

RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN SAVONIUS UNTUK PENERANGAN DI DAERAH PEDESAAN

Agustinus Laka ^{*1}, Frans Mangngi ², Rokhyadi³
Jurusan Teknik Mesin PNK, Kupang
Jln. Adi Sucipto, Penfui Kupang, Indonesia
Phone : (0380)-881245, Fax : (0380)-881245
e-mail: agus_laka@yahoo.com

Abstrak

Listrik merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting dalam menunjang berbagai kegiatan atau aktifitas baik pada skala rumah tangga maupun pada skala perkantoran atau industri. Namun pada kenyataannya masih banyak daerah pedesaan yang belum dapat menikmati listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Salah satu contoh daerah pedesaan yang belum menikmati listrik dari PLN hingga saat ini adalah dusun Muli. Dimana secara administratif dusun Muli ini terletak di desa Raekore, Kecamatan Sabu Barat, Kabupaten Sabu Raijua, Propinsi Nusa Tenggara Timur. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental*) yaitu melakukan pengamatan langsung di lapangan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat ditahui berapa besar daya listrik yang dapat dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap besarnya tegangan dan arus listrik (BHP) yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius. BHP tertinggi terjadi pada kecepatan angin 8,25 m/s dengan nilai BHP sebesar 83,183 Watt, sedangkan BHP terendah terjadi pada kecepatan angin 3,26 m/s dengan nilai BHP 4,146 Watt. Rancangan turbin angin Savonius ini juga dapat menghasilkan efisiensi tertinggi pada kecepatan angin 5,46 m/s dengan nilai efisiensi yaitu sebesar 21,35 % dan pada kecepatan angin 6,46 m/s dengan nilai efisiensi yaitu sebesar 21,46 %, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada kecepatan angin 3,26 m/s yaitu sebesar 13,59 %.

Kata kunci— Krisis energi, energi alternatif, turbin angin Savonius, performance.

Abstract

Electricity is a very important requirement in supporting various activities or activities both at household level and at offices or industrial scale. But in reality there are many rural areas that do not have electricity from State Electricity Company (PLN). One example of rural areas who do not enjoy electricity today is the hamlet Muli. Where is administrative village is located in the village of Muli Raekore, District West Sabu, Sabu Raijua, East Nusa Tenggara province. This research was conducted by using experimental methods real (*true experimental*) that direct observation in the field to find the data causality in a process through experimentation so as to linkage how much electrical power can be generated. The results showed that the speed of the wind affects the magnitude of the voltage and amperage (BHP) generated by wind turbines Savonius. BHP is highest at a wind speed of 8.25 m / s with a value of 83.183 Watt BHP, BHP while the lowest was at a wind speed of 3.26 m / s with a value of 4.146 Watt BHP. Draft Savonius wind turbine can also produce the highest efficiency at a wind speed of 5.46 m / s with a value that is equal to 21.35 % efficiency and at a wind speed of 6.46 m / s with the efficiency that is equal to 21.46 %, while the lowest efficiency occurs at a wind speed of 3.26 m / s is equal to 13.59 %.

Keywords— The energy crisis, alternative energy, wind turbine Savonius, performance.

1. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan modern saat ini energi listrik merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting dalam menunjang berbagai kegiatan atau aktifitas baik pada skala rumah tangga maupun pada skala perkantoran atau industri. Namun pada kenyataannya masih banyak daerah pedesaan yang belum dapat menikmati listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Salah satu contoh daerah pedesaan yang belum menikmati listrik dari PLN hingga saat ini adalah dusun Muli. Dimana secara administrative dusun Muli ini terletak di desa Raekore, Kecamatan Sabu Barat, Kabupaten Sabu Raijua, Propinsi Nusa Tenggara Timur. Selain itu, hingga saat ini Kabupaten Sabu Raijua belum memiliki stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) sehingga sering terjadi kelangkaan bahan bakar minyak. Dengan demikian maka harga bahan bakar di daerah tersebut sudah tentu sangat mahal termasuk jenis bensin dan solar.

Dengan adanya ketiadaan energi listrik dan kelangkaan bahan bakar minyak (BBM) yang terjadi khususnya di Kabupaten Sabu Raijua, maka pencarian terhadap energi terbarukan perlu dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan BBM terutama pada mesin pembangkit listrik. Di Kabupaten Sabu Raijua khususnya di dusun Muli, potensi pengembangan energi terbarukan cukup banyak seperti pemanfaatan akan energi angin sebagai pembangkit listrik, karena dusun Muli terletak di atas perbukitan sehingga angin bertiup sepanjang waktu dengan kecepatan rata-rata 6 s/d 8 m/s. Dengan demikian, maka memungkinkan untuk dapat menerapkan pembangkit listrik tenaga angin sebagai penerangan di malam hari dan untuk keperluan lainnya.

