

Rancang Bangun Turbin Angin Savonius Tiga Sudu untuk Dimanfaatkan sebagai Penerangan bagi Masyarakat di Daerah Terpencil

Agustinus Laka^{1*}, Dedy Nataniel Uilly¹, Purnawarman Ginting¹, Nasaruddin¹, Dessy M. Para¹, Bernadus Stefanus Wuwur¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Kupang, Kota Kupang, Indonesia

Kata kunci

Krisis energi
Energi alternatif
Turbin angin Savonius
Performa

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 Delo. Di mana secara administratif dusun Muli ini terletak di desa Delo, 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 diketahui 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 7,65 m/s dengan nilai BHP sebesar 87,49 Watt, sedangkan BHP terendah terjadi pada kecepatan angin 3,25 m/s dengan nilai BHP 11,76 Watt. Rancangan turbin angin Savonius ini juga dapat menghasilkan efisiensi tertinggi pada kecepatan angin 5,5 m/s dengan nilai efisiensi yaitu sebesar 25,51 % dan pada kecepatan angin 6,49 m/s dengan nilai efisiensi yaitu sebesar 26,69 %, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada kecepatan angin 3,25 m/s yaitu sebesar 11,68 %.

* *Corresponding author:*

Agustinus Laka (email: alaka2087@gmail.com)

Diterima: 5 Januari 2024

Disetujui: 19 Februari 2024

Dipublikasikan: 29 Februari 2024

1 Pendahuluan

Hingga saat ini masih ada daerah terpencil yang belum bisa diakses oleh jaringan listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Ada beberapa persoalan yang ditemui di lapangan yaitu lokasi yang bergunung-gunung dan kondisi medan yang sulit serta jumlah penduduk yang masih berpencar, sehingga menyulitkan penyaluran, transmisi dan pengerjaan proyek tenaga listrik dari PLN. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sumber energi alternatif yang dapat menggantikan sumber energi berbasis fosil dengan energi terbarukan seperti energi air, angin, matahari, geothermal, biodiesel, bioetanol, biomassa dan energi lainnya. Sumber energi terbarukan yang sangat berpotensi di Indonesia adalah pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Energi kinetik dari angin ditangkap oleh sudu-sudu dengan luasan tertentu, sehingga menghasilkan gerak rotasi untuk memutar rotor turbin. Putaran rotor turbin mampu memutar poros generator sehingga akan menghasilkan energi listrik.

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.

Pengembangan pembangkit listrik tenaga angin sebagai penerangan sudah banyak dilakukan dengan menggunakan turbin angin poros horizontal seperti turbin jenis propeler, dimana 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 [1]

Penelitian selanjutnya yaitu tentang Studi Ekeperimental Kinerja Turbin Angin Savonius yang Terintegrasi dengan Gedung pada Jarak G/D . Pada penelitian ini digunakan turbin angina Savonius dua sudu dengan diameter sudu (D) 165,2 mm, tinggi turbin (H) 303,4 mm, diameter poros (b) 19 mm, dan diameter endplate (D_o) 321 mm. Turbin diletakkan di samping model bangunan pada sisi *advancing*-nya dengan rasio jarak pusat turbin ke dinding terhadap diameter sudu turbin (G/D) sebesar 1,82. Variasi kecepatan angin yang digunakan adalah 4 hingga 9 m/s. Hasil penelitian yang diperoleh adalah kecepatan angin 8 m/s merupakan kecepatan optimum untuk meningkatkan peforma turbin angin Savonius, dibuktikan oleh peningkatan nilai *Coefficient of Power* (CoP_{max}) sebesar 14,7% dan peningkatan *Coefficient of Moment* (CoM_{max}) sebesar 15,9%. Pemasangan dinding disebelah di sudu *advancing* juga dapat meningkatkan kemampuan *self-starting* turbin angin Savonius pada seluruh variasi kecepatan angin, dengan peningkatan tertinggi yaitu pada kecepatan 9 m/s sebesar 79,9% [2]

