

# PENGARUH PEMASANGAN SUDU PENGARAH DAN VARIASI JUMLAH SUDU ROTOR TERHADAP *PERFORMANCE* TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L

Dedy Nataniel Uly<sup>\*1</sup>, Bernadus Wuwur<sup>2</sup>, Purnawarman Ginting<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Mesin PNK, Kupang  
Jln. Adi Sucipto, Penfui Kupang, Indonesia  
Phone : (0380)-881245, Fax : (0380)-881245  
e-mail: [dedy\\_ully@yahoo.com](mailto:dedy_ully@yahoo.com)

## Abstrak

*Pemasangan sudu pengarah di depan sudu rotor dapat meningkatkan performance turbin angin Savonius, karena dapat mencegah torsi negatif pada sudu cembung dan mengarahkan sejumlah massa udara pada sudu cekung tanpa mengenai sudu cembung. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental nyata (true experimental) pada skala laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi meningkat secara parabolik seiring bertambahnya kecepatan angin sehingga pada kecepatan 6 dan 7 m/s mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena meningkatnya kecepatan angin yang tidak diimbangi dengan kenaikan BHP. Pada rotor dengan pemasangan sudu pengarah efisiensi maksimum terjadi pada rotor tiga sudu sebesar 40,84 %, rotor empat sudu sebesar 34,42 %, rotor dua sudu sebesar 31,52 %. Di mana efisiensi tertinggi ini terjadi pada kecepatan angin 5 m/s. Sedangkan pada rotor tanpa pemasangan sudu pengarah efisiensi maksimum terjadi pada rotor tiga sudu sebesar 37,39 %, rotor dua sudu sebesar 25,36 % dan rotor empat sudu sebesar 18,009 %. Efisiensi maksimum pada rotor tiga dan dua sudu terjadi pada kecepatan angin 5 m/s, sedangkan rotor empat sudu efisiensi maksimum terjadi pada kecepatan angin 6 m/s.*

Kata kunci— Energi angin, Turbin angin Savonius, Sudu pengarah dan performance

## Abstract

*Installation of the guide vane in front of the rotor blade can improve the performance of wind turbine Savonius, because it can prevent a negative torque on the blade is convex and directed a number of air mass on the concave blade without the blade convex. This research was conducted by using experimental methods real (true experimental) on a laboratory scale. The results showed that the efficiency of the parabolic increases with increasing wind speed so that the speed of 6 and 7 m / s decline. This occurs due to the increased wind speed is not matched by the increase in BHP. In the rotor blade with the installation of directional maximum efficiency occurs at three rotor blades of 40.84%, four-blade rotor of 34.42%, two-blade rotor of 31.52%. Where this occurs the highest efficiency at a wind speed of 5 m / s. While on the rotor blade without the installation of directional maximum efficiency occurs at three rotor blades of 37.39%, two-blade rotor of 25.36% and a four-blade rotor amounted to 18.009%. Maximum efficiency at three and two rotor blade occurs at a wind speed of 5 m / s, while the four-blade rotor maximum efficiency occurs at a wind speed of 6 m / s.*

Keywords— Energi angin, Turbin angin Savonius, Sudu pengarah dan performance

## 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Patil., 2008; mengatakan bahwa pengembangan pembangkit listrik tenaga angin sudah banyak dilakukan dengan

menggunakan turbin angin poros horisontal, dimana turbin angin jenis ini mempunyai keunggulan yaitu memiliki perbandingan antara luas penampang *propeller* dengan luas area sapuan angin yang kecil serta memiliki perbandingan

antara kecepatan keliling *propeller* dengan kecepatan angin yang besar sehingga dapat menghasilkan *power coefficient* ( $C_p$ ) yang tinggi. Namun, turbin angin jenis ini juga memiliki kelemahan yaitu menghasilkan torsi yang relatif rendah dan membutuhkan perencanaan desain yang matang agar pemasangan turbin angin poros horisontal dapat berhasil dengan baik. Sementara itu, turbin angin Savonius yang memiliki poros vertikal 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.

