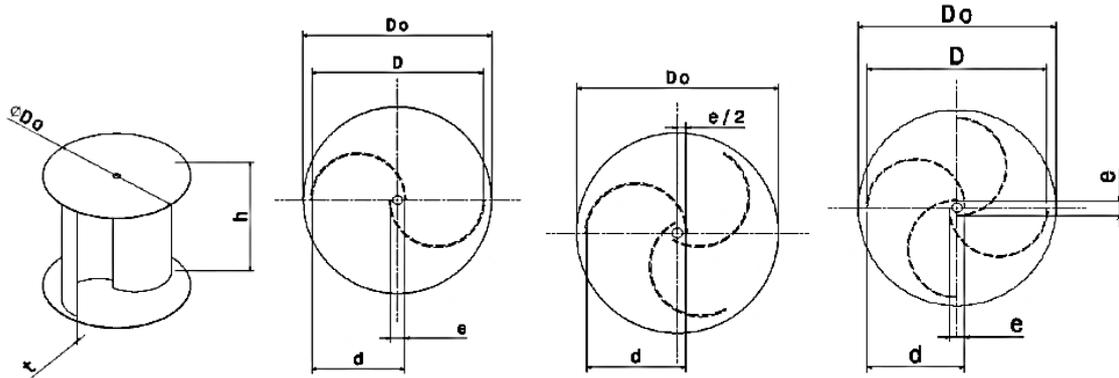
A_s = Luas sudu-sudu (m²), yaitu tinggi rotor × diameter rotor.

Perbandingan daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin (P_A) dan daya teoritis (P_T) yang tersedia pada angin merupakan parameter yang dapat menggambarkan performa turbin angin. Perbandingan ini disebut sebagai koefisien daya turbin (C_p), dimana didapatkan dengan menggunakan formula pada persamaan (4). Sedangkan daya maksimum turbin angin (P_A) ditentukan dengan menggunakan persamaan (5).

$$C_p = \frac{P_A}{P_T} = \frac{P_A}{\frac{1}{2} \rho A_s v^3}, \text{ dengan} \tag{4}$$

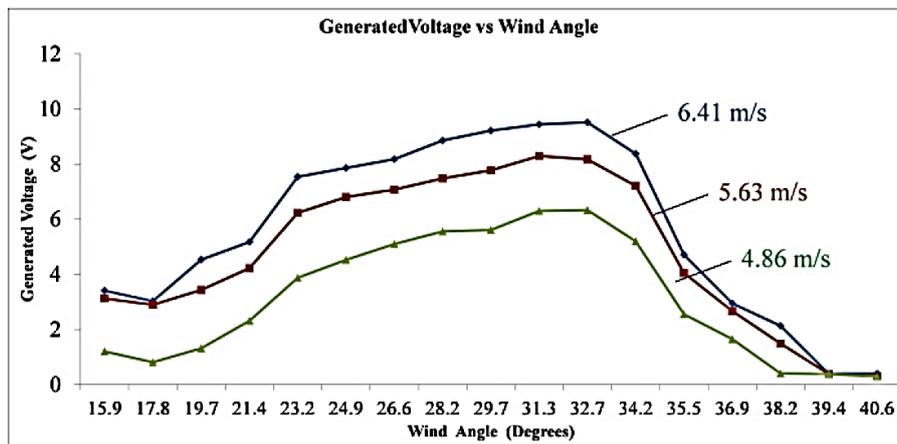
$$P_A = T \times \omega \text{ (watt)}. \tag{5}$$

Wenehenubun *et al.* (2015) mengamati performa turbin savonius dengan metode eksperimental untuk variasi dua sudu, tiga sudu, dan empat sudu. Kesimpulan yang diperoleh adalah, turbin dengan 3 sudu menghasilkan kecepatan rotasi dan rasio kecepatan tip yang lebih tinggi daripada dua dan empat sudu. Perbandingan kecepatan tip tertinggi adalah 0,555 pada kecepatan angin 7 m/s. Rotor turbin angin dengan empat sudu memiliki torsi tinggi dibandingkan dengan dua atau tiga sudu. Turbin angin empat sudu memiliki kinerja yang baik pada rasio kecepatan tip yang lebih rendah, tetapi turbin angin tiga sudu memiliki kinerja terbaik pada rasio kecepatan tip yang lebih tinggi [7].



Gambar 2. Percobaan menggunakan model turbin angin savonius dengan dua, tiga dan empat sudu rasio (e: d) = 0,15; rasio aspek (D: h) = 1.0 dan parameter pelat ujung (D0: D) = 1.1 [7].