Pengembangan pembangkit listrik tenaga angin sebagai penerangan sudah banyak dilakukan dengan menggunakan turbin angin poros horizontal seperti turbin jenis propeler, di mana turbin angin jenis ini mempunyai keunggulan yaitu dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi. Namun, turbin angin jenis ini juga memiliki kekurangan yaitu membutuhkan torsi awal yang sangat besar saat turbin mulai berputar dan membutuhkan perencanaan desain yang matang terhadap konstuksinya agar pemasangan turbin angin poros horisontal dapat berhasil dengan baik. Selain itu, harus diletakkan di atas menara atau tower dengan ketinggian tertentu agar mendapatkan angin yang memiliki kecepatan yang tinggi. Sementara pada sisi yang lain, turbin angin Savonius mengalami kemajuan yang sangat pesat terutama peningkatan efisiensi dan aplikasinya yang banyak digunakan sebagai pembangkit listrik ataupun untuk keperluan lain misalnya sebagai penggerak pompa air untuk tujuan irigasi seperti yang dilakukan Kacprzak et al, 2013 yang lalu.

Menurut Hau, 2006 mengatakan bahwa turbin angin Savonius mempunyai banyak keuntungan yaitu tidak memerlukan orientasi pada arah mata angin (tidak perlu mendeteksi arah angin yang paling tinggi kecepatannya), otomatis menyala sendiri (*self starting*), menghasilkan tenaga pada putaran tinggi. Turbin angin Savonius juga memiliki desain yang sederhana sehingga biaya investasinya lebih murah. Selain itu, turbin angin Savonius juga dapat beroperasi pada kecepatan angin yang rendah di mana pada kecepatan angin 2,7 m/s turbin angin Savonius sudah dapat berputar dan menghasilkan energi listrik sehingga sangat cocok untuk diterapkan di Indonesia khususnya di daerah Nusa Tenggara Timur yang memiliki kecepatan

angin 5,75 – 7 m/s menurut data Pusat Meterologi dan Geofisika Kupang-Lasiana, 2010.

Rancang bangun turbin angin Savonius baik yang bersifat pengembangan konsep maupun yang sudah bisa diterapkan telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Yang pertama dilakukan oleh Fachrudin et al, 2013 yaitu tentang rancang bangun turbin angin vertical jenis Savonius dengan variasi jumlah *stage* dan *phase shift angle* untuk memperoleh daya maksimum. Dari penelitian yang diujikan ini dengan menggunakan delapan variasi dengan memvariasikan jumlah *stage* dan *phase shift angle*. Turbin angin Savonius dengan kinerja maksimum terbaik sebesar 179,6 rpm untuk kecepatan angin 4,6 m/s dimiliki oleh turbin dengan variasi III. Dan untuk kecepatan turbin angin (rpm) yang dipengaruhi oleh generator kinerja maksimum terbaik sebesar 162,9 rpm untuk kecepatan angin 4,6 m/s dengan tegangan keluaran sebesar 367 mV dan 5,32 mA dimiliki oleh turbin dengan variasi I. Untuk daya maksimum terbaik pada kecepatan 4,6 m/s dimiliki oleh variasi III yaitu sebesar 2022,6 μ W.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Pradana et al, 2013 yaitu tentang rancang bangun turbin angin vertical jenis Savonius dengan variasi profil kurva blade untuk memperoleh daya maksimum. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan 3 variasi profil kurva *blade* pada kondisi dengan dan tanpa beban. Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran kecepatan angin, rpm, tegangan, arus dan daya dari turbin angin. Berdasarkan hasil pengukuran untuk *profil kurva blade* dengan $b = 3,75$ cm pada $v = 4,6$ m/s dan $m = 0,79$ kg didapatkan $n = 173$ rpm, $V = 415$ mV, $I = 5,75$ mA dan $P = 2,39$ mW, untuk *profil kurva blade* dengan $b = 5$ cm pada $v = 4,6$ m/s dan $m = 0,85$ kg

didapatkan $n = 163$ rpm, $V = 367$ mV, $I = 5,32$ mA dan $P = 1,95$ mW dan untuk *profil kurva blade* dengan $b = 6,25$ cm pada $v = 4,6$ m/s dan $m = 0,9$ kg didapatkan $n = 148$ rpm, $V = 345$ mV, $I = 4,93$ mA dan $P = 1,70$ mW. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai b dari *profil kurva blade* turbin angin makin besar daya yang dihasilkan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Performance Turbin Savonius

2.1.1 Putaran Poros (n)

Turbin angin Savonius akan berputar ketika ada angin dengan kecepatan tertentu, sehingga putaran poros yang dihasilkan rotor turbin Savonius dapat langsung diukur dengan menggunakan *tachometer digital* ketika rotor berputar.