Penelitian selanjutnya yaitu studi eksperimental peningkatan kinerja turbin angina Savonius dengan penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade*. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental nyata di lapangan dengan penempatan silinder pengganggu di depan *returning blade*. Silinder pengganggu diletakkan di depan *returning blade* dengan jarak (y/D)= 0,5 yang memiliki diameter (d) = 83 mm. Penelitian ini dilakukan dengan variasi kecepatan angin 3,8 - 9 m/s pada jarak (S/D) = 1,2. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa Turbin Savonius dengan silinder pengganggu di depan *returning blade* pada kecepatan angin 5 m/s paling efektif dalam meningkatkan CoP dan C_m , dengan didapatkan nilai sebesar 74,28% dan 73,24%. Namun penggunaan silinder pengganggu dengan ukuran $d/D = 0,5$, posisi $y/D = 0,5$ dan jarak $S/D = 1,2$ untuk semua variasi kecepatan belum mampu menyebabkan turbin Savonius memiliki *self-starting* pada semua posisi angular sudu [3].

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 angela 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 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 [4].

Penelitian selanjutnya 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 [5].

Penelitian selanjutnya yaitu tentang perancangan turbin angin tipe Savonius dua tingkat dengan kapasitas 100 Watt untuk gedung syahriah Solo. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental nyata di lapangan di mana turbin angin Savonius dua tingkat ditempatkan di atas gedung. Dalam tulisan ini dibuat turbin angin Savonius yang mempunyai kapasitas 100 Watt dirancang untuk menghasilkan energi di wilayah perkotaan. Turbin angin Savonius dirancang untuk dipasang di atap Hotel Syariah Solo. Itu kecepatan angin maksimum di puncak atap berdasarkan data kecepatan angin tercatat di Bandara Adisumarmo Surakarta sebesar 6,71 m/s. Savonius rancangan turbin angin mempunyai koefisien daya (C_p) sebesar 0,18 dan tip speed ratio (λ) dari 1. Rasio aspek (α) dan rasio tumpang tindih (β) turbin angin adalah 2 dan 0,2 masing-masing. Turbin tersebut mempunyai 2 sudu berbentuk setengah lingkaran dan mempunyai tinggi (H) sebesar 1,85 m dan diameter rotor (D) sebesar 0,92 m [6].

Beberapa persamaan yang dipakai untuk menghitung kinerja atau performance turbin angin Savonius diperlihatkan di bawah ini:

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.

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 [7]:

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

Dengan:

D : diameter rotor (m);

n : putaran poros (rpm);

v : kecepatan aliran udara (m/s)

1.3 Daya Angin (P_w)

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

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

Dengan:

P_w : daya angin (Watt);

ρ : kerapatan massa udara (kg/m^3);

v : kecepatan aliran udara (m/s);

A : luas penampang (m²)

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 [8]:

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

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 (%).

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).

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 :

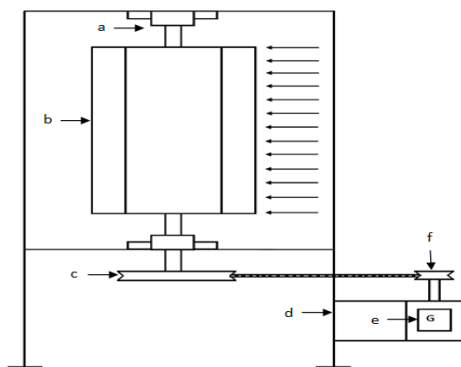
$$\eta = \frac{BHP}{P_w} \times 100 \% \quad (6)$$

2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental nyata yaitu melakukan pengamatan langsung di lapangan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat diketahui 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 [9].

2.1 Instrumen Penelitian

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



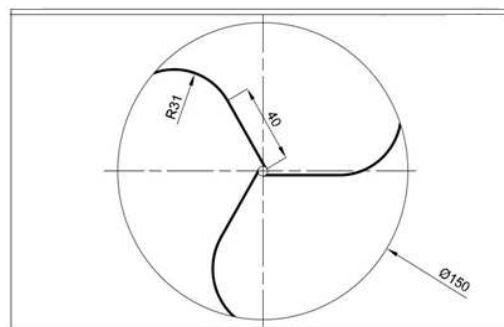
Keterangan gambar :

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

Gambar 1 Instalasi penelitian.