Sumiati (2012) melakukan pengujian turbin savonius tiga sudu di daerah pesisir pantai dan didapatkan hasil yang kurang maksimal, sehingga dalam kesimpulan pengujian tersebut disarankan untuk menggunakan pengarah angin untuk mendapatkan putaran rotor turbin savonius yang lebih baik [8]. Penelitian lain yang dilakukan Kassem dan Çamur (2017) didapatkan bahwa torsi turbin angin savonius meningkat dengan bertambahnya ukuran sudu, ukuran pelat ujung dan kecepatan angin. Ukuran sudu dan bentuk ujung pelat memengaruhi torsi rotor model savonius. Ukuran ujung pelat secara langsung mempengaruhi torsi dari rotor turbin [9]. Promdee dan Photong (2016) melakukan penelitian dengan mengamati pengaruh sudut angin dan kecepatan angin terhadap tegangan listrik yang dihasilkan turbin angin savonius dengan terowongan angin ganda [10]. Penelitian tersebut menggunakan turbin savonius dua sudu. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sudut angin antara 23,2 - 34,2 derajat memberikan level tinggi dari tegangan yang dihasilkan ketika sudut angin 30 derajat memberikan tegangan tertinggi di antara sudut angin 0-90 derajat sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 3. Selain itu, turbin angin savonius dengan terowongan ganda dapat menghasilkan tegangan keluaran hampir di semua sudut angin yaitu 60-75 derajat, sedangkan turbin angin savonius konvensional tanpa terowongan hanya dapat menghasilkan tegangan pada kisaran sudut angin 17-38 derajat.



Gambar 3. Tegangan yang dihasilkan dari turbin angin savonius terowongan angin ganda pada sudut angin yang berbeda [10].

Alit *et al.* (2017) mengamati pengaruh konsentrator, diameter sudu dan jumlah pada kinerja turbin angin savonius. Konsentrator berfungsi untuk meningkatkan kecepatan angin, akibatnya penambahan konsentrator meningkatkan kecepatan putaran rotor, daya turbin, dan koefisien daya. Turbin angin dengan dua sudu menghasilkan rotasi yang stabil, sehingga memberikan kinerja terbaik dibandingkan dengan turbin savonius tiga dan empat sudu. Pada penelitian tersebut, penggunaan diameter sudu 12 cm paling sesuai untuk rasio konsentrator 6 : 1 [11].

Beberapa penelitian tentang turbin savonius yang telah disebutkan sebelumnya memiliki fokus pembahasan yang dilakukan yaitu, pengaruh jumlah sudu terhadap peningkatan performa turbin, dimana dihasilkan kesimpulan bahwa jumlah tiga sudu lebih optimum pada kondisi-kondisi yang telah disebutkan pada masing-masing hasil penelitian [7]. Sedangkan penelitian lainnya fokus pada penggunaan konsentrator aliran angin menuju sudu turbin savonius dengan dua sudu dan juga variasi sudut angin terhadap kinerja turbin savonius untuk menghasilkan energi listrik [10]. Pada penelitian ini digunakan turbin savonius tiga sudu dengan menambahkan konsentrator aliran angin dengan variasi sudut angin. Sehingga tujuan penelitian ini yaitu, mengetahui pengaruh penggunaan pengarah angin dan pengaruh kecepatan angin dan sudut datang angin terhadap energi listrik yang dihasilkan pada turbin angin tiga sudu. Pada

penelitian ini dihasilkan prototipe savonius turbin tiga sudu yang dapat digunakan untuk mengamati potensi energi angin sebagai sumber energi listrik. Hasil beberapa penelitian yang telah disebutkan di atas menjadi data pembanding untuk mengamati hasil yang diperoleh pada penelitian ini.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimen yang sebelumnya dilakukan kajian pustaka yang telah ditentukan menjadi data pembanding yang merupakan bagian dari bentuk validasi penelitian yang dilakukan. Dari hasil kajian pustaka yang dilakukan, didapatkan rencana penelitian dengan mengembangkan prototipe turbin savonius menggunakan tiga sudu menggunakan konsekrator aliran angin dengan variasi sudut angin, dimana peneliti sebelumnya menggunakan turbin savonius dua sudu [10]. Gambar 4 ditampilkan gambar turbin savonius yang digunakan pada penelitian ini. Parameter objek penelitian secara lengkap ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dimensi pengarah angin pada sisi panjang dan sisi pendek yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada dimensi pengarah angin yang digunakan oleh Altan dan Atilgan (2008) [12]. Konfigurasi dimensi pengarah angin tersebut menghasilkan kinerja yang lebih baik pada turbin savonius.



Gambar 4. Turbin savonius 3 sudu dan pengarah angin.