2.1.2 Tip Speed Ratio (λ)

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah perbandingan kecepatan pada ujung rotor terhadap kecepatan udara bebas. *Tip speed ratio* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 \cdot v} \quad (1)$$

Dengan:

- D : diameter rotor (m);
- n : putaran poros (rpm);
- v : kecepatan aliran udara (m/s).

2.1.3 Daya Angin (P_w)

Daya angin dapat didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan per satuan waktu yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_w &= E \text{ per satuan waktu} \\ &= \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ (Watt)} \\ (2) \\ &= \frac{N \cdot m}{dtk} = \frac{\text{Joule}}{dtk} = \text{Watt} \end{aligned}$$

Dengan:

P_w : daya angin (Watt);
 ρ : kerapatan massa udara (kg/m^3);
 v : kecepatan aliran udara (m/s);
 A : luas penampang (m^2).

2.1.4 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power adalah daya dari turbin yang diukur setelah mengalami pembebanan yang disebabkan oleh generator, *gearbox*, pompa ataupun perangkat tambahan lainnya. *Brake* yang dimaksud adalah suatu peralatan yang digunakan untuk memberikan beban pada turbin sehingga putarannya dapat terjaga secara konstan. Dalam percobaan nantinya BHP diukur dengan menggunakan generator listrik. Dengan mengukur besarnya arus dan tegangan yang dihasilkan, maka dapat mengetahui besarnya daya generator, seperti pada rumus :

$$P_{generator} = V \cdot I \text{ (Watt)} \quad (3)$$

Dengan:

$P_{generator}$: daya generator listrik (Watt),

V : tegangan generator listrik (Volt),

I : kuat arus listrik generator (Ampere).

Besarnya *BHP* dapat dihitung setelah didapatkan harga $P_{generator}$ dengan rumus sebagai berikut :

$$BHP = \frac{P_{generator}}{\eta_{generator}} \quad (4)$$

Dengan :

BHP : *brake horse power* (Watt),

$P_{generator}$: daya generator listrik (Watt),

$\eta_{generator}$: efisiensi generator (%).

2.1.5 Torsi (T)

Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya

tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut. Besar torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = \frac{P_{generator}}{2 \pi \frac{n_{generator}}{60}} \quad (5)$$

Dengan :

T : torsi (N.m),

$P_{generator}$: daya generator listrik (Watt),

$n_{generator}$: putaran generator (rpm).

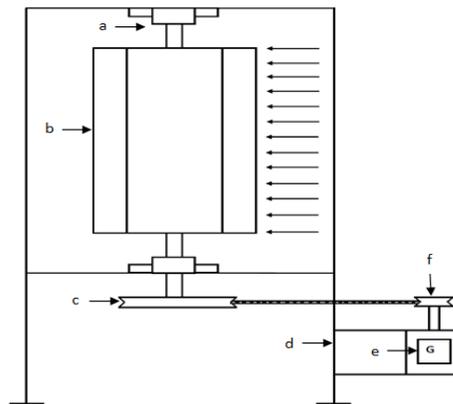
2.1.6 Efisiensi (η)

Untuk menyatakan performansi suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan yang dilakukan. Rumus efisiensi adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{BHP}{P_w} \times 100 \% \quad (6)$$

2.1 Instrumen Penelitian

Instrumen atau instalasi penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



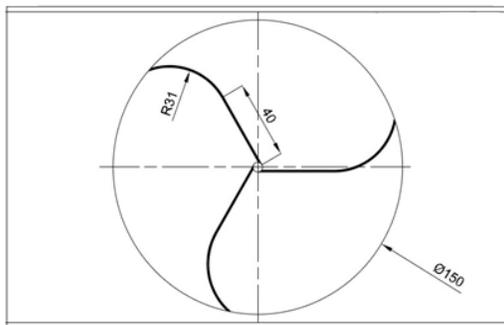
Gambar 1. Instalasi Penelitian

Keterangan gambar :