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.

2.2 Variabel Penelitian

Variabel Bebas:

Kecepatan angin: 3,25 m/s, 4,55 m/s, 5,45 m/s, 6,49 m/s, dan 7,65 m/s.

Variabel Terikat:

Brake horse power (BHP) dan torsi (T).

2.3 Teknik Pengumpulan Data

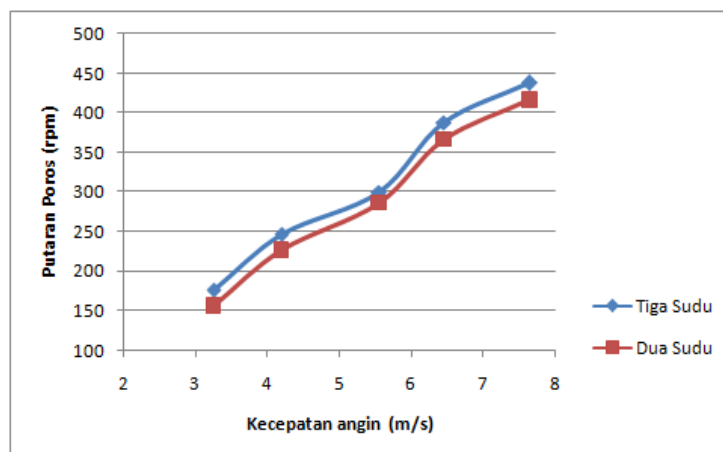
Turbin angin Savonius ditempatkan di area pegunungan yang muda terkena angin ataupun dapat ditempatkan di tanah lapang, sehingga tidak ada pepohonan atau perumahan yang menghalangi turbin tersebut. Pengambilan data dimulai ketika turbin Savonius sudah berputar stabil dan dapat menyalakan beberapa lampu LED sebagai tanda atau indicator bahwa turbin sudah dapat menghasilkan energi listrik. Setiap pengambilan variabel penelitian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk mendapat nilai rata-ratanya. Data-data yang akan diambil yaitu putaran rotor (rpm), tegangan generator listrik (Volt) dan kuat arus listrik (Ampere).

2.4 Teknik Analisa Data

Analisa data dapat dilakukan setelah mengolah data hasil pengujian dengan persamaan yang ada. Performance turbin angin Savonius ini didasarkan pada beberapa parameter yaitu daya angin (Watt), daya turbin Savonius (Watt), torsi (N.m) dan efisiensi turbin Savonius (%). Analisa data akan dibuat dengan menggunakan program microsof exel dalam bentuk tabel dan grafik pada tiap-tiap variasi besar sudut pengarah. Dari grafik tersebut akan terlihat perbedaan pada tiap-tiap perlakuan sehingga dapat diketahui hubungan sebab akibat dan dapat ditarik beberapa kesimpulannya.

