

---

# **Jurnal** ***Rekayasa Elektrika***

---

VOLUME 10 NOMOR 3

APRIL 2013

---

**Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah**

147-152

*Melda Latif*

---

|     |         |       |             |                           |                                      |
|-----|---------|-------|-------------|---------------------------|--------------------------------------|
| JRE | Vol. 10 | No. 3 | Hal 115-159 | Banda Aceh,<br>April 2013 | ISSN. 1412-4785<br>e-ISSN. 2252-620x |
|-----|---------|-------|-------------|---------------------------|--------------------------------------|

# Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah

Melda Latif

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas Padang  
Kampus Limau Manis, Padang 25163  
e-mail: meldaLatif@ft.unand.ac.id

**Abstrak**—Energi angin dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Berdasarkan sumbu putar, turbin angin terdiri dari dua macam, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu vertikal mempunyai beberapa macam nama, antara lain turbin Darrieus, turbin Savonius dan turbin H. Penelitian ini merancang dan membangun prototipe turbin Savonius sederhana untuk kecepatan angin skala kecil dengan beban resistor 200 ohm dan LED. Material yang digunakan untuk pembuatan prototipe turbin Savonius adalah pelat aluminium. Bahan ini ringan dan mudah didapatkan. Pengujian dilakukan di daerah pantai. Generator yang digunakan adalah generator sinkron magnet permanen. Tegangan yang dihasilkan generator semakin menaik saat kecepatan angin semakin bertambah. Turbin angin Savonius mulai berputar pada kecepatan angin 2.4 m/s. Efisiensi rata-rata turbin Savonius untuk beban terhubung Y adalah 4.8% dan untuk beban terhubung  $\Delta$  adalah 14.5%.

**Kata Kunci:** *prototipe turbin savonius, kecepatan angin, permanent magnet generator, efisiensi*

**Abstract**—Wind energy can be transformed into electrical energy using wind turbine. Based on rotation axis, there are two types of wind turbine, namely turbine with horizontal axis and the one with vertical axis. Turbine with vertical axis has been known with various names that are Darrieus turbine, Savonius turbine and H turbine. This research designed and implemented a prototype of simple Savonius turbine for small scale wind speed. Resistor with resistance of 200 ohm and LED are used as the load. Material of the prototype is aluminium plate, which is light and easy to find. The experiment was conducted at the beach. Permanent magnet synchronous generator was chosen for generating equipment. Voltage resulted by the generator increased as the wind speed increased. The prototype began rotating at wind speed 2.4 m/s. Average efficiency for Y and  $\Delta$  connected load are 4.8% and 14.5% respectively.

**Keywords:** *savonius turbine prototype, wind speed, permanent magnet generator, efficiency*

## I. PENDAHULUAN

Energi angin merupakan salah satu bentuk sumber energi listrik yang dapat digunakan dengan gratis. Kawasan yang berpotensi memiliki angin yang banyak antara lain daerah pegunungan dan daerah pantai. Sumatera Barat memiliki banyak pantai seperti pantai Carolina di kota Padang dan pantai Ketaping di kota Pariaman. Berdasarkan data BMKG kota Padang tahun 2010, Kota Padang dan Pariaman adalah daerah dengan kecepatan angin yang termasuk dalam kategori kecepatan rendah ( $\leq 7$  m/s). Untuk mengekstrak energi angin menjadi energi listrik digunakan suatu sistem konversi energi angin (SKEA) dengan menggunakan turbin angin.

Pada umumnya bentuk turbin angin yang banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*-HAWT), walaupun begitu turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*-VAWT) menjadi alternatif untuk menghasilkan energi listrik disebabkan oleh beberapa keuntungannya. Salgolzaei [1] menyatakan bahwa VAWT memiliki kecepatan putar rendah tetapi memiliki torka tinggi. Sementara, Atmadi et. al [2] dan Adnan [3] mendiskusikan VAWT memiliki

keuntungan seperti desain yang sederhana, *tip speed ratio* yang rendah sehingga tidak rusak pada kecepatan tinggi, dan bilah turbin angin yang memiliki arah vertikal dimana gerakan sudu sejajar arah angin sehingga turbin akan responsif terhadap arah angin dan tidak memerlukan yaw mechanism sebagai pengatur arah turbin. Peneliti lain yaitu M.R. Islam et al. [4] memperkirakan bahwa beberapa tahun ke depan teknologi VAWT akan menunjang biaya produksi yang murah di samping bahwa VAWT hanya memerlukan ruang untuk instalasi yang tidak luas.