- a. Poros dan bearing;
- b. Rotor turbin;
- c. Pully rotor;
- d. Rangka turbin;
- e. Generator/alternator;
- f. Pully generator/alternator

Turbin angin Savonius dapat berputar jika angin yang bergerak dengan kecepatan (v) dan massa (kg) tertentu sehingga dapat memutar rotor turbin dan alternator guna menghasilkan energi listrik dalam jumlah tertentu pula sesuai dengan kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin yang ada maka arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh alternator juga semakin besar. Selanjutnya bila putaran rotor turbin sudah stabil maka dapat dilakukan pengukuran terhadap besarnya arus dan tegangan listrik serta besarnya putaran poros pada beberapa variasi kecepatan angin sesuai dengan kondisi kecepatan angin di lapangan. Adapun beberapa variasi kecepatan angin yang dipakai untuk menghitung kinerja dari turbin angin Savonius yaitu 3,26 m/s, 4,15 m/s, 5,46 m/s, 6,46 m/s, 7,68 m/s dan 8,25 m/s.

Desain turbin angin Savonius yang dipakai pada penelitian ini memiliki 3 (tiga) sudu rotor seperti terlihat pada gambar 2 :



Gambar 2. Turbin angin Savonius dengan jumlah 2 sudu

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental*) yaitu melakukan pengamatan langsung di lapangan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat

ditahu berapa besar daya listrik yang dapat dihasilkan oleh alternator pada berbagai variasi kecepatan angin yang ada. Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian terapan ini adalah untuk dapat mengetahui berapa besar daya dan efisiensi maksimum yang dapat dihasilkan oleh turbin angin Savonius, sehingga dapat dipakai atau diterapkan oleh masyarakat pedesaan khususnya masyarakat dusun Muli sebagai pembangkit listrik tenaga angin untuk tujuan penerangan dan untuk keperluan lain seperti untuk *chas hand phone*, menonton televisi dan kegiatan lainnya yang membutuhkan energi listrik.

VARIABEL PENELITIAN

Variabel Bebas :

Kecepatan angin : 3,26 m/s, 4,15 m/s, 5,46 m/s, 6,46 m/s, 7,68 m/s dan 8,25 m/s.

Variabel Terikat :

Brake horse power (BHP)

Torsi (T)

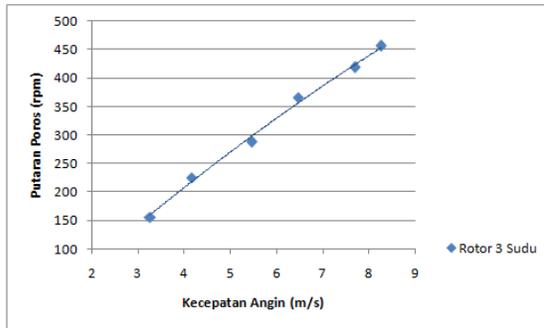
Efisiensi (η)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti terlihat pada gambar 3 maka kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap peningkatan putaran poros dan pengingkatannya juga cenderung linear. Hal ini terjadi karena adanya penambahan sejumlah massa udara per detik yang menumbuk sudu rotor turbin sehingga putarannya akan cenderung meningkat. Putaran tertinggi terjadi pada kecepatan angin 8,25 m/s dengan nilai putaran sebesar 456,5 rpm, sedangkan putaran terendah terjadi pada kecepatan angin 3,26 m/s dengan nilai putaran sebesar 156,36 rpm.

Selain itu, putaran poros akan menurun jika diberi beban berupa lampu dan akan terus menurun jika diberi beban yang berlebihan. Sehingga pada saat

pengambilan data sangat penting untuk mengetahui seberapa besar kemampuan turbin angin Savonius untuk dapat mengangkat beban berupa lampu, sehingga pada tiap kecepatan angin secara otomatis akan berbeda kemampuan atau jumlah beban dalam hal ini lampu yang dipasang.