3 Hasil dan Pembahasan

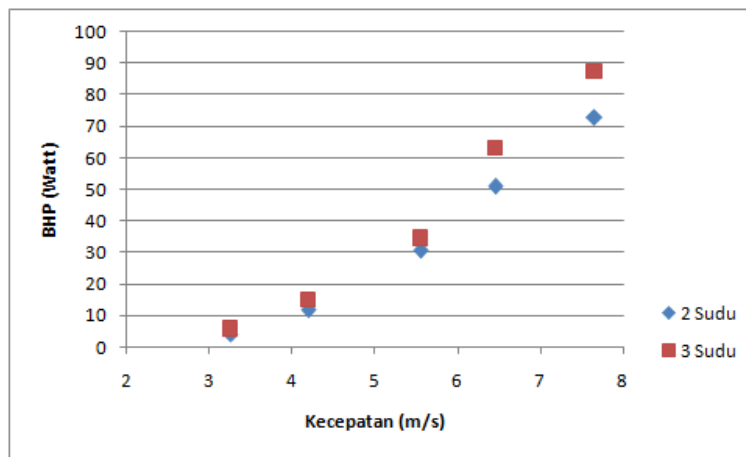
Seperti terlihat pada gambar 3 maka kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap peningkatan putaran poros dan peningkatannya juga cenderung linear. Hal ini terjadi karena adanya penambahan sejumlah massa udara per detik yang menumbuk sudu rotor turbin sehingga putarannya akan cenderung meningkat. Putaran tertinggi terjadi pada kecepatan angin 7,65 m/s dengan nilai putaran sebesar 437,3 rpm, sedangkan putaran terendah terjadi pada kecepatan angin 3,25 m/s dengan nilai putaran sebesar 156,03 rpm. Selain itu putaran poros akan menurun jika diberi beban berupa lampu dan akan terus menurun jika diberi beban yang berlebihan. Dengan demikian, 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 dan daya yang dihasilkan oleh generator 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 1.3 dan diasumsikan bahwa alternator ini memiliki efisiensi sebesar 85 %. Pada penelitian ini juga sudu rotor divariasikan yaitu rotor 3 sudu dan 2 sudu rotor. Dari grafik terlihat bahwa rotor 3 sudu memiliki BHP yang lebih baik jika dibandingkan dengan rotor 2 sudu pada tiap kecepatan angin. Hal ini terjadi karena luasan penampang pada rotor 3 sudu lebih besar sehingga dapat menampung massa udara yang lebih banyak.

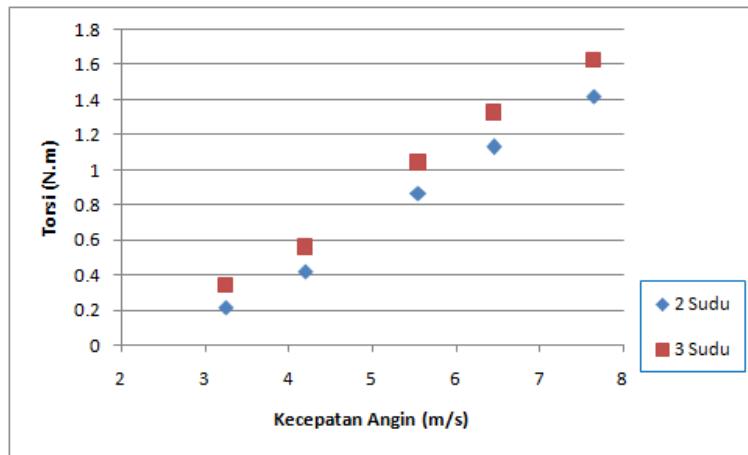
Pada rotor 3 sudu BHP tertinggi yakni 87, 49 Watt, sedangkan pada rotor 2 sudu hanya 72,65 Watt, di mana BHP tertinggi terjadi pada kecepatan angin maksimum yaitu 7,65 m/s.



Gambar 4 Hubungan kecepatan angin terhadap BHP.

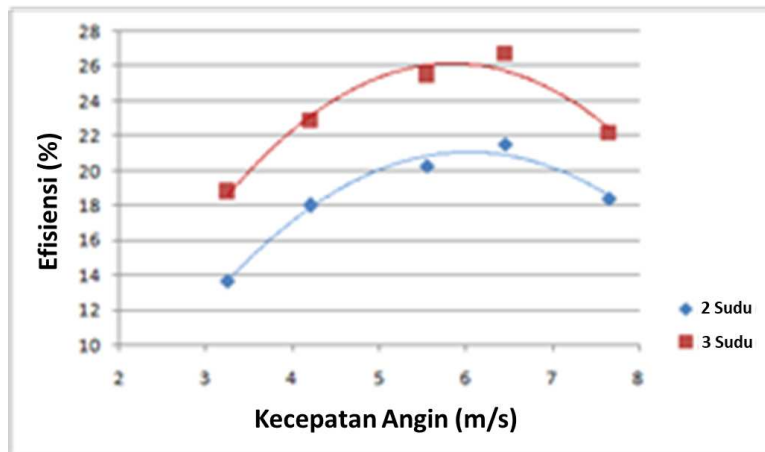
Seperti terlihat pada gambar 5 maka kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius. Di sini juga terlihat bahwa torsi yang dihasilkan memiliki kecenderungan meningkat secara linear. Hal ini terjadi karena telah terjadi peningkatan BHP seiring meningkatnya kecepatan angin. Nilai torsi akan meningkat secara linear jika nilai BHP dan putaran meningkat secara berimbang pula. Pada kecepatan angin 3,25 sampai dengan 7,65 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 divariasikan yaitu 2 sudu rotor dan 3 sudu rotor. Dari grafik terlihat bahwa rotor 3 sudu menghasilkan torsi tertinggi jika dibandingkan dengan rotor 2 sudu. Pada rotor 3 sudu torsi tertinggi yaitu 1,62 N.m, sedangkan rotor 2 sudu torsi tertinggi yaitu 1,42 N.m.

