

## ANALISIS PENGARUH JUMLAH SUDU PADA TURBIN ANGIN SAVONIUS SUMBU VERTIKAL TERHADAP TEGANGAN DAN ARUS DI DALAM PROSES PENGISIAN AKUMULATOR

### ANALYSIS ON THE INFLUENCE OF BLADE NUMBER ON SAVONIUS VERTICAL AXIS WIND TURBINE AGAINST VOLTAGE AND CURRENT IN THE ACCUMULATOR FILLING PROCESS

Hicary<sup>1</sup>, Suwandi<sup>2</sup>, Ahmad Qurthobi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

hicary@students.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup> suwandi.sains@gmail.com<sup>2</sup> qurthobi@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

#### Abstrak

Turbin angin savonius adalah salah satu jenis dari turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*, VAWT) yang dapat berputar pada kondisi kecepatan angin rendah, memiliki *self starting* yang baik, dan mampu menghasilkan torsi yang relatif tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan angin terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan oleh suatu turbin angin savonius sumbu vertikal dan untuk mengetahui pengaruh dari perubahan jumlah sudu pada turbin angin savonius sumbu vertikal terhadap arus dan tegangan di dalam proses pengisian akumulator. Metode yang digunakan dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, menentukan spesifikasi dari sistem, perancangan sistem, pengumpulan dan pengolahan data, dan berakhir dengan evaluasi dari penelitian.. Turbin dihubungkan dengan alternator tiga fasa tipe *permanent magnet alternator*. Penelitian ini menganalisis pengaruh perubahan jumlah sudu antara dua, tiga, empat, lima, dan enam sudu dari turbin terhadap arus dan tegangan selama proses pengisian akumulator melalui data yang terekam oleh *data logger* pada setiap penggunaan jumlah sudu yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja turbin savonius dua sudu dengan massa sebesar 1709 gram memberikan hasil yang maksimal dengan menghasilkan tegangan dan arus sebesar 3.003 V dan 0.587 A. Untuk proses pengisian akumulator, turbin angin savonius dengan dua sudu lebih direkomendasikan karena memiliki efisiensi konversi energi mekanik menjadi energi listrik sebesar 96.51%, 44.55%, 25.50%, dan 11.50% pada kecepatan angin 3, 5, 6, dan 8 m/s yang bekerja pada setiap turbin dengan jumlah sudu yang berbeda.

**Kata Kunci:** Turbin Angin Savonius, Jumlah Sudu, Pengisian Akumulator, Data Logger

#### Abstract

*Savonius wind turbine is one type of vertical axis wind turbine (VAWT) which can rotate at low speed wind conditions, have a good self-starting and capable to producing a relatively high torque. This study aims to determine the effect of the wind speed against the current and voltage generated by a savonius vertical axis wind turbine and to determine the influence of blades number changes on a savonius vertical axis wind turbine against current and voltage in the accumulator filling proses. The used methods starting from problem identification, literature studying, determine the specifications of the system, system design, data collection and processing, and the ending with the evaluation of research. The turbine connected to three-phase permanent magnet alternator type. This Research will analyze the influence of blade number changes between two, three, four, five, and six blades of the turbine to the current and voltage during the accumulator filling process through the data recorded by the data logger at each use in different number of blades number. The results showed that the performance of the turbine with two blade with a mass of 1709 grams deliver maximum results to generate voltage and current of 3.003 V and 0.587 A. In the process of charging the accumulator, savonius wind turbine with two blades more recommended because it has a conversion efficiency of mechanical energy into electrical energy by 96.51%, 44.55%, 25.50% and 11:50% at a wind speed of 3, 5, 6, and 8 m/s that working on each turbine blade with a different number.*

**Key Words:** Savonius Wind Turbine, Blade Number, The Accumulator Filling Proses, Data Logger.

## 1. Pendahuluan

Energi angin merupakan salah satu sumber daya yang berlimpah, ramah lingkungan dan bersifat *renewable* sehingga berpotensi untuk dikembangkan. Secara keseluruhan potensi energi angin rata-rata di Indonesia tidak besar, tetapi berdasarkan survei dan pengukuran data angin yang telah dilakukan sejak 1979, banyak daerah yang prospektif karena memiliki kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 3,5-4,5 m/s. Potensi ini sudah dapat dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik skala kecil sampai 10 kW [9]. Teknologi turbin angin menawarkan solusi yang efektif untuk mengeliminasi ketergantungan terhadap penggunaan sumber energi fosil. Teknologi ini juga menyediakan energi listrik tanpa menimbulkan peningkatan kadar emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) [1].