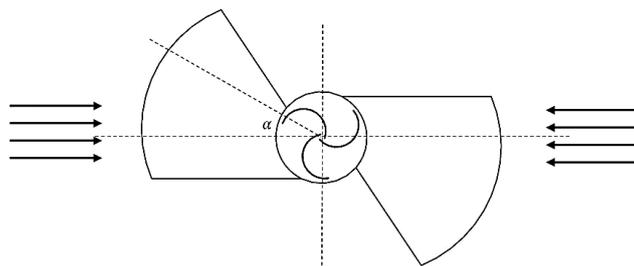
Tabel 1. Data dimensi pengarah angin.

Uraian Savonius	Dimensi
Tinggi (H)	290 mm
Sisi Panjang	525 mm
Sisi Pendek	440 mm

Tabel 2. Data dimensi savonius turbin.

Uraian Savonius	Dimensi
Diameter sudu (d)	150 mm
Gap (e) = $0.15 \times d$	22,5 mm
Tinggi sudu (h)	294 mm
Diameter luar (D_o) = $1.1 \times h$	323 mm
Ketebalan (t)	2 mm
Diameter sudu (d)	150 mm
Diameter sudu (d)	150 mm

Sudu turbin savonius yang digunakan pada penelitian ini tidak ada penambahan fin. Penambahan fin pada sudu turbin dapat meningkatkan kecepatan rotasional turbin savonius. Namun, penambahan tersebut harus dengan konfigurasi yang tepat, karena penambahan fin pada sudu turbin dengan konfigurasi yang kurang tepat justru akan menurunkan performa turbin savonius [13]. Jarak antar sudu turbin diatur proporsional dengan gap antar sudu sebesar 22,5 mm. Pada bilangan Reynolds yang rendah, jarak gap ini memberikan koefisien aerodinamis yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa ada gap antar sudu turbin [14].

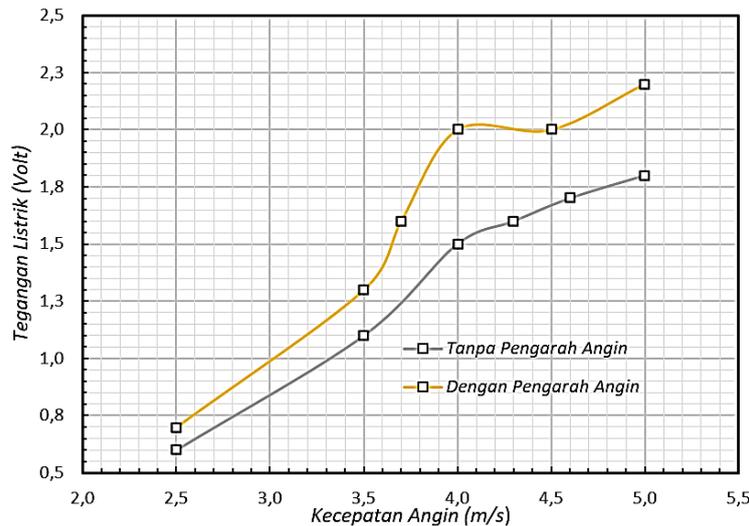


Gambar 5. Skema pengambilan data turbin savonius 3 sudu dengan variasi sudut angina.

Pengambilan data percobaan dilakukan dengan menghubungkan rotor turbin dengan generator 28 W, 140 V DC pada kecepatan udara 1,8 m/s sampai dengan 4 m/s dengan memvariasikan sudut angin (α) yang datang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Kecepatan angin diperoleh dari pengukuran langsung menggunakan anemometer, sedangkan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan diperoleh dengan menggunakan digital multimeter. Adapun kecepatan putaran turbin savonius diamati menggunakan tachometer. Data hasil penelitian kemudian dianalisis dan disajikan berupa data grafik hubungan kecepatan angin dan tegangan listrik yang dihasilkan serta data grafik hubungan kecepatan angin dan tegangan listrik turbin savonius dengan pengarah angin dan variasi sudut datang angin [10].