Dalam perkembangannya, penelitian tentang VAWT ini diarahkan pada pembuatan dan penerapan dengan biaya murah seperti VAWT dapat beroperasi pada *tip speed* rendah, dapat dioperasikan pada ketinggian yang mendekati permukaan daratan, dan juga material baling-baling turbin yang tidak mahal [5]. Untuk itu dalam penelitian ini dirancang suatu prototipe yang dianggap cukup murah secara ekonomi [6,7] sehingga dapat diaplikasikan oleh masyarakat pada umumnya.

Dalam penelitian ini dibahas tentang perancangan prototipe turbin Savonius dan juga penghitungan efisiensi dari turbin yang dirancang tersebut dengan memberikan beban resistor 200 ohm dan beban LED.

II. LATAR BELAKANG

Angin adalah udara yang bergerak sebagai akibat adanya perbedaan tekanan udara. Angin mengalir dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat dengan tekanan udara rendah. Kecepatan angin dapat diperkirakan dari pengamatan atau spesifikasi kejadian alam. Sir Francis Beaufort (1774-1857) membuat skala angin dari 0 (tenang) sampai 12 (badai). Biasanya BMKG menggunakan satuan knot untuk pengukuran kecepatan angin. Tapi, dalam beberapa alat ukur, seperti anemometer, satuan yang dipakai adalah m/s. Dari data BMKG Padang, kota Padang umumnya mempunyai kecepatan angin rata-rata berkisar dari Beaufort number 0 s/d 4.

A. Hubungan Kecepatan Dan Daya

Sistem konversi energi angin (SKEA) merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik poros turbin untuk kemudian diubah lagi oleh generator menjadi energi listrik.

$$\text{Energi Kinetik} = \frac{1}{2}mv^2 \tag{1}$$

Daya angin adalah energi per satuan waktu, maka:

$$P_r = \frac{1}{2}(\text{mass flow rate per second}).v^2$$

$$= \frac{1}{2}(C_p Av)v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \tag{2}$$

dimana :

- $P_r$  = daya mekanik angin (Watt)
- $C_p$  = koefisien daya,  $C_p < 0,6$ , yang dipakai 0,15
- $\rho$  = kerapatan udara (  $\text{km}/\text{m}^3$  )
- $A$  = luas area turbin (  $\text{m}^2$  )
- $v$  = kecepatan udara (  $\text{m}/\text{s}^2$  )

Tabel 1. Skala angin Beaufort [9]

| Beaufort number | Approximate speed at 6.1 m above the ground |         |         |           |
|-----------------|---------------------------------------------|---------|---------|-----------|
|                 | mph                                         | km/h    | Knots   | m/s       |
| 0               | <1                                          | <1      | <1      | <0.5      |
| 1               | 1-3                                         | 1-5     | 1-3     | 0.5-1.7   |
| 2               | 4-7                                         | 6-11    | 4-6     | 1.8-3.5   |
| 3               | 8-12                                        | 12-19   | 7-10    | 3.6-5.7   |
| 4               | 13-18                                       | 20-29   | 11-16   | 5.8-8.4   |
| 5               | 19-24                                       | 30-39   | 17-21   | 8.5-11.1  |
| 6               | 25-31                                       | 40-50   | 22-27   | 11.2-14.2 |
| 7               | 32-38                                       | 51-61   | 28-33   | 14.3-17.3 |
| 8               | 39-46                                       | 62-74   | 34-40   | 17.4-20.9 |
| 9               | 47-54                                       | 75-85   | 41-47   | 21.0-24.5 |
| 10              | 55-63                                       | 89-101  | 48-55   | 24.6-28.5 |
| 11              | 64-73                                       | 102-118 | 102-118 | 28.6-33.0 |
| 12              | 74+                                         | 119+    | 64+     | 33.1+     |

B. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Dengan menggunakan turbin angin, energi angin bisa dirubah menjadi energi listrik. Pada bagian ini dibahas tentang turbin angin sumbu vertikal (VAWT).

Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin yang memiliki gerakan sudu sejajar dengan arah angin. Turbin angin jenis ini memiliki struktur yang lebih sederhana. Turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin yang dapat digunakan pada kecepatan angin yang bervariasi dengan arah yang berbeda-beda. Tidak seperti turbin angin sumbu horizontal, turbin angin jenis ini memiliki kecepatan putar yang rendah dengan torka yang tinggi [3].

Turbin angin sumbu vertikal dikenal dengan beberapa nama dan bentuk antara lain turbin Darrieus, turbin Savonius dan turbin H. Gambar 1 memperlihatkan beberapa bentuk turbin angin sumbu vertikal.

Turbin angin Savonius pertama kali diperkenalkan oleh seorang insinyur Finlandia yang bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin Savonius adalah turbin angin yang memiliki bentuk dan konstruksi yang sangat sederhana sehingga dalam proses pembuatannya pun tidak memerlukan biaya yang mahal. Turbin angin Savonius adalah salah satu jenis turbin angin yang digerakkan dengan gaya drag. Turbin ini terdiri atas dua hingga tiga bucket atau sudu yang disusun sedemikian rupa sehingga jika dilihat dari atas akan terlihat seperti membentuk huruf S.

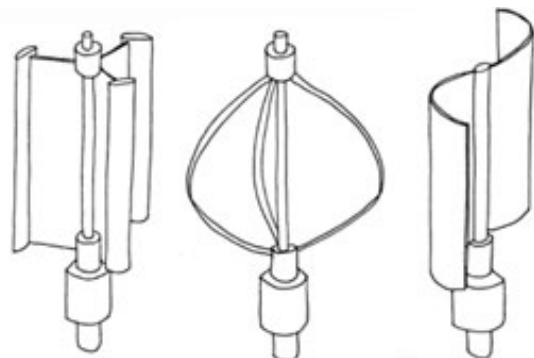
Pada turbin angin Savonius luas penampang sapuan turbin adalah panjang diameter bucket turbin ( $D$ ) dikali tinggi turbin ( $h$ ), atau secara matematis dapat digambarkan pada persamaan:

$$A = D.h \tag{3}$$

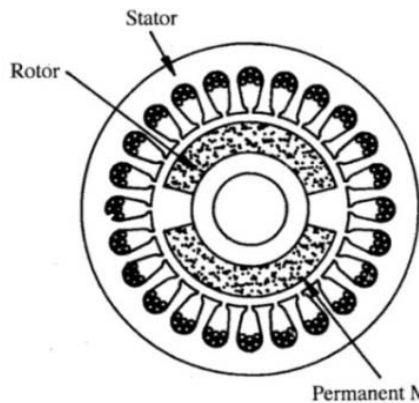
Turbin angin tipe Savonius memiliki koefisien daya (CP) dan tip speed ratio (tsr) yang kecil. harga koefisien daya (CP) berkisar antara 0.08 hingga 1.50 dan harga tip speed ratio (tsr) berkisar antara 0.5 hingga 1.2 [3].

Untuk mengetahui kemampuan torka dari turbin savonius terhadap gerakan generator dinyatakan dengan Persamaan (4) berikut ini [10].

$$P_T = T.\omega_m = T.\frac{2\pi n_g}{60} \tag{4}$$



Gambar 1. Turbin angin sumbu vertikal



Gambar 2. Penampang generator sinkron magnet permanen dengan dua kutub [11]

dimana

$T$  = Torka

$n_s$  = kecepatan sinkron generator (rpm).

### C. Generator Sinkron Magnet Permanen

Generator sinkron atau alternator adalah generator yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron bekerja pada kecepatan sinkron [10]. Gambar 2 memperlihatkan konstruksi dari magnet permanen.

$$n_s = \frac{120f}{p} \tag{5}$$

dimana,

$n_s$  = kecepatan sinkron generator (rpm)

$f$  = frekuensi (Hz)

$P$  = jumlah kutub.

