

Prototipe Turbin Angin Savonius Empat Sudu Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Pengisian Baterai

Melda Latif^{1*}, Alfarizi¹, Mumuh Muharam¹, Heru Dibyo Laksono¹,
Syukri Yunus¹, Abdul Rajab¹, Fitrilina²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas Padang, melda_latif@eng.unand.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

ABSTRAK

The Vertical Axis Wind Turbine is very suitable for use in areas with low wind speeds. One type of vertical axis wind turbine is the Savonius wind turbine. This research makes a prototype of a four blade Savonius wind turbine. The controller circuit consists of a Boost Converter circuit and an astable multivibrator. At a speed of 2.7 m/s, the wind turbine starts to rotate and produces a no-load voltage of 0.3 V. At a speed of 3.7 m/s a voltage of 2 V is generated and can charge the battery. By using an LED (Light Emitting Diode) in the controller circuit, the charged battery can be a source of voltage in the controller circuit and the LED indicator light can be lit.

Kata kunci: wind energy, power plant, Savonius, Boost Converter

1. PENDAHULUAN

Proses terjadinya angin disebabkan adanya perbedaan tekanan udara dari suatu daerah ke daerah lain karena perbedaan penerimaan panas sinar matahari pada beberapa daerah. Perbedaan penerimaan panas matahari menyebabkan terjadinya perbedaan suhu dan tekanan. Daerah yang menerima banyak panas sinar matahari akan mengalami pemuaihan udara dan memiliki tekanan udara yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang sedikit menerima panas sinar matahari. Udara yang berada pada daerah yang bertekanan tinggi atau daerah dingin akan bergerak menuju ke daerah yang bertekanan rendah atau daerah panas [1].

Kecepatan angin pada beberapa daerah bervariasi. Kecepatan angin skala rendah dikategorikan kecepatan di bawah 4 m/s. Sedangkan kecepatan angin dari 4 sampai 5 m/s dikategorikan kecepatan angin skala menengah dan kecepatan angin besar di atas 5 m/s [2].

Energi angin dapat menghasilkan listrik dengan pemanfaatan turbin angin. Secara umum, tempat yang terbaik untuk pemasangan turbin angin adalah celah di antara gunung atau bukit, dataran terbuka dan kawasan pantai.

Berdasarkan arah putaran porosnya, turbin angin terbagi dua, yaitu turbin angin sumbu horizontal (HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (VAWT). Turbin angin yang umum digunakan adalah turbin angin

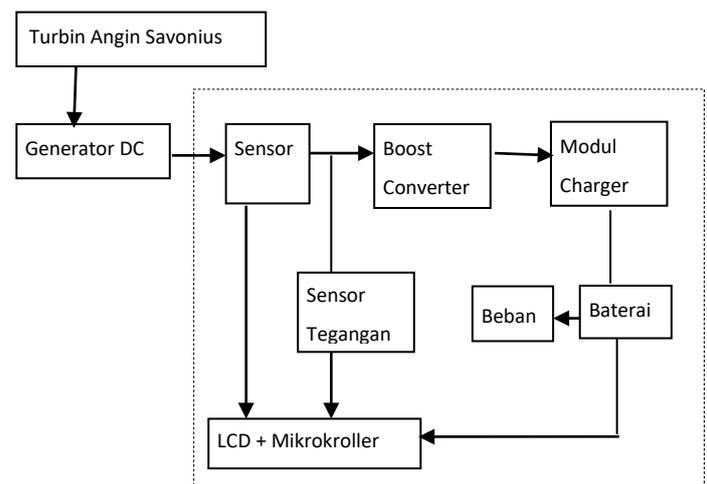
sumbu horizontal, tetapi untuk kecepatan angin skala rendah, turbin angin sumbu vertikal lebih cocok digunakan [3,4]. Turbin ini tidak membutuhkan ketinggian dan bisa dipasang di atas permukaan tanah.

Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal, yaitu turbin angin tipe Savonius. Baling-baling turbin ini bisa dibuat dengan material yang banyak dijumpai, seperti galon air [5], dan PVC [6,7].

Penelitian ini merancang suatu turbin angin Savonius sederhana menggunakan PVC sebagai bahan baling-baling. Untuk membangkitkan listrik digunakan generator DC. Tegangan yang dihasilkan generator dihubungkan ke LED dan dua baterai kering 3.7 V yang digunakan sebagai sumber untuk mikrokontroler. Tegangan yang dihasilkan oleh generator akan terbaca di mikrokontroler. Jadi ini merupakan suatu sistem yang saling berkaitan.