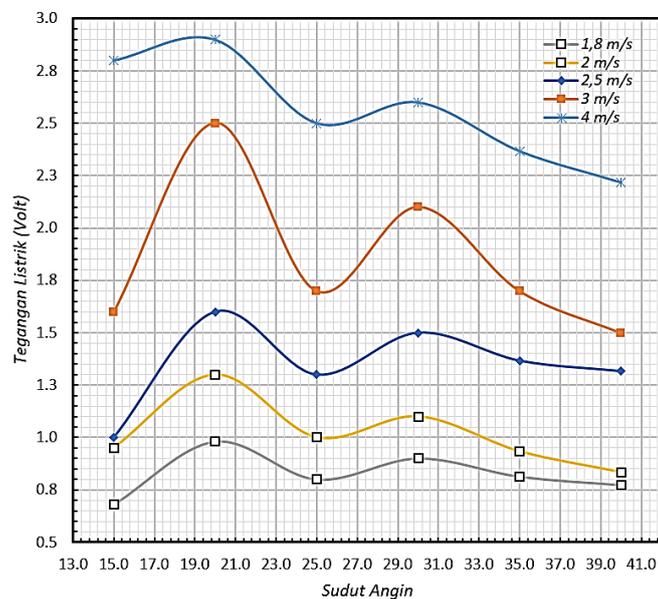
3. Pembahasan

Pengambilan data eksperimen tegangan listrik yang dihasilkan yaitu data savonius turbin tanpa pengarah angin dan dengan pengarah angin, kemudian dibandingkan melalui data grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan kecepatan angin dan tegangan listrik turbin savonius dengan pengarah angin dan tanpa pengarah angin.

Hasil pengujian terhadap turbin savonius dengan pengarah angin menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan pengarah angin pada semua variasi kecepatan yang diujikan. Pada kecepatan 2,5 m/s turbin savonius dengan pengarah angin dan tanpa pengarah angin menghasilkan tegangan listrik masing-masing 0,6 Volt dan 0,7 Volt atau terjadi peningkatan 14 %. Pada kecepatan 5 m/s peningkatan tegangan listrik pada turbin savonius tanpa pengarah angin dibandingkan dengan turbin savonius menggunakan pengarah angin yaitu sebesar 18%. Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa penggunaan turbin savonius dengan penambahan pengarah angin dapat meningkatkan tegangan listrik yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto *et al.* (2016), bahwa kecepatan hembusan angin berbanding lurus dengan peningkatan torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin savonius sehingga memiliki gaya yang cukup untuk memutar sumbu generator untuk meningkatkan nilai tegangan listrik yang dihasilkan [15]. Selanjutnya diamati pula sudut optimum antara arah angin datang dan pengarah angin yang paling baik agar dihasilkan tegangan listrik tertinggi. Pada penelitian ini digunakan variasi sudut 15° sampai sudut 30° dengan rentang antar variasi sebesar 5° . Pada masing-masing variasi sudut dilakukan pengambilan data variasi kecepatan 1,8 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s dan 4 m/s. Hasil pengamatan terhadap variasi yang telah ditentukan, ditampilkan pada Gambar 7. Pada gambar tersebut ditampilkan grafik hubungan antara variasi sudut angin dan kecepatan angin terhadap peningkatan tegangan listrik yang dihasilkan.



Gambar 7. Grafik hubungan kecepatan angin dan tegangan listrik turbin savonius dengan pengarah angin dan variasi sudut datang angin

Pada Gambar 7 terbentuk tren grafik yang identik pada setiap variasi kecepatan dan variasi sudut. Pada sudut 20° dihasilkan tegangan listrik paling tinggi dari variasi sudut lainnya pada setiap variasi kecepatan. Sedangkan saat sudut 25° terjadi penurunan tegangan pada setiap variasi. Pada variasi sudut 30° terjadi peningkatan tegangan listrik yang dihasilkan, namun masih lebih rendah dibandingkan pada sudut 20° dan terus berkurang dengan bertambahnya variasi sudut yang diterapkan. Hal ini berbeda dengan sudut maksimum yang diperoleh pada penelitian Promdee dan Photong (2016), dimana sudut datang angin yang menghasilkan tegangan maksimum berada antara sudut 23,2° - 34,2° [10]. Jumlah sudu yang digunakan pada penelitian tersebut adalah turbin savonius dengan dua sudu, sedangkan pada penelitian ini menggunakan turbin savonius tiga sudu.