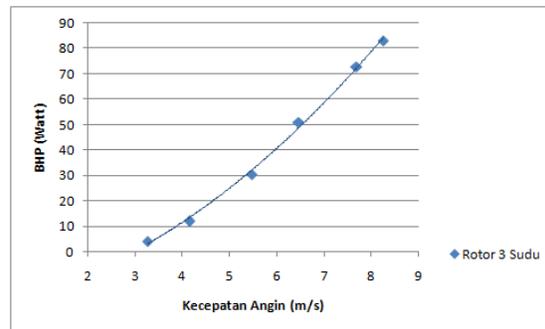


Gambar 3. Hubungan kecepatan angin terhadap putaran poros

Seperti terlihat pada gambar 4 maka kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap BHP yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius. Terlihat juga bahwa BHP meningkat secara linear seiring meningkatnya kecepatan angin. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan putaran poros seiring meningkatnya kecepatan angin, sehingga BHP akan terus meningkat jika kecepatan angin meningkat. Di sini jelas bahwa BHP sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin, putaran poros dan efisiensi dari alternator yang dipakai. Pada penelitian ini alternator yang dipakai adalah alternator mobil Suzuki Carry 1.5 dan diasumsikan bahwa alternator ini memiliki efisiensi sebesar 85 %. Hal ini dipakai untuk memudahkan dalam perhitungan kinerja dari turbin angin Savonius.

Pada penelitian ini juga sudu rotor tidak divariasikan dan hanya menggunakan satu variasi saja yaitu rotor tiga sudu saja. BHP tertinggi terjadi pada

kecepatan angin 8,25 m/s dengan nilai BHP yaitu sebesar 83,183 Watt sedangkan BHP terendah terjadi pada kecepatan angin 3,26 m/s dengan nilai BHP yaitu sebesar 4,146 Watt. Dari gambar juga terlihat bahwa pada kecepatan angin 6,46 dan 7,68 serta 8,25 m/s BHP meningkat secara signifikan, hal ini terjadi karena kenaikan kecepatan angin yang diikuti dengan kenaikan nilai BHP yaitu kenaikan arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh alternator. BHP sangat dipengaruhi oleh perbandingan transmisi rotor dengan alternator, alternator yang dipakai yaitu kuat medan magnet (Webber/m^2) dan jumlah lilitan pada kumparan rotor alternator, di mana hal ini sesuai dengan pendapat Petruzella, 1996.

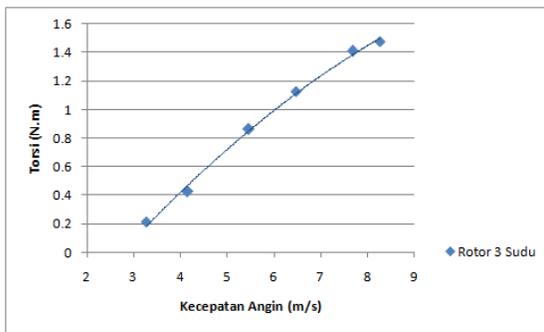


Gambar 4. Hubungan kecepatan angin terhadap BHP

Seperti terlihat pada gambar 5 maka kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius. Di sini juga terlihat bahwa torsi yang dihasilkan memiliki kecenderungan meningkat secara linear. Hal ini terjadi karena telah terjadi peningkatan BHP seiring meningkatnya kecepatan angin. Nilai torsi akan meningkat secara linear jika nilai BHP dan putaran meningkat secara berimbang pula. Pada kecepatan angin 3,26 sampai dengan 8,25 m/s terlihat torsinya meningkat secara signifikan, hal ini terjadi karena

adanya peningkatan kecepatan angin dan secara otomatis akan meningkatkan nilai putaran dan nilai BHP.

Karena nilai torsi ini sangat dipengaruhi oleh nilai BHP dan nilai putaran. Bila putarannya meningkat dan BHP tidak meningkat maka nilai torsi akan menurun, demikian sebaliknya, bila nilai putaran menurun karena diberi beban berupa beberapa buah sehingga nilai BHP akan meningkat maka nilai torsi cenderung meningkat. Pada penelitian ini jumlah sudu rotor tidak divariasikan sehingga hanya menggunakan satu sudu rotor saja. Torsi tertinggi terjadi pada kecepatan angin 8,25 m/s dengan nilai sebesar 1,479 N.m, sedangkan torsi terendah terjadi pada kecepatan angin 3,26 m/s dengan nilai sebesar 0,215 N.m.