2. TEORI DAN METODE PENELITIAN

Gambar 2.1 memperlihatkan diagram balok penelitian yang dikerjakan.

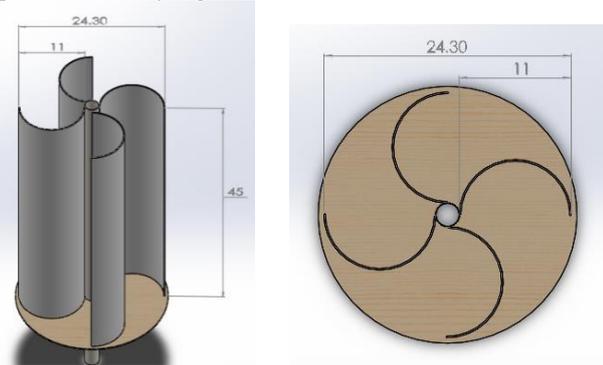


Gambar 2.1 Diagram balok prototipe Turbin Angin Savonius.

2.1 Sudu Turbin Savonius.

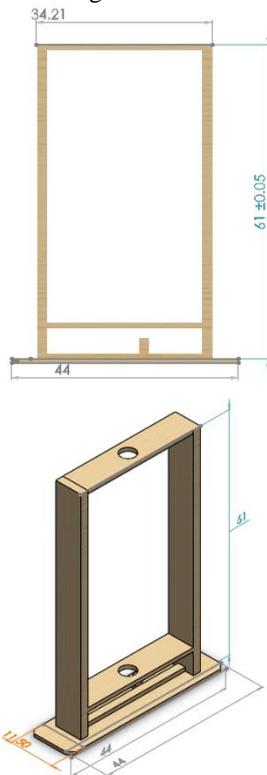
Sudu turbin Savonius yang dibuat di penelitian ini menggunakan bahan PVC sebanyak empat buah. Disain sudu yang dibuat dapat dilihat di gambar 2.2 Susunan sudu dibuat searah, supaya gaya gerak sudu saling

memperkuat ketika angin datang ke turbin, sehingga putaran turbin yang dihasilkan semakin besar.



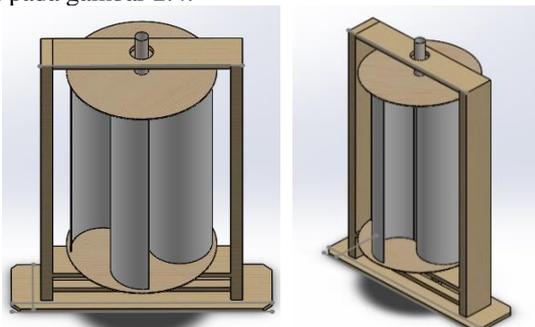
Gambar 2.2 Desain Sudu Tampak Samping dan Tampak Atas

Untuk memperkokoh berdirinya turbin, dibuat kerangka turbin. Bentuk disain kerangka turbin dapat dilihat di gambar 2.3.



Gambar 2.3 Desain kerangka turbin Savonius

Desain akhir prototipe turbin angin Savonius dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Bentuk Prototipe Turbin Angin Savonius

2.2 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip speed ratio adalah perbandingan kecepatan ujung sudu turbin angin terhadap kecepatan angin yang datang. *Tip speed ratio* merupakan faktor yang penting dalam mendesain turbin angin, yang ditentukan berdasarkan rasio kecepatan tangensial pada ujung sudu dengan kecepatan angin sebenarnya. Persamaan TSR dapat dilihat di persamaan 2.1[8].

$$\lambda = \frac{(l+r)\omega}{v} \quad (2.1)$$

dimana: λ = *tip speed ratio*

l = panjang lengan sudu (m)

r = jari-jari poros (m)

ω = kecepatan sudut sudu (rad/s) = $\frac{2\pi n}{60}$

n = kecepatan putar sudu (rpm)

v = kecepatan angin (m/s)

2.3 Generator DC

Untuk mengubah energi gerak turbin menjadi energi listrik, digunakan generator DC. Generator yang digunakan pada penelitian ini menghasilkan tegangan maksimal 12 V pada putaran 3300 – 4300 rpm. Bentuk fisik dari generator tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5.