Prinsip kerja generator sinkron adalah berdasarkan hukum induksi elektromagnetik Faraday dimana jika suatu konduktor sepanjang  $l$  digerakkan dengan kecepatan konstan  $v_r$  rpm pada suatu medan magnet homogen  $B$  maka pada konduktor tersebut akan dibangkitkan tegangan induksi (ggl) sebesar  $e$ .

$$e = Blv_r \tag{6}$$

dimana,

$e$  = tegangan induksi generator (V)

$B$  = medan magnet (Wb/m<sup>2</sup>)

$l$  = panjang belitan (m)

$v_r$  = kecepatan putar (rpm).

Pada kondisi berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar adalah reaksi yang timbul karena adanya interaksi antara fluksi yang timbul karena adanya arus mengalir pada belitan jangkar dengan fluksi pada belitan medan rotor. Reaksi jangkar bersifat reaktif dan disebut reaktansi magnetisasi ( $X_m$ ). Reaktansi magnetisasi ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor ( $X_a$ ) dikenal sebagai reaktansi sinkron ( $X_s$ ),

$$E_a = V + IR_a + jIX_s \tag{7}$$

$$X_s = X_m + X_a \tag{8}$$

dimana:

$E_a$  = tegangan induksi pada jangkar (volt)

$V$  = tegangan terminal output (volt)

$R_a$  = resistansi jangkar ( $\Omega$ )

$X_s$  = reaktansi sinkron ( $\Omega$ ).

Hubungan antara daya aktif (daya berbeban) dari generator sinkron terhadap tegangan adalah seperti Persamaan (9) [11].

$$P_L = \frac{E_a V}{X_s} \sin \delta \tag{9}$$

dimana  $\delta$  adalah sudut torka antara  $E_a$  dan  $V$ ( $^\circ$ )

Efisiensi diperoleh:

$$\eta = \frac{P_L}{P_T} \times 100\% \tag{10}$$

dimana:

$\eta$  = efisiensi prototipe (%)

$P_L$  = daya beban (W)

$P_T$  = daya mekanik turbin (W).

Sedangkan efisiensi rata-rata yang dihasilkan adalah:

$$\bar{\eta} = \frac{\sum_{n=1}^n \eta_n}{n} \times 100\% \tag{11}$$

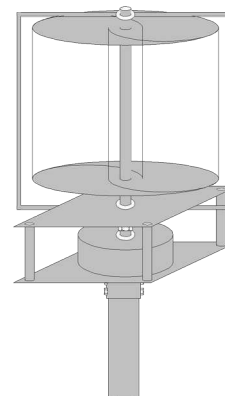
### III. METODE

Pada bab ini dijelaskan tentang perancangan prototipe turbin Savonius dan teknik pengujian prototipe tersebut sehingga diperoleh efisiensi dari turbin.

#### A. Pembuatan Prototipe Turbin Savonius

Prototipe yang dibuat mempunyai bentuk seperti tabung yang memiliki dua bucket sejajar dengan arah yang berlawanan seperti terlihat pada Gambar 3. Adapun untuk dimensi dan spesifikasi Turbin dapat dilihat pada Tabel 2.

Dimensi dan spesifikasi turbin Savonius yang dirancang seperti terlihat pada Tabel 2 menggunakan bahan-bahan sedemikian sehingga biaya pembuatan