Berdasarkan kedudukan poros, jenis-jenis turbin angin dibagi dalam dua kategori, yaitu turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*, HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*, VAWT). Keuntungan terbesar penggunaan VAWT adalah bahwa generator dan *gear box* dapat diletakkan di dasar menara sehingga mudah untuk dirawat dan diperbaiki. Namun turbin angin jenis ini mempunyai kapasitas keluaran yang kecil dan penggunaan yang luas hanya untuk aplikasi daya rendah [5]. Turbin angin savonius adalah salah satu dari turbin angin VAWT yang mudah berputar pada kondisi kecepatan angin rendah seperti di Indonesia. Turbin angin savonius memiliki *self starting* yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun kecepatan angin rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relatif tinggi [8].

Penelitian *Department Of Mechanics, Mathematics, and Management (DMMM) of Politecnico Di Bari* terkait dengan ukuran perbandingan tinggi dan diameter serta lengkungan dari suatu sudu turbin savonius menyimpulkan bahwa turbin dengan perbandingan 4:3 pada tinggi dan diameter serta sudu dengan karakteristik bentuk tipe-U memiliki nilai *C<sub>p</sub>* (*Coeffisien of power*) yang lebih baik dibandingkan dengan turbin savonius tipe lainnya [10]. Selain itu, desain turbin savonius yang memiliki *overlap* atau jarak antar sudu yang minimal mampu menghasilkan performansi rotor yang lebih baik dibandingkan desain turbin savonius dengan nilai *overlap* yang besar [6]. Penelitian akan menganalisis pengaruh perubahan jumlah sudu antara dua, tiga, empat, lima, dan enam sudu dari turbin terhadap arus dan tegangan diproses pengisian akumulator melalui data yang terekam oleh *data logger* pada setiap penggunaan jumlah sudu yang berbeda. Selain itu, penelitian akan menganalisis perbandingan performansi dari turbin angin savonius terhadap turbin angin sumbu horizontal yang bekerja pada ketinggian dan kecepatan angin yang sama.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan lebih rendah. Daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Energi angin diperoleh berdasarkan energi kinetik sebuah benda dengan massa *m*, kecepatan *v*, maka persamaan energi angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan *v* dan melewati daerah dengan luas *A* adalah:

$$V = vA \quad (2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan  $\rho$  adalah:

$$\dot{m} = \rho V = \rho Av \quad (3)$$

dimana :

*A* = luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\rho$  = kerapatan (kg/m<sup>3</sup>)

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu atau daya yang dihasilkan oleh energi angin adalah :

$$P = \frac{1}{2}(\rho Av)v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (4)$$

*P* = daya yang dihasilkan dari energi angin (joule/s (watt))

$\rho$  = massa jenis angin (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

*v* = kecepatan angin (m/s)

*A* = luas sapuan rotor (m<sup>2</sup>)

### 2.2 Turbin Savonius Sumbu Vertikal

Turbin Savonius diciptakan oleh seorang insinyur Finlandia bernama Sigurd Johannes Savonius pada tahun 1922. Sudu turbin Savonius memiliki dua bentuk utama yaitu, berbentuk setengah silinder atau biasa disebut dengan tipe U (Gambar 1.1) dan berbentuk seperti huruf L atau yang biasa disebut dengan turbin Savonius tipe L. Turbin Savonius tipe L merupakan hasil dari pengembangan turbin Savonius tipe S.

Beberapa keunggulan turbin angin savonius antara lain sederhana dan murah dalam konstruksi, torsi yang dihasilkan tinggi meski dioperasikan pada kecepatan angin rendah dan tidak tergantung arah angin sehingga dapat dioperasikan dimana saja [7]. Daya yang dihasilkan oleh turbin savonius adalah: [3]

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p A v^3 \text{ watt} \tag{5}$$

dimana:

$P$  = daya yang dihasilkan dari kincir angin savonius ( watt )

$\rho$  = massa jenis angin ( 1,225 kg/m<sup>3</sup> )

$C_p$  = koefisien daya

$v$  = kecepatan angin ( m/s )