4. Kesimpulan

Pengamatan pengaruh pengarah angin dan kecepatan angin pada turbin savonius tiga sudu terhadap energi listrik yang dihasilkan telah dilakukan. Keunggulan turbin angin savonius yang dibuat pada penelitian ini memiliki kelebihan diantaranya dapat memulai rotasi di bawah kekuatan angin yang rendah dan kebisingan yang dihasilkan cukup rendah dibandingkan dengan turbin angin pada umumnya, terutama turbin dengan sumbu horizontal. Dimensi dan konstruksi yang sederhana dan murah serta perawatan yang mudah menjadi kelebihan lain pada turbin ini, sehingga dapat dikembangkan untuk digunakan oleh masyarakat di perkotaan yang dapat ditempatkan di atap rumah, lampu jalan raya dan rambu-rambu listrik. Dari sisi performa turbin savonius tiga sudu dengan menggunakan pengarah angin, pada kecepatan angin 5 m/s prototipe turbin angin savonius tiga sudu menghasilkan tegangan listrik 2 Volt. Sedangkan saat menggunakan pengarah angin, tegangan listrik 2 Volt didapatkan pada kecepatan angin 4,5 m/s. Sehingga didapatkan bahwa penambahan pengarah angin pada prototipe turbin angin savonius tiga sudu pada penelitian ini dapat meningkatkan energi listrik yang dihasilkan. Pada variasi sudut 15, 20, 25, 30 derajat didapatkan sudut 20 derajat menghasilkan tegangan listrik maksimum untuk masing-masing kecepatan udara 1,8 m/s sampai dengan 4 m/s.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh rekan dosen dan tendik pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Borneo Tarakan atas dukungan dan bantuannya selama proses penelitian dilakukan. Demikian pula ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak, Universitas Borneo Tarakan atas dukungan fasilitas yang telah disediakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fadllullah, A., Riyanto, S., & Sudirman. (2019) Pengembangan aplikasi analisis potensi angin sebagai sumber energi terbarukan menggunakan estimasi parameter Weibull berbasis metode *power density* (Studi kasus: Kota Tarakan). *Jurnal Inovtek Polbeng*, vol. 09, no. 01, pp. 129-137.
- [2] Mahmud, N. H., El-Haroun, A. A., Wahba, E., & Nasef, M. H. (2012). An experimental study on improvement of savonius rotor performance. *Alexandria Engineering Journal*, vol. 51, pp. 19–25.
- [3] Sanusi, A., Soeparman, S., Wahyudi, S., & Yulianti, L. (2017) Performance Analysis of a Combined Blade Savonius Wind Turbines. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 54–62.
- [4] Babalas, D., Bafounis, E., Divanis, I., Psomas, E., & Simadopoulos, A., "coordinator P.N. Mpotsaris". (2015). *Design of a Savonius Wind Turbine*. Greece: Democritus University of Thrace.
- [5] Ali, M. H. (2013) Experimental comparison study for savonius wind turbine of two and three blades at low wind speed. *Int. J. Modern Eng. Research (IJMER)*, vol. 3, no. 5, pp. 2978-2986.
- [6] Rudianto, D., & Ahmadi, N. (2016). Rancang bangun turbin angin savonius 200 watt. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Kedirgantaraan (SENATIK)*, vol. 2, pp. KoE 71-75. ISSN: 2528-1666.
- [7] Wenehenubun, F., Saputra, A., & Sutanto, H. (2015). An experimental study on the performance of savonius wind turbines related with the number of blades. *Energy Procedia*, vol. 68 pp. 297 – 304.
- [8] Sumiati, R. (2012). Pengujian turbin angin savonius tipe U tiga sudu di lokasi Pantai Air Tawar Padang. *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 26-32.
- [9] Kassem, Y., & Çamur, H. (2017). A numerical study of a newly developed of savonius wind turbine style on increasing the performance of savonius wind rotor. *American Journal of Modern Energy*, vol. 3, no 6, pp. 115-120.
- [10] Promdee, C., & Photong, C. (2016). Effects of wind angles and wind speeds on voltage generation of savonius wind turbine with double wind tunnels. *Procedia Computer Science*, vol. 86, pp. 401 – 404.
- [11] Alit, I. B., Sutanto, R., Mara, I. M., & Mirmanto, M. (2017). Effect of concentrator, blade diameter and blade number on the savonius wind turbine performance. *Asian Journal of Applied Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 343–351.
- [12] Altan, B. D., & Atılğan, M. (2008). An experimental and numerical study on the improvement of the performance of savonius wind rotor. *Energy Conversion and Management*, vol. 49, no. 12, pp. 3425–3432.
- [13] Hasan, O. D. S., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2013). Studi eksperimental vertical axis wind turbine tipe savonius dengan variasi jumlah fin pada sudu. *Jurnal Teknik ITS*, vol. 2, no. 2, hal. B350–B355.
- [14] Morshed, K. N., Rahman, M., Molina, G., & Ahmed, M. (2013). Wind tunnel testing and numerical simulation on aerodynamic performance of a three-bladed savonius wind turbine. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 4, no. 18, pp. 4–18.
- [15] Hariyanto, R., Soeparman, S., Denny, W., & Mega, N. S. (2016). Analysis the vortex effect on the performance of savonius windmill based on CFD (computational fluid dynamics) simulation and video recording. *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 6, no. 3, pp. 1015-1021.