Gambar 3. Bentuk prototipe turbin Savonius yang dirancang

Tabel 2. Dimensi dan spesifikasi turbin

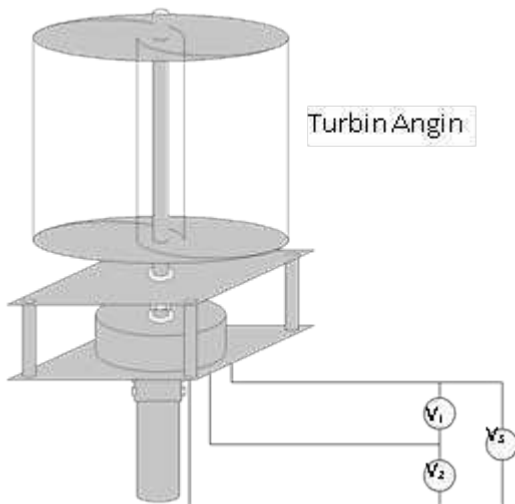
| Elemen                | Dimensi                                         | Spesifikasi                                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Bucket                | diameter = 30 cm, tinggi = 40 cm                | pelat seng alumunium                                                                    |
| Plat Penahan Bucket   | diameter = 30 cm                                | triplek 9 mm dicat                                                                      |
| Poros Turbin          | panjang = 65 cm, diameter = 1.5 cm              | besi                                                                                    |
| Penyangga turbin      | 17 x 17 cm, tinggi tiang penyangga = 11.67 cm   | plat besi<br>pipa besi                                                                  |
| Penjepit Poros Turbin | diameter dalam = 1.6 cm, diameter luar = 5.3 cm | pipa besi                                                                               |
| Generator             | diameter = 20 cm                                | Generator sikron 3-fasa Air-X, 6 kutub exitasi, 400 watt, max tegangan output = 34 volt |

menjadi murah. Hal ini dilakukan sesuai dengan arah perkembangan teknologi VAWT yang menuju biaya murah dan juga dengan turbin skala kecil untuk dapat mengkonversi angin menjadi energi listrik [4], [5] dan [7]. Salah satu elemen terpenting dari turbin angin Savonius adalah *bucket*, yaitu elemen sudu yang mengarahkan angin untuk menggerakkan turbin. Bahan untuk *bucket* ini adalah seng alumunium yang harganya murah dan tersedia di mana-mana.

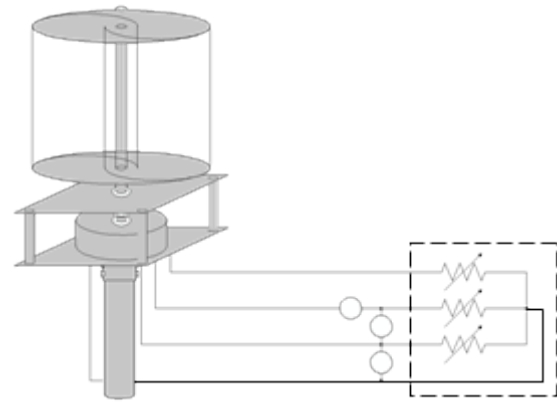
B. Teknik Pengujian

Pengujian turbin angin yang dirancang menggunakan empat metode yaitu pengujian tanpa beban, pengujian berbeban resistor 200 Ω terhubung Y, pengujian berbeban 200 Ω terhubung Δ dan pengujian berbeban LED seperti terlihat pada Gambar 4-7.

Gambar 4 memperlihatkan pengujian turbin angin tanpa beban. Pengujian ini dilakukan untuk melihat karakteristik generator sinkron apabila kecepatan angin terus meningkat. Pada pengujian turbin angin kondisi tanpa beban dilakukan pengukuran tegangan dan putaran turbin angin terhadap kecepatan angin. Dari kecepatan putar yang diperoleh kemudian dihitung frekuensi listrik



Gambar 4. Rangkaian pengujian tanpa beban



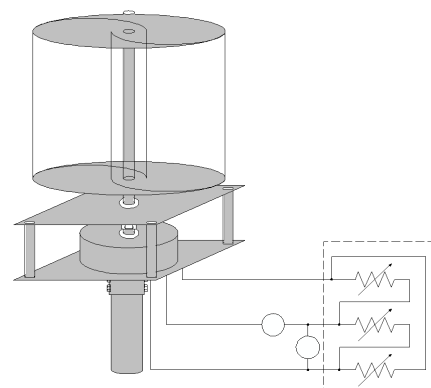
Gambar 5. Rangkaian pengujian beban 200 Ω terhubung Y

yang dibangkitkan.