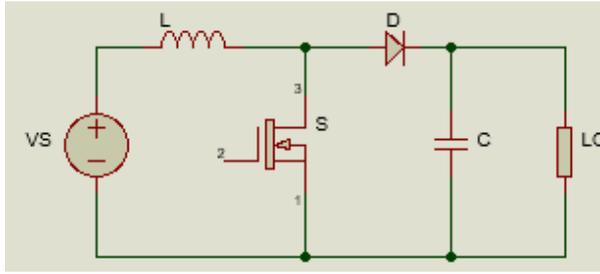


Gambar 2.5 Generator DC

Karena putaran turbin tidak konstan, maka tegangan yang dihasilkan generator DC juga tidak konstan. Agar output tegangan AC bisa konstan, ditambahkan rangkaian kontrol. Rangkaian kontrol tersusun dari rangkaian *Boost Converter* dan rangkaian kontrol PWM.

2.4 Boost Converter

Boost Converter adalah rangkaian elektronika daya yang berfungsi menaikkan tegangan input DC. Bentuk umum rangkaian Boost Converter dapat dilihat di gambar 2.6. Sumber tegangan DC (V_s) terhubung ke induktor (L). Komponen elektronika daya (S) berfungsi sebagai switch. Dioda (D) terhubung ke kapasitor (C) yang terhubung paralel dengan beban (*Load*).



Gambar 2.6 Rangkaian Boost Converter [9]

Persamaan rangkaian *Boost Converter* dapat dilihat di persamaan 2.2 [10].

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{T_s}{t_{off}} = \frac{1}{1-D} \quad 2.2$$

dimana V_o = tegangan output di beban (V)

V_s = tegangan input atau tegangan sumber (V)

T_s = periode switching (s)

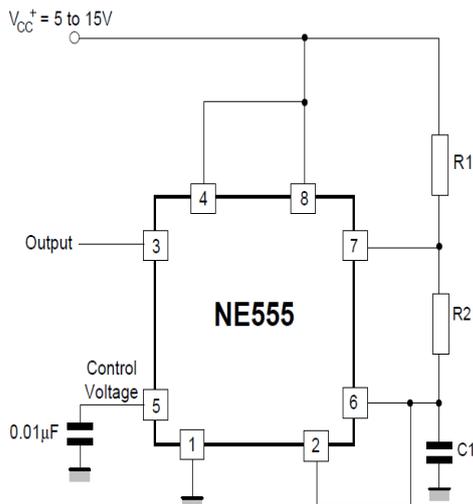
T_{off} = waktu switch dalam kondisi off (s)

D = *duty cycle*.

Apabila tegangan sumber diketahui dan tegangan output ditentukan, maka *duty cycle* bisa ditetapkan nilainya. Untuk mendapatkan tegangan output lebih besar dari tegangan input, maka nilai *duty cycle* harus lebih besar dari 50%.

2.5 Rangkaian Kontrol PWM

Rangkaian kontrol PWM (Pulse Width Modulation) bertujuan untuk menghasilkan sinyal PWM. Sinyal PWM adalah sinyal yang diberikan ke switch saat on dan off. Penelitian ini menggunakan IC NE 555 sebagai komponen utama di rangkaian multivibrator astabil. Rangkaian ini dapat dilihat di gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian multivibrator astabil.

Apabila resistor R_1 dan *duty cycle* diketahui maka nilai resistor R_2 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.3 [11].

$$D = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} \quad 2.3$$

Nilai kapasitor yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.4) [11].

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) C_1} \quad 2.4$$

2.6 Mikrokontroler

Perancangan rangkaian controller menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang dihubungkan dengan sensor arus, sensor tegangan dan LCD (*Liquid Crystal Display*). Arduino Uno berfungsi untuk mengolah data yang diterima dari pembacaan sensor arus dan sensor tegangan, dan memberikan perintah untuk menampilkan hasil pembacaan sensor arus dan tegangan pada LCD.

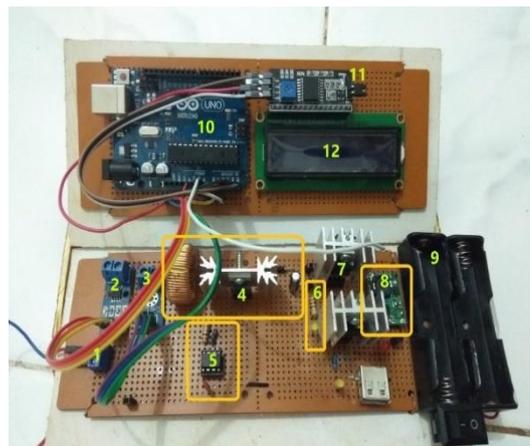
2.7 Baterai

Baterai yang digunakan sebagai penyimpan adalah baterai kering. Baterai ini digunakan sebagai sumber tegangan untuk mikrokontroler Arduino dan IC NE 555. Tegangan input minimal yang dibutuhkan Arduino sebesar 6 V. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut digunakan baterai kering sebanyak 2 buah yang dirangkai seri.