$A$  = luas sapuan rotor ( m<sup>2</sup> )

A dianggap sebagai area tangkap angin dari sudu savonius maka untuk menghitung menggunakan persamaan berikut: [17]

$$A = hD \tag{6}$$

dimana:

$A$  = Area sudu savonius (m<sup>2</sup>)

$h$  = Tinggi turbin angin (m)

$D$  = Diameter turbin angin (m)

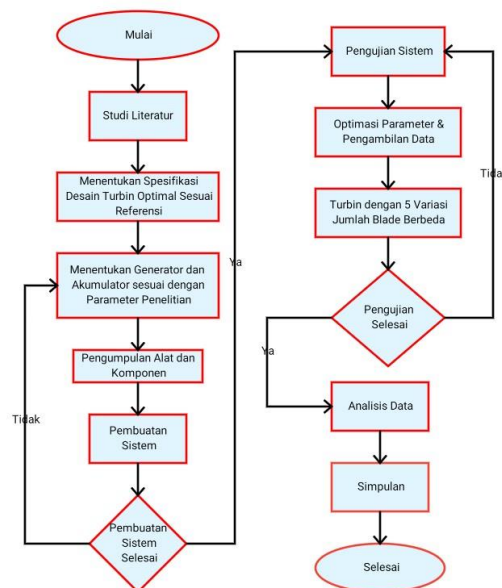
### 2.3 Akumulator

Akumulator disebut sebagai elemen sekunder karena elemen ini baru akan mengeluarkan aliran listrik bila telah diberi dan menyimpan sejumlah aliran listrik searah dari luar misalnya sel surya dan sistem pembangkit lainnya. Sejumlah muatan listrik yang diisikan kepada akumulator selama pengisian akan diubah menjadi energi kimia serta disimpan di dalam akumulator tersebut. Sewaktu terjadinya pengosongan, maka energi kimia yang telah disimpan itu akan diubah kembali menjadi energi listrik melalui beban yang kemudian meninggalkan akumulator. Akumulator yang umum digunakan di mobil terdiri atas enam sel identik yang tersusun secara seri. Setiap sel mempunyai anoda yang timbal dan katoda yang terbuat dari timbal oksida (PbO<sub>2</sub>) yang dikemas pada sebuah plat logam. Baik katoda maupun anoda dicelupkan dalam larutan asam sulfat, yang berfungsi sebagai elektrolit.

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Diagram Alur Penelitian

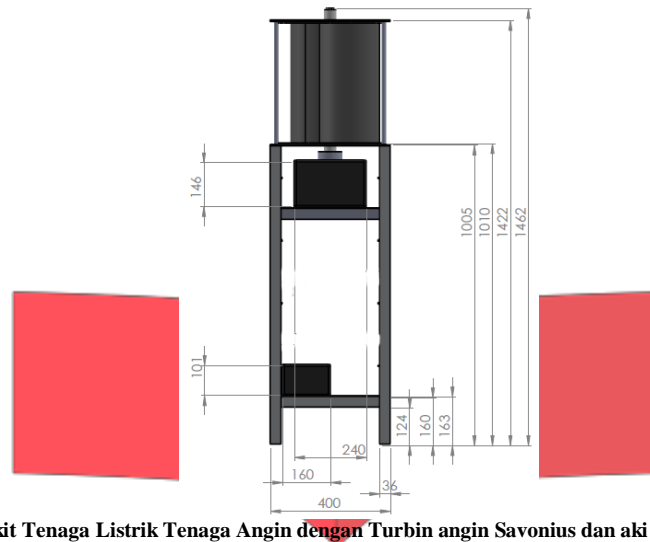
Adapun diagram alur dari pengujian sistem yang telah dilakukan dan merupakan garis besar dari penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian.

### 3.2 Desain Pengujian Sistem

Perancangan sistem secara umum dapat dilihat pada Gambar 3. Sistem ini diletakkan pada daerah dengan ketinggian minimal 12 m dari permukaan laut untuk mendapatkan kecepatan angin yang dibutuhkan dan disesuaikan dengan referensi dari Stasiun cuaca yang berada disekitar Universitas Telkom.



Gambar 3. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Tenaga Angin dengan Turbin angin Savonius dan aki sebagai penyimpanan Energi.