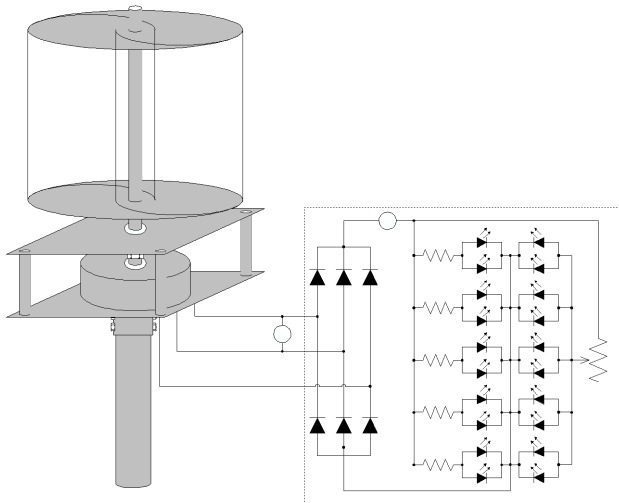
Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan pengujian prototipe turbin Savonius beban resistor 200 Ω. Pada Gambar 5 beban terhubung Y, sedangkan pada Gambar 6 beban terhubung Δ. Efisiensi diperoleh dengan menggunakan Persamaan (10) dan efisiensi rata-rata menggunakan Persamaan (11).

Gambar 7 memperlihatkan pengujian LED. LED yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis LED putih super bright yang terdiri atas dua kelompok. Setiap kelompok terdiri atas sepuluh LED. Pada kelompok pertama semua LED dihubung paralel dan diberi tahanan depan berupa sebuah resistor variabel dengan tahan maksimal 5 kΩ. Sedangkan pada kelompok kedua setiap dua buah LED dihubung paralel dan diberi tahanan depan 1 kΩ sehingga akan terdiri atas lima kelompok LED yang sama. Tujuan LED dirangkai seperti ini adalah agar pada kondisi tegangan kecil kelompok LED pertama dapat menyala lebih dulu dengan syarat resistor variabel diset pada nilai nol. Dan LED kelompok kedua baru dapat menyala pada tegangan yang lebih besar. Namun, agar LED kelompok pertama tidak rusak ketika tegangan semakin besar, resistor variabel diset pada nilai tertentu. Beban LED dihubungkan pada generator melalui sebuah penyearah tiga fasa.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dilaksanakan di tepi Pantai Padang. Hal ini dilakukan untuk melihat kemampuan Turbin Angin Savonius yang dirancang bekerja sesuai dengan karakteristik angin secara alami, sehingga rugi-rugi yang terjadi diasumsikan



Gambar 6. Rangkaian pengujian beban 200 Ω terhubung Δ



Gambar 7. Rangkaian pengujian beban LED

berasal dari perancangan Turbin dan juga generator yang digunakan, hal ini untuk menghindari rugi-rugi *drawback* dari percobaan menggunakan terowongan angin dikarenakan dimensi terowongan angin dan sudu turbin yang berbeda.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tanpa Beban

Tabel 3 memperlihatkan bahwa kecepatan putar yang dihasilkan turbin meningkat dengan semakin naiknya kecepatan angin. Kecepatan putar maksimal yang dihasilkan pada pengujian ini adalah 531 rpm pada kecepatan angin 4.9 m/s dan frekuensinya adalah 26.55 Hz.

B. Pengujian dengan Beban 200 Ohm Hubungan Y

Pada pengujian prototipe turbin Savonius beban resistor 200 ohm terhubung Y, daya beban yang dihasilkan semakin meningkat dengan semakin bertambahnya

Tabel 3. Hasil pengujian tanpa beban

| v (m/s) | VLL(V) | VLN(V) | vr(rpm) | f(hz) |
|---------|--------|--------|---------|-------|
| 2.3     | 0.21   | 0.12   | 97      | 4.85  |
| 2.5     | 0.34   | 0.20   | 132     | 6.6   |
| 2.7     | 0.48   | 0.28   | 161     | 8.05  |
| 2.9     | 0.97   | 0.56   | 183     | 9.15  |
| 3.1     | 1.11   | 0.64   | 223     | 11.15 |
| 3.3     | 1.25   | 0.72   | 258     | 12.9  |
| 3.5     | 1.34   | 0.77   | 284     | 14.2  |
| 3.7     | 1.48   | 0.85   | 336     | 16.8  |
| 3.9     | 1.61   | 0.93   | 362     | 18.1  |
| 4.1     | 1.74   | 1.00   | 409     | 20.45 |
| 4.3     | 1.99   | 1.15   | 448     | 22.4  |
| 4.5     | 2.13   | 1.23   | 467     | 23.35 |
| 4.7     | 2.29   | 1.32   | 489     | 24.45 |
| 4.9     | 2.43   | 1.40   | 531     | 26.55 |