2.8 Modul Charger

Untuk pengisian baterai isi ulang lithium 2A digunakan modul charger. Modul ini dilengkapi dengan dua lampu indikator yaitu lampu merah yang menunjukkan status baterai dalam kondisi mengisi muatan dan lampu biru yang menunjukkan status baterai dalam kondisi penuh.

Rangkaian controller dapat dilihat di gambar 2.8 dengan urutan input (1), sensor arus (2), sensor tegangan (3), *Boost Converter* (4), multivibrator astabil (5), beban resistor dan LED (6), IC Regulator (7), modul charger (8), *Holder* baterai (9), Arduino Uno (10), I2C LCD (11), LCD (12).



Gambar 2.8 Rangkaian controller

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

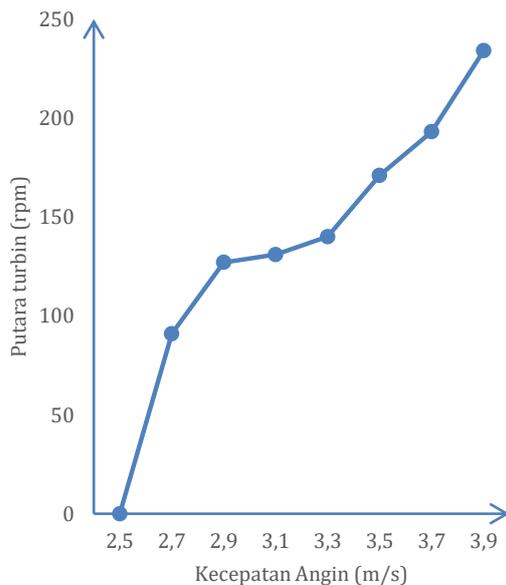
Pengujian prototipe turbin angin Savonius dan rangkaian controller yang telah dibuat dilakukan di pantai Padang, Sumatera Barat. Bentuk prototipe rangkaian uji dapat dilihat pada gambar 3.1.



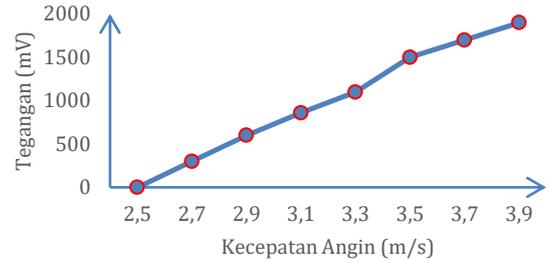
Gambar 3.1 Rangkaian Pengujian

Akibat perputaran turbin angin Savonius, maka generator DC akan menghasilkan tegangan. Arus yang dihasilkan dari tegangan DC dinaikkan dengan *Boost Converter* dan digunakan untuk mengisi (*charging*) dua baterai kering. Baterai ini digunakan sebagai sumber tegangan untuk mikrokontroler Arduino Uno.

Pembacaan alat ukur memperlihatkan bahwa turbin bisa menghasilkan tegangan dimulai dari kecepatan angin 2,7 m/s. Gambar 3.2 adalah kurva putaran turbin dan tegangan yang dihasilkan untuk kondisi belum terhubung ke beban.



a.



b.

Gambar 3.2 Putaran turbin (a) dan tegangan generator (b) dengan kecepatan angin skala rendah.

Berdasarkan gambar 3.2, putaran turbin akan semakin cepat sebanding dengan kecepatan angin yang menerpa turbin. Pada kecepatan angin 2,5 m/s turbin angin tidak bisa berputar. Ini dikarenakan gaya yang menahan pergerakan turbin lebih besar daripada daya angin yang menerpa turbin. Penyebab lainnya karena sudu turbin angin bekerja kurang maksimal saat ditiup angin. Hal tersebut dikarenakan luas sapuan sudu turbin angin cukup kecil yaitu $7,77 \text{ dm}^2$, dan jarak antar ujung sudu cukup dekat berkisar 11 cm, tiang kayu penahan turbin yang berada di kiri dan kanan turbin juga sedikit menghalangi sudu turbin saat ditiup angin, dan angin yang mengenai punggung sudu juga sedikit menahan putaran turbin.