#### 3.2.1. Sistem Pengendali

Sistem Pengendali ini dibangun berdasarkan klasifikasi dari alternator yang akan digunakan. *Permanen Magnet Alternator* (PMA) bekerja dengan menghasilkan tegangan AC tiga fasa dengan daya maksimal pada 100 watt saat kecepatan putar berada pada kecepatan 600 rpm. Maka controller dirancang untuk mengeluarkan output tegangan DC pada range sebesar 0-15 volt untuk mengisi akumulator 12 volt.

#### 3.2.2. Data Logger

Sistem *data logger* ini dibangun dari mikrokontroler sebagai pengendalinya, sensor arus dan tegangan untuk pengukuran serta menggunakan *micro SD* sebagai media simpannya. Dengan media ini kita dapat menyimpan data yang sangat besar, layaknya sebuah hardisk yang diisi file teks / txt file. Data logger yang dilengkapi dengan sistem sensor tegangan dan arus sebagai sumber data melalui pengukuran yang akan digunakan di dalam analisis. Data diterima oleh *micro SD* sebagai media penyimpanan data dan digunakan LCD 16 x 2 sebagai media yang menampilkan kondisi *data logger*

## 4. Hasil Pengujian dan Pembahasan

### 4.1. Karakterisasi Sensor Arus dan Sensor Tegangan

Proses karakterisasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik pengukuran sensor arus dan tegangan yang berada pada data logger sehingga didapatkan range dengan minimal masukan sebesar -5 A, 0 V dan maksimal 5 A, 13.4 V untuk analog sensor. Span sebesar 10 A untuk sensor arus dan 13.4 V untuk sensor tegangan. Besar Resolusi arus 0.00977 A dan tegangan 0.013 V untuk setiap perubahan 1 digit dengan hysteresis 0.141% pada sensor tegangan dan 4% pada sensor arus.

### 4.2. Pengujian Turbin Angin

Pengujian dilakukan di atap gedung Deli yang terletak di kawasan Universitas Telkom, Kab. Bandung. Lokasi pengujian sendiri terletak pada ketinggian 12 m dari permukaan tanah. Kecepatan angin yang digunakan di dalam penelitian bersumber dari stasiun cuaca hasil perekaman Meteorologi ITB dan data pengukuran dari satelit pada lokasi Citeureup dan Majalaya, Kab. Bandung yang merekam data secara real time.

### 4.3. Analisis Hasil Pengujian Turbin dengan 5 Jumlah Sudu yang Berbeda

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar tegangan dan arus yang dihasilkan oleh setiap turbin yang memiliki jumlah sudu dan kecepatan angin yang berbeda. Pada pengujian, seluruh data yang diperoleh dari data logger turbin angin dan data logger stasiun cuaca digabungkan menurut waktu dan tanggal pengukuran (dapat dilihat melalui lampiran 1, 2, 3, 4, dan 5) kemudian dilakukan proses pencarian nilai rata-rata menurut distribusi

kecepatan angin sesuai dengan jadwal pengujian yang telah dilakukan. Arus yang terekam oleh data logger merupakan besarnya arus yang mengalir saat sistem pengujian diberikan beban yang memiliki resistansi sebesar 220 ohm.

Tabel 1. Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius dengan 2 Sudu

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Rata-rata arus yang dihasilkan dengan beban R=220 ohm (A)
1	3	1.534	0.417
2	5	2.458	0.528
3	6	2.632	0.547
4	8	3.033	0.587

Tabel 2. Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius dengan 3 Sudu

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Rata-rata arus yang dihasilkan dengan beban R=220 ohm (A)
1	3	1.398	0.376
2	5	2.297	0.504
3	6	2.493	0.532
4	8	2.942	0.578

Tabel 3. Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius dengan 4 Sudu

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Rata-rata arus yang dihasilkan dengan beban R=220 ohm (A)
1	3	1.403	0.399
2	5	2.314	0.513
3	6	2.493	0.532
4	8	2.872	0.571

Tabel 4. Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius dengan 5 Sudu

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Rata-rata arus yang dihasilkan dengan beban R=220 ohm (A)
1	3	1.335	0.389
2	5	2.248	0.505
3	6	2.430	0.526
4	8	2.843	0.568