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, bila kecepatan angin meningkat lebih tinggi lagi maka nilai efisiensi cenderung menurun, sehingga hanya pada kecepatan angin 3,25, 4,2, 5,5 dan 6,45 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 [9].



Gambar 5 Hubungan kecepatan angin terhadap torsi.

Dari grafik juga terlihat bahwa rotor 3 sudu menghasilkan efisiensi lebih tinggi jika dibandingkan dengan rotor 2 sudu. Pada rotor 3 sudu efisiensi tertinggi yaitu 26,69 %, sedangkan pada rotor 2 sudu efisiensi tertingginya yaitu 21,50 %. Efisiensi tertinggi terjadi pada 6,45 m/s.



Gambar 6 Hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi.

4 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap besarnya tegangan dan arus listrik (BHP), torsi dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius yang digunakan sebagai pembangkit listrik untuk masyarakat di daerah pedesaan. Rancangan turbin angin Savonius dengan jumlah tiga sudu dapat menghasilkan efisiensi tertinggi yaitu sebesar 26,69 % sedangkan rotor 2 sudu menghasilkan efisiensi sebesar 21,50 %.

5 Referensi

- [1] A. J. Pradana; G. Nugroho; A. Musyafa. 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.
- [2] A. A. Manurung dan T. Y. Yuwono. 2021. Studi Ekeperimental Kinerja Turbin Angin Savonius yang Terintegrasi dengan Gedung pada Jarak G/D = 1,82 dari Dinding. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 10, No. 2, (2021) ISSN: 2337-3539
- [3] B. Ramadhan dan T. Y. Yuwono. 2020. Studi Eksperimental Peningkatan Kinerja Turbin Angina Savonius Dengan Penempatan Silinder Pengganggu Di Depan Returing Blade. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 9, No. 2, (2020) ISSN: 2337-3539
- [4] E. Hau. 2005. Handbook Wind turbines fundamentals technologies, applications, economics. Springer Germany.

- [5] F. D. Petruzella. 1996. *Industrial Electronics*. First Edition. Sumanto I. (penerjemah). 2002. *Elektronik Industri*. Edisi Pertama. ANDI Yogyakarta.
- [6] I. Muttaqin dan M. Suprpto. 2021. Pembuatan Turbin Angin Savonius Berbahan Aluminium. *JURNAL JIEOM* Vol.04, No.01, JUNI 2021 ISSN: 2620-818.
- [7] L. S. Fachrudin; Nugroho G; Musyafa A. 2013. Rancang bangun turbin angin vertical jenis Savonius dengan variasi jumlah stage dan phase shift angle untuk memperoleh daya maksimum. *Jurnal POMITS* Vol. 1, No.1 (2013) 1-5.
- [8] K. Kacprzak; Liskiewicz. G; Sobczak. K. 2013. Numerical investigation of conventional and modified Savonius wind turbines. *Elsevier journal renewable energy* (2013) 578-585.
- [9] Nursuhud. D dan Pudjanarsa. A. *Handbook Mesin Konversi Energi*. Jakarta. Indonesia. 2008
- [10] S. Rizkiyanto; D. D. D. P. Tjahjana; E. P. Budianan. 2015. Perancangan Turbin Angin Tipe Savonius Dua Tingkat Dengan Kapasitas 100 Watt Untuk Gedung Syahriah Solo. *Mekanika Jurnal*. Volume 14 Nomor 1, September 2015.