Turbin mulai berputar pada kecepatan angin 2,7 m/s, dengan kecepatan putaran turbin sebesar 91 rpm dan menghasilkan tegangan sebesar 300 mV. Generator menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 1,9 V pada kecepatan angin 3,9 m/s dengan kecepatan putar turbin 234 rpm.

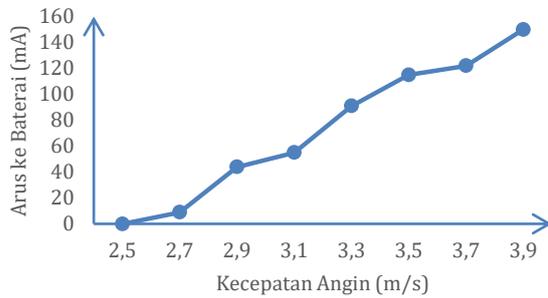
Seperti diagram balok pada gambar 2.1, untuk pengisian baterai, generator dihubungkan dulu ke Boost Converter. Setelah baterai dimuati oleh arus yang berasal dari generator, baterai menjadi sumber untuk beban resistor dan lampu LED.

Tabel 3.1 memperlihatkan tegangan generator dan arus pengisian baterai. Proses pengisian baterai bisa dilakukan ketika kecepatan angin 3,7 m/s, karena tegangan yang dihasilkan generator sudah di atas tegangan baterai.

Tabel 3.1 Data Pengisian Baterai

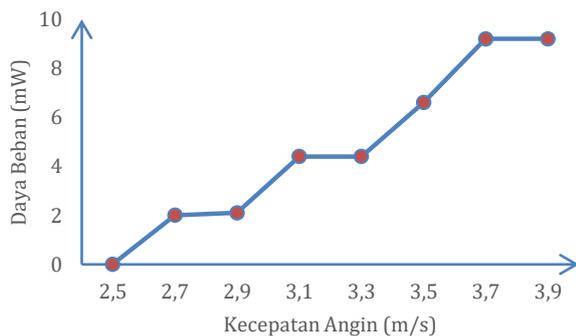
Kecepatan Angin (m/s)	V_c (V)
2,5	0
2,7	2,7
2,9	4
3,1	4,4
3,3	5,2
3,5	6,3
3,7	7,2
3,9	7,5

Arus ke baterai untuk kecepatan angin dari 2,5 m/s sampai 3,9 m/s dapat dilihat di gambar 3.3. Arus pengisian terjadi mulai dari kecepatan angin 3,7 m/s dengan arus 122 mA.



Gambar 3.3 Kurva arus ke baterai

Baterai yang telah terisi penuh akan dijadikan sebagai sumber tegangan untuk beban resistor dan LED. Baterai ini juga dijadikan sebagai sumber tegangan ke rangkaian mikrokontroler Arduino Uno. Daya yang diserap oleh beban resistor 200 Ω dan LED diperlihatkan di gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kurva daya beban resistor dan LED

Daya tertinggi yang diserap beban diperoleh dari kecepatan angin 3,7 m/s dan 3,9 m/s sebesar 9,2 mW. Pada kecepatan ini, lampu LED dapat menyala penuh. Lampu LED sudah bisa menyala redup pada kecepatan angin 2,7 m/s.

Hasil perhitungan *Tip Speed Ratio* dari pengujian turbin angin Savonius menggunakan persamaan (2.1). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan *Tip Speed Ratio*

No	Kecepatan Angin (m/s)	λ (TSR)
1	2,5	0
2	2,7	0,07
3	2,9	0,087
4	3,1	0,087
5	3,3	0,087
6	3,5	0,098

No	Kecepatan Angin (m/s)	λ (TSR)
7	3,7	0,118
8	3,9	0,119

Tabel 3.2 menunjukkan nilai TSR terendah diperoleh dari pengujian pada kecepatan angin 2,7 m/s yaitu 0,07. Nilai TSR sebesar 0,119 merupakan nilai TSR terbesar dengan kecepatan angin 3,9 m/s. Dari data tabel disimpulkan bahwa nilai TSR dipengaruhi oleh kecepatan angin, semakin besar kecepatan angin yang menerpa turbin angin Savonius, maka nilai TSR turbin angin Savonius akan semakin besar.