Tabel 5. Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius dengan 6 Sudu

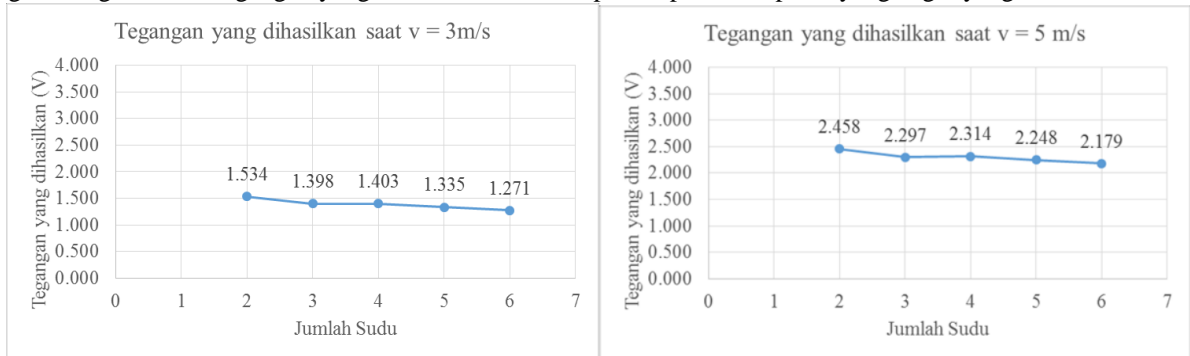
No.	Kecepatan Angin (m/s)	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Rata-rata arus yang dihasilkan dengan beban R=220 ohm (A)
1	3	1.271	0.380
2	5	2.179	0.498
3	6	2.363	0.518
4	8	2.731	0.557

Dari tabel 1, 2, 3, 4 dan 5 terlihat secara signifikan perbedaan tegangan dan arus yang dihasilkan akibat perbedaan jumlah sudu antara 2, 3, 4, 5, dan 6 sudu walaupun turbin angin bekerja pada kecepatan angin yang sama. Tegangan dan arus terkecil pada kecepatan angin 8 m/s dihasilkan oleh turbin dengan 6 sudu dengan nilai sebesar

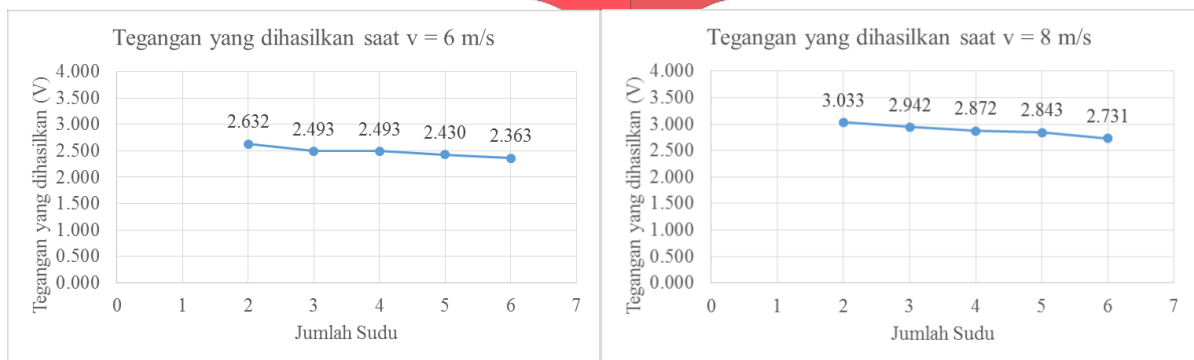
2.731 V dan 0.557 A, sedangkan tegangan dan arus terbesar pada kecepatan angin 8 m/s dihasilkan oleh turbin dengan 2 sudu dengan nilai sebesar 3.033 V dan 0.587 A.

**4.4. Analisis Hubungan antara Jumlah Sudu terhadap Kinerja Turbin pada Kecepatan Angin Konstan**

Analisis hubungan antara jumlah sudu terhadap kinerja turbin pada kecepatan konstan dilakukan dengan menggunakan data rata-rata yang diperoleh dari tabel 1, 2, 3, 4, dan 5. Setiap pengujian turbin dengan jumlah sudu yang berbeda memiliki data kecepatan angin yang sama yaitu 3, 5, 6 dan 8 m/s. Analisis dilakukan dengan melihat pergerakan grafik dari tegangan yang dihasilkan oleh setiap sudu pada kecepatan yang angin yang sama.