Tabel 4. Hasil pengujian dengan beban 200 Ω terhubung Y

| v (m/s) | IL(A)  | PL(W)    | PT(W) | η(%) |
|---------|--------|----------|-------|------|
| 2.4     | 0      | 0        | 0.7   | 0.0  |
| 2.6     | 0.0054 | 0.005832 | 0.9   | 0.6  |
| 2.8     | 0.0105 | 0.02205  | 1.2   | 1.9  |
| 3       | 0.0126 | 0.031752 | 1.5   | 2.2  |
| 3.2     | 0.0145 | 0.04205  | 1.8   | 2.4  |
| 3.4     | 0.0172 | 0.059168 | 2.2   | 2.7  |
| 3.6     | 0.0245 | 0.12005  | 2.6   | 4.6  |
| 3.8     | 0.0281 | 0.157922 | 3.1   | 5.1  |
| 4       | 0.033  | 0.2178   | 3.6   | 6.0  |
| 4.2     | 0.0437 | 0.381938 | 4.2   | 9.1  |
| 4.4     | 0.0481 | 0.462722 | 5.6   | 8.2  |
| 4.6     | 0.0503 | 0.506018 | 6.4   | 7.9  |
| 4.8     | 0.0521 | 0.542882 | 7.3   | 7.4  |
| 5       | 0.0547 | 0.598418 | 8.3   | 7.3  |
| 5.2     | 0.0572 | 0.654368 | 9.3   | 7.1  |

kecepatan angin. Tabel 4 memperlihatkan data pengujian yang diperoleh dengan menggunakan beban resistor 200 ohm. Efisiensi diperoleh dengan menggunakan Persamaan (10) dan (11). Efisiensi daya rata-rata yang dihasilkan pada pengujian ini adalah 4.8%.

C. Pengujian dengan Beban 200 Ohm Hubungan Δ

Tabel 5 memperlihatkan data pengujian prototipe turbin Savonius menggunakan beban 200 ohm terhubung delta. Tabel 5 memperlihatkan bahwa efisiensi beban semakin naik dengan semakin meningkatnya kecepatan angin, karena daya yang dihasilkan beban semakin bertambah. Efisiensi rata-rata yang dihasilkan dari pengujian ini adalah 14.5%.

Tabel 5. Hasil pengujian dengan beban 200 Ω terhubung Δ

| v (m/s) | IL(A)  | PL(W) | PT(W) | η(%) |
|---------|--------|-------|-------|------|
| 2.4     | 0      | 0     | 0.7   | 0.0  |
| 2.6     | 0.0297 | 0.059 | 0.9   | 6.5  |
| 2.8     | 0.0386 | 0.099 | 1.2   | 8.6  |
| 3       | 0.0476 | 0.151 | 1.5   | 10.4 |
| 3.2     | 0.0587 | 0.230 | 1.8   | 12.9 |
| 3.4     | 0.0689 | 0.316 | 2.2   | 14.7 |
| 3.6     | 0.0795 | 0.421 | 2.6   | 16.3 |
| 3.8     | 0.0898 | 0.538 | 3.1   | 17.5 |
| 4       | 0.1033 | 0.711 | 3.6   | 19.7 |
| 4.2     | 0.1126 | 0.845 | 4.2   | 20.0 |
| 4.4     | 0.1216 | 0.986 | 5.6   | 17.5 |
| 4.6     | 0.1323 | 1.167 | 6.4   | 18.2 |
| 4.8     | 0.1419 | 1.342 | 7.3   | 18.4 |
| 5       | 0.1514 | 1.528 | 8.3   | 18.5 |
| 5.2     | 0.1621 | 1.752 | 9.3   | 18.9 |

Tabel 6. Hasil pengujian dengan beban LED

| v(m/s) | VLL(V) | Arus (A) | LED menyala |
|--------|--------|----------|-------------|
| 3.8    | 1.65   | 1.1      | X           |
| 4.0    | 1.77   | 1.3      | X           |
| 4.2    | 1.87   | 1.6      | X           |
| 4.4    | 2.01   | 1.9      | X           |
| 4.6    | 2.14   | 2.2      | X           |
| 4.8    | 2.26   | 2.5      | √           |
| 5.0    | 2.41   | 2.8      | √           |
| 5.2    | 2.61   | 3.1      | √           |