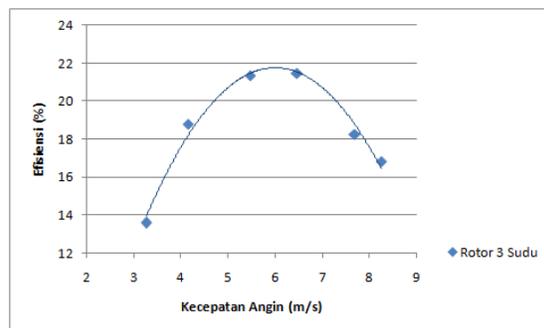


Gambar 5. Hubungan kecepatan angin terhadap torsi

Seperti terlihat pada gambar 6 maka kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap efisiensi yang dimiliki oleh rancangan turbin angin Savonius tiga sudu ini. Dari gambar terlihat bahwa efisiensi meningkat secara parabolik seiring meningkatnya kecepatan angin. Hal ini terjadi karena penambahan kecepatan angin yang berdampak pada kenaikan nilai daya angin yang tidak diimbangi dengan kenaikan nilai BHP sehingga efisiensinya cenderung menurun. Selain itu efisiensi sendiri diperoleh dari perbandingan antara BHP dengan daya angin dan pada rumus

daya angin terdapat variabel berpangkat tiga yaitu kecepatan angin (V^3) yang berada pada bilangan penyebut.

Dengan demikian maka bila kecepatan angin meningkat lebih tinggi lagi maka nilai efisiensi cenderung menurun. Sehingga hanya pada kecepatan angin 4,15 dan 5,46 m/s saja yang peningkatannya secara linear, karena memang turbin angin Savonius ini hanya efisien pada putaran rendah dan menengah serta tidak dapat mengambil keuntungan pada kecepatan angin yang tinggi. Hal ini sesuai dengan pendapat yang diutarakan oleh Nursuhud dan pudjnarsa, 2008. Efisiensi tertinggi terjadi pada kecepatan angin 5,46 dengan efisiensi sebesar 21,35 % dan pada kecepatan angin 6,46 m/s dengan efisiensi sebesar 21,46 % sedangkan efisiensi terendah terjadi pada kecepatan angin 3,26 m/s dengan efisiensi sebesar 13,59 %.



Gambar 5. Hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap besarnya tegangan dan arus listrik (BHP) yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius yang digunakan

sebagai pembangkit listrik untuk masyarakat di daerah pedesaan. BHP tertinggi terjadi pada kecepatan angin 8,25 m/s dengan nilai BHP sebesar 83,183 Watt, sedangkan BHP terendah terjadi pada kecepatan angin 3,26 m/s dengan nilai BHP 4,146 Watt.

2. Rancangan turbin angin Savonius dengan jumlah tiga sudu dapat menghasilkan efisiensi tertinggi pada kecepatan angin 5,46 m/s dengan nilai efisiensi yaitu sebesar 21,35 % dan pada kecepatan angin 6,46 m/s dengan nilai efisiensi yaitu sebesar 21,46, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada kecepatan angin 3,26 m/s yaitu sebesar 13,59 %.

5.2. SARAN

Dari hasil penelitian tentang rancang bangun turbin angin Savonius untuk masyarakat di daerah pedesaan maka dapat disarankan sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang durasi waktu yang dibutuhkan untuk mengisi sebuah baterai atau aki sampai penuh sesuai dengan kecepatan angin yang tersedia.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan rantai sebagai transmisi dari poros rotor ke alternator, karena bila menggunakan sabuk V maka koefisien geseknya besar sehingga banyak kehilangan atau kerugian mekanik.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi berat dari rotor, karena rotor turbin yang terlalu berat tidak memungkinkan rotor berputar pada putaran rendah.

DAFTAR PUSTAKA

Kacprzak. K; Liskiewicz. G; Sobczak. K. 2013. *Numerical investigation of*

conventional and modified Savonius wind turbines. Elsevier journal renewable energy 60 (2013) 578-585.

Hau. E. 2005. *Handbook Wind turbines fundamentals technologies, applications, economics.* Springer Germany.

Fachrudin S.L; Nugroho G; Musyafa A. 2013. *Rancang bangun turbin angin vertikal jenis Savonius dengan variasi jumlah stage dan phase shift angle untuk memperoleh daya maksimum. Jurnal POMITS Vol. 1, No.1 (2013) 1-5.*

Pradana. J.A; Nugroho G; Musyafa A. 2013. *Rancang bangun turbin angin vertikal jenis Savonius dengan variasi profil kurva blade untuk memperoleh daya maksimum. Jurnal POMITS Vol. 7, No. 7 (2012) 1-6.*

Nursuhud. D dan Pudjanarsa. A. 2008. *Handbook Mesin Konversi Energi.* Jakarta. Indonesia.

Petruzella D. F. 1996. *Industrial Electronics. First Edition.* Sumanto I. (penerjemah). 2002. *Elektronik Industri. Edisi Pertama.* ANDI Yogyakarta.