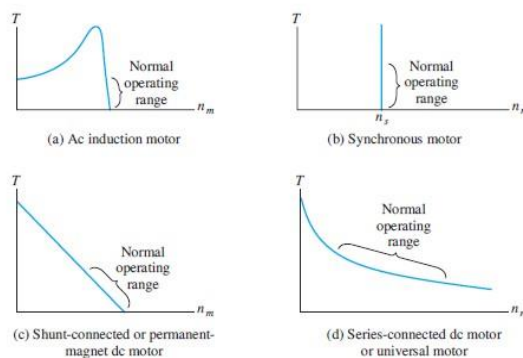


Gambar 4. Kinerja Turbin Savonius pada Kecepatan Angin 3 m/s. Gambar 5. Kinerja Turbin Savonius pada Kecepatan Angin 5 m/s.



Gambar 6. Kinerja Turbin Savonius pada Kecepatan Angin 6 m/s. Gambar 7. Kinerja Turbin Savonius pada Kecepatan Angin 8 m/s.

Dari Gambar 4, 5, 6, dan 7 terlihat perbedaan pergeseran nilai besarnya tegangan akibat perbedaan jumlah sudu walaupun turbin bekerja pada kecepatan angin yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *self starting* dari turbin angin savonius dengan jumlah sudu yang berbeda mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh system turbin angin. *Self starting* dari masing-masing turbin angin dengan jumlah sudu yang berbeda dipengaruhi oleh torsi yang dimiliki oleh setiap turbin dengan jumlah sudu yang berbeda. Setiap jumlah sudu memiliki massa yang berbeda sehingga mempengaruhi besarnya inersia dan kecepatan putar dari turbin angin sehingga menghasilkan besar tegangan yang berbeda. Kecepatan angin yang berubah-ubah juga sangat mempengaruhi *self-starting* dari setiap turbin sehingga mempengaruhi kecepatan putar di dalam generator dan nilai torsi yang dibutuhkan saat generator memulai putaran dan selama generator berbeda berdasarkan gambar 8



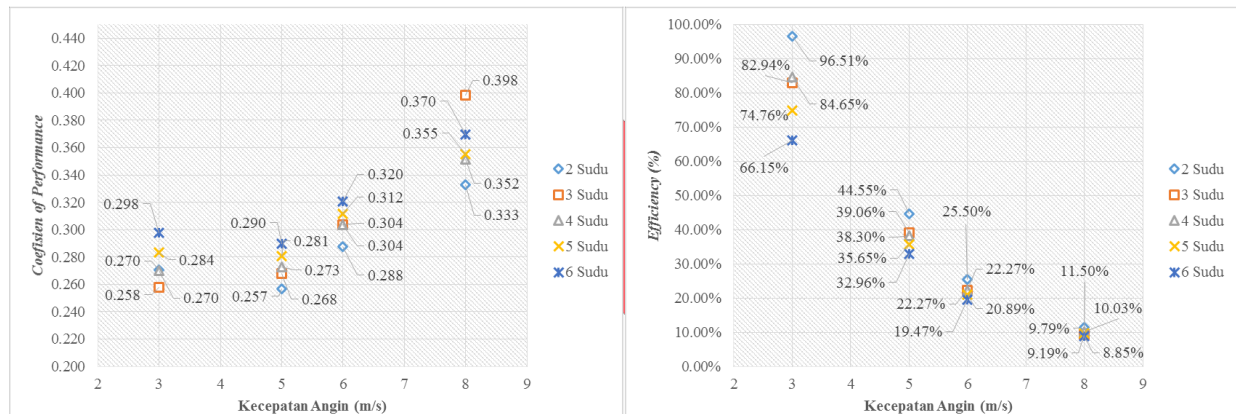
Gambar 8. Hubungan Torsi dan Kecepatan Putar Generator [4]



#### 4.5. Analisis Hubungan antara Daya Angin, Daya Mekanik, dan Daya Listrik yang dihasilkan oleh Turbin Angin dalam Kecepatan Angin Konstan.