Hasil perhitungan efisiensi berupa efisiensi berbeban dan efisiensi *charging* baterai dapat dilihat di tabel 3.3 dan table 3.4.

Tabel 3.3 Efisiensi Berbeban

No	Kecepatan Angin (m/s)	η (%)
1	2,5	0
2	2,7	0,36
3	2,9	0,3
4	3,1	0,53
5	3,3	0,44
6	3,5	0,55
7	3,7	0,64
8	3,9	0,55
Efisiensi rata-rata		0,48

Tabel 3.3 menunjukkan efisiensi generator turbin angin Savonius dalam keadaan berbeban resistor 200 ohm dan lampu LED. Efisiensi terendah diperoleh sebesar 0,3%. Sedangkan efisiensi tertinggi diperoleh sebesar 0,64%. Hasil efisiensi ini sangat kecil. Salah satu faktor penyebabnya karena pembebanan menggunakan resistor yang digunakan cukup bernilai besar yang menyebabkan arus yang diperoleh menjadi kecil, sehingga diperoleh daya *ouput* yang kecil.

Tabel 3.4 Efisiensi beban saat *Charging* Baterai

No	Kecepatan Angin (m/s)	η (%)
1	2,5	-
2	2,7	4,42
3	2,9	25,9
4	3,1	29,16
5	3,3	47,32
6	3,5	60,37
7	3,7	61,85

8	3,9	67,78
Efisiensi rata-rata		42,4

Tabel 3.4 menunjukkan bahwa efisiensi yang diperoleh saat *charging* baterai lebih tinggi daripada saat berbeban. Efisiensi terendah saat *charging* diperoleh sebesar 4,2% dengan kecepatan angin 2,7 m/s. Efisiensi tertinggi diperoleh dari kecepatan angin 3,9 m/s yaitu sebesar 67,78%.

KESIMPULAN

Prototipe pembangkit listrik tenaga angin tipe Savonius empat sudu berbahan PVC bisa berputar pada kecepatan angin 2,7 m/s. Prototipe pembangkit listrik menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 1,9 V. Prototipe pembangkit listrik mampu menghidupkan lampu LED dengan redup pada kecepatan angin 2,7 m/s dengan tegangan 2 V dan daya 0,002 W. Prototipe pembangkit listrik membutuhkan kecepatan angin minimal 3,7 m/s dengan nilai tegangan 7,2 V dan daya 0,878 W. Efisiensi maksimum prototipe pembangkit listrik yaitu rata-rata 0,48% beban resistor dan LED dan 42,4% saat mengisi baterai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas atas pembiayaan dana penelitian ini dengan nomor kontrak 081/UN.16.09.D/PL/2020.

REFERENSI

- [1] S W Wasiati, F A Augusta, V R P Purwanto, P Wulandari, and A Syahrirar, "Darrieus Type Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Design", *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, BIS-ASE 2019.
- [2] H. Wallbrink F.B. Koek, "Historical Wind Speed Equivalents Of The Beaufort Scale, 1850-1950.
- [3] Muhd Khudri Johari*, Muhammad Azim A Jalil, Mohammad Faizal Mohd Shariff, " Comparison of Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) and Vertical Axis Wind Turbine (VAWT), *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4,13), 74-80, 2018.
- [4] M. Latif, "Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah," *Jurnal Elekrika Rekayasa*, vol. 10, 2013.
- [5] AT Sayers, "Blade Configuration Optimization and Performance Characteristics of a Simple Savonius Rotor", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Sage journals, August 1, 1985.
- [6] Dendy Adanta, et all, " Feasibility Study of PVC Pipes as Vertical Axis Wind Turbines Type Savonius Bucket for Remote Areas Application, *International Journal on Energy Conversion (IRECON)*, 9(2):41-47, March 2021.
- [7] D. Patabang, "Rancang Bangun Kincir Angin Savonius untuk Membangkitkan Energi Listrik Skala Kecil," *Mekanikal*, vol. 1, p. 2, 2010.

- [8] W. Tong, "Fundamentals of Wind Energy", Kollmorgen Cooperation, 2010.
- [9] Muhammad H, Rashid, "Power Electronics, Circuits, Devices and Applications", 2nd edition, Prentice Hall International, Inc, 1993.
- [10] U. R. Mohan, "Power Electronics "Converters, Applications, and Design", Canada, John Wiley & Sons, Inc, 1995
- [11] A. Bachri, "Simulasi Karakteristik Inverter IC 555", *Teknika*, Volume 5, 2013