#### D. Pengujian dengan Beban LED

Berdasarkan data hasil pengukuran pada Tabel 6 terlihat bahwa arus mengalir ke beban ketika tegangan yang dibangkitkan mencapai 1.65 volt pada kecepatan angin 3.8 m/s. Pada kondisi ini tegangan yang dibangkitkan belum mampu membuat LED menyala. LED kelompok pertama mulai menyala pada tegangan 2.26 volt dengan kecepatan angin 4.8 m/s. Sementara LED kelompok kedua menyala pada tegangan yang dibangkitkan 2.41 volt dengan kecepatan angin yang menerpa turbin adalah 5.0 m/s.

Hasil pengujian secara keseluruhan memperlihatkan bahwa prototipe Turbin Angin Savonius dapat mulai berputar pada kecepatan angin yang rendah sekitar 2.4 m/s, walaupun dari pengujian berbeban generator belum memberikan daya listrik. Pada pembebanan menggunakan LED yang dialiri arus listrik secara langsung dari generator terlihat bahwa LED mulai menyala pada kecepatan angin 4.8 m/s.

#### V. KESIMPULAN

Prototipe turbin Savonius yang dibuat mempunyai efisiensi 4.8 % untuk beban terhubung Y dan 14.5 % untuk beban terhubung  $\Delta$ . Ada beberapa faktor yang menyebabkan efisiensi yang dihasilkan penelitian ini

rendah, antara lain adanya rugi-rugi di turbin karena pengaruh gaya kelembaman turbin, rugi-rugi magnet dan rugi-rugi jangkar pada generator sinkron magnet permanen.

#### REFERENSI

- [1] J. Sargolzaei, "Prediction of the power ratio in wind turbine savonius rotors using artificial neural networks," *International Journal of Energy and Environment*, vol. 1, no. 2, 2007.
- [2] Atmadi dan A. J. Fitroh, "Pengembangan metode parameter awal rotor turbin angin sumbu vertikal tipe savonius," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 6, no.1, 2008.
- [3] A. Buxamusa, "Wind flow analysis and modelling power generator for a multiple wind turbine installation," M.S. Thesis, Youngstown State University, Ohio, 2010.
- [4] M.R. Islam, S. Mekhlief and R. Saidur, "Progress and recent trends of wind energy technology," *Renewable Energy and Sustainable Energy Reviews*, vol. 21, pp. 456–468, May 2013.
- [5] A. Pendhakar, "The low-cost vertical axis wind turbine project: An exercise in learning across disciplines," *the Proceeding of the Annual Conference of the American Society for Engineering Education*, Atlanta, GA, Jun. 2013.
- [6] Erich Hau, *Wind turbines: Fundamentals, technologies, applications, economics*, 2nd ed., Berlin, Germany: Springer, 2005.
- [7] L. Mishnaevsky Jr., P. Freere, R. Sinha, P. Acharya, R. Shrestha, and P. Manandhar, "Small wind turbines with timber blades for developing countries: materials choice, development, installation and experiences," *Renewable Energy* 36, pp. 2128–2138, 2011.
- [8] The Beaufort Scale [Online]. Available: <http://www.meted.ucar.edu/>.
- [9] N.S. Cetin, M.A. Yurdusev, R. Ata and A. Ozdemir, "Assesment of optimum tip speed ratio of wind turbines," *Mathematical and Computational Application*, vol. 10, no. 1, pp.147–154, 2005.
- [10] S. A. Nasar, *Electric machines and power systems*, vol. 1: Electric Machines. USA: McGraw Hill, 1995.
- [11] T. Wildi, *Electrical machines, drives, and power systems*, 4th ed., New Jersey, NJ: Prentice Hall, 2000.

**Penerbit:**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: [rekayasa.elektrika@unsyiah.net](mailto:rekayasa.elektrika@unsyiah.net)

Telp/Fax: (0651) 7554336