Analisis hubungan antara daya angin, daya mekanik, dan daya listrik yang dihasilkan oleh turbin angin dalam kecepatan angin konstan dilakukan melalui analisis perbandingan nilai factor daya atau *coefisien of performance* ( $C_p$ ) dan *efficiency* ( $\eta$ ) dari setiap turbin dengan jumlah sudu yang berbeda. Nilai  $C_p$  memperlihatkan seberapa besar kinerja turbin penelitian dalam mengonversi energi angin menjadi energi mekanik sedangkan nilai  $\eta$  memperlihatkan seberapa besar kinerja turbin penelitian dalam mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik.

Daya angin ( $P_A$ ) diperoleh dari perhitungan persamaan 4 dan daya mekanik dipengaruhi oleh besarnya nilai TSR sedangkan kecepatan putar turbin yang digunakan untuk menghitung nilai TSR merupakan kecepatan putar rata-rata dari turbin berdasarkan data penelitian lampiran 1, 2, 3, 4, dan 5. Daya listrik ( $P_L$ ) diperoleh dengan persamaan mengalikan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh setiap turbin. Nilai  $C_p$  diperoleh melalui persamaan 5 dan nilai  $\eta$  diperoleh dari perbandingan daya mekanik dan daya listrik yang dihasilkan oleh turbin.



Gambar 9. Grafik Nilai Coefisien of Performance dan Efficiency yang dimiliki oleh Setiap Turbin dengan Jumlah Sudu yang Berbeda

Nilai faktor daya atau *coefisien of performance* terbesar untuk kecepatan angin 3, 5, dan 6 m/s dimiliki oleh turbin savonius dengan 6 sudu, sedangkan pada kecepatan angin 8 m/s nilai  $C_p$  terbesar dimiliki oleh turbin savonius dengan 3 sudu. Hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 3, 5, dan 6 turbin angin savonius dengan 6 sudu mampu mengonversi energi angin menjadi energi mekanik dengan lebih maksimal dibandingkan turbin dengan 2, 3, 4, dan 5 sudu. Hal ini disebabkan karena energi mekanik yang dimiliki oleh turbin savonius 6 sudu lebih besar untuk setiap kecepatan angin yang bekerja pada turbin. Besarnya nilai energi mekanik ini terkait dengan nilai TSR turbin yang kecil dibandingkan turbin dengan jumlah sudu lainnya. Semakin kecil nilai TSR maka semakin besar nilai torsi yang dimiliki turbin dan semakin besar torsi yang dimiliki turbin maka daya mekanik yang dimiliki turbin akan semakin besar.

Nilai *efficiency* ( $\eta$ ) terbesar untuk setiap kecepatan angin yang bekerja pada turbin dimiliki oleh turbin savonius dengan 2 sudu. Hal ini menunjukkan pada turbin angin savonius dengan 2 sudu mampu mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik dengan lebih maksimal dibandingkan dengan turbin dengan 3, 4, 5, dan 6 sudu. Nilai TSR yang besar pada turbin dengan 2 sudu membuat torsi dari turbin semakin kecil. Nilai torsi yang kecil memberikan keuntungan bagi turbin yang bekerja pada kecepatan angin yang tidak konstan karena mempengaruhi self-starting dari generator saat memulai putaran dan selama berputar. Saat angin berhembus turbin akan memulai putaran dengan torsi yang besar dan menurun seiring putaran berlangsung kemudian disaat angin berhenti turbin akan berhenti berputar dan akan berputar lagi saat angin datang namun mengulang besarnya nilai torsi yang dibutuhkan untuk memulai putaran. Kinerja generator ini, ditunjukkan melalui gambar 8. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi kecepatan angin yang tidak konstan, turbin savonius dengan 2 sudu mampu bekerja lebih maksimal untuk menghasilkan energi listrik walaupun energi mekanik terbesar dimiliki oleh turbin savonius dengan 6 sudu.

#### 4.6. Analisis Proses Pengisian Akumulator melalui Tegangan dan Arus yang Dihasilkan dalam Kecepatan Angin Konstan

Analisis proses pengisian akumulator melalui tegangan dan arus yang dihasilkan dalam Kecepatan Angin Konstan dilakukan melalui proses pencuplikan data pada kecepatan angin yang sama dengan jumlah sudu yang berbeda. Analisis dengan metode ini dilakukan karena tegangan yang dihasilkan tidak mampu untuk melakukan proses pengisian akumulator sebagai mana mestinya karena nilai tegangan dan arus yang dihasilkan terlalu kecil. Analisis untuk menarik kesimpulan dilakukan dengan mengambil 40 data untuk masing-masing jumlah sudu saat

kecepatan angin yang terukur sebesar 5 m/s. Selanjutnya nilai tegangan dan arus dari ke-40 data dibandingkan dengan melihat grafik yang dimiliki oleh setiap jumlah sudu.



Gambar 10. Grafik Tegangan dan Arus yang dihasilkan setiap Sudu pada Kecepatan Angin 5 m/s

Dari Gambar 9 yang memperlihatkan grafik Tegangan dan Arus yang dihasilkan oleh setiap sudu pada kecepatan angin 5 m/s dengan cuplikan 50 data, terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan selain besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan. Grafik ini dapat mewakili proses pengisian akumulator oleh jumlah sudu yang berbeda hanya mempengaruhi besarnya tegangan dan arus yang mengisi akumulator. Apabila grafik menunjukkan nilai perubahan data yang besar untuk setiap sudu maka proses pengisian dapat mengakibatkan proses pengisian yang berubah-ubah pada akumulator sehingga dapat mengurangi umur penggunaan suatu akumulator sehingga diperlukan sistem yang dapat mengatur batas minimal dan maksimal suatu proses pengisian akumulator.

## 5. Simpulan

Berdasarkan dengan pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Jumlah sudu mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan walaupun kecepatan angin yang mengalir ke turbin sama besar. Hal ini terkait dengan massa turbin yang mempengaruhi nilai TSR. Nilai TSR yang besar membuat turbin memiliki torsi yang kecil. Kecepatan angin yang berubah-ubah setiap waktu mempengaruhi self-starting dari masing-masing turbin dengan jumlah sudu yang berbeda dan self-starting dipengaruhi oleh besarnya nilai torsi. Tegangan dan arus terbesar saat turbin bekerja pada kecepatan angin yang tidak konstan dihasilkan oleh turbin savonius dengan 2 sudu yaitu sebesar 3.003 V dan 0.587 A.
2. Untuk kecepatan angin yang tidak konstan, penggunaan turbin angin savonius dengan 2 sudu pada pengisian akumulator lebih maksimal dibandingkan dengan turbin angin dengan 3, 4, 5, dan 6 sudu karena nilai efficiency ( $\eta$ ) konversi angin mekanik menjadi listrik yang menguntungkan pada setiap kecepatan angin yang berkerja pada turbin dimiliki oleh turbin savonius dengan 2 sudu yaitu sebesar 96.51%, 44.55%, 25.50%, dan 11.50% karena nilai torsi yang kecil memberikan keuntungan pada turbin yang bekerja pada kecepatan angin tidak konstan.

## Daftar Pustaka:

- [1] Darwin, Roy. 2004. *Effects of Greenhouse Gas Emissions on World Agriculture, Food Consumption, and Economic Welfare*. Journal of Climate Change, 66(2004) page 191-238
- [2] Difi, N. N. 2011. Analisis Pengisian Baterai Pada Rancang Bangun Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius untuk Pencatu Beban Listrik. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [3] El-wakil, M.M.1998. *Power Plant Technology*. Mc Graw-Hill International Edition
- [4] Hambley, Alan R.2011. *Electrical Engineering Principles and Applications-5th ed.*Pearson Education.
- [5] Jha. A. R. . 2011. *Wind Turbine Technology*. Boca Rotan Florid, USA:CRC Press.
- [6] Mahmoud, N.H. , El-Haroun, A.A. , Wahba, E. , Nasef, M.H. , Nasef.2012. *An experimental study on improvement of Savonius rotor performance*. Alexandria Engineering Journal (2012) 51,19-25
- [7] Menet, B. 2004. Increase in the savonius rotors efficiency via a parametrics investigations. Prancis: Universite de Valnciecms.
- [8] Sargolozay J. 2007. *Prediction of the Power Ratio In Wind Turbine Savonius Rotors Using Artificial Neural Networks*. International Journal of Energy and Environtment, Issue 2, Volume 2.
- [9] Susandi, A. 2006. *Potensi Energi Angin dan Surya di Indonesia*. Bandung: Meteorologi ITB.
- [10] Toressi, M. , Benedittis, F. A. , Fortunato, B. , Camporeale, S. M., . 2013. *Performance and flow field evaluation of a Savonius rotor tested in a wind tunnel*. Journal of Energy Procedia, 45 (2014) page 207-216.