Menurut pendapat Hau., 2005; mengatakan bahwa turbin angin Savonius adalah sebuah mesin fluida yang memiliki sumbu poros vertikal yang diciptakan oleh seorang insinyur Filandia yang bernama Sigurd Johan Savonius pada tahun 1922. Turbin angin Savonius ini memanfaatkan udara bebas sebagai fluida kerja. Udara yang bergerak dengan kecepatan ( $v$ ) dan massa ( $m$ ) tertentu memiliki energi kinetik yang dapat dikonversikan menjadi energi mekanik dengan menggunakan rotor turbin yang selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik.

Menurut pendapat Nursuhud dan Pudjanarsa., 2008; mengatakan bahwa turbin angin Savonius 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 atau 10 km/jam (6 m.p.h) maka turbin angin Savonius sudah dapat berputar dan menghasilkan energi listrik. Namun turbin angin Savonius juga memiliki kelemahan yaitu memiliki torsi awal yang kecil dan tidak mengambil keuntungan ketika

adanya kecepatan yang tinggi karena efisiensinya cenderung menurun seiring naiknya kecepatan angin. Efisiensi turbin angin Savonius juga lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin angin tipe *propeller* yang memiliki sumbu poros horisontal, sehingga dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan efisiensi dari turbin angin Savonius.

Upaya peningkatan efisiensi turbin angin Savonius sudah banyak dilakukan salah satunya oleh Saha dan Rajkumar., 2006; melakukan penelitian tentang penggunaan sudu rotor berbentuk *elliptical*, kemudian membandingkan dengan sudu rotor konvensional yang berbentuk setengah lingkaran. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *power coefficient* yang dihasilkan sudu rotor berbentuk *elliptical* lebih tinggi dari pada sudu rotor konvensional. Pada sudu rotor berbentuk *elliptical* maka *power coefficient* dapat mencapai 0,1399 sedangkan pada sudu rotor konvensional hanya menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,1104, di mana keduanya terjadi pada kecepatan angin 8, 23 m/s.

Selanjutnya Kamoji et al., 2009; melakukan penelitian dengan membandingkan ketiga desain yaitu sudu rotor konvensional, modifikasi sudu rotor konvensional tanpa poros dan modifikasi sudu rotor konvensional dengan menggunakan poros, di mana pada penelitian ini tidak dilakukan pemasangan sudu pengarah. Hasilnya menunjukkan bahwa modifikasi sudu rotor konvensional tanpa poros memiliki *performance* yang lebih baik dari pada sudu rotor konvensional dan modifikasi sudu rotor dengan menggunakan poros.

Selanjutnya Mohamed et al., 2010; melakukan penelitian tentang optimasi turbin angin Savonius konvensional dengan menggunakan sudu pengarah

untuk melindungi sudu cembung pada rotor turbin dari tumbukan angin. Karena akan ada torsi negatif apabila sudu cembung terkena tumbukan angin yang menyebabkan terhambatnya gerakan rotor turbin angin Savonius. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *power coefficient* ( $C_p$ ) seiring dengan meningkatnya *tip speed ratio* (TSR). Penggunaan sudu pengarah jelas memberikan peningkatan *performance* yang lebih baik bila dibandingkan dengan rotor turbin angin Savonius yang tanpa menggunakan sudu pengarah.

Selanjutnya Mahmoud et al., 2012; melakukan penelitian tentang studi eksperimental peningkatan *performance* turbin angin Savonius konvensional untuk menentukan parameter operasi yang paling efektif. Dari hasil eksperimental didapat bahwa rotor dengan jumlah dua sudu menghasilkan *power coefficient* yang lebih tinggi dari pada rotor dengan jumlah tiga sudu dan empat sudu. Selanjutnya rotor *double stage* menghasilkan *performance* yang lebih baik jika dibandingkan dengan rotor yang memakai *single stage*. Sudu rotor yang dipakai pada penelitian ini adalah sudu konvensional setengah lingkaran.

Selanjutnya Farid., 2014; melakukan penelitian tentang optimasi daya turbin angin Savonius dengan variasi celah dan perubahan jumlah sudu. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa turbin angin Savonius mampu menghasilkan daya listrik maksimum 5,67 Watt dengan jarak celah sudu 30 mm pada kecepatan angin 5,2 m/s dan daya listrik minimum 0,1 Watt dengan celah sudu 0 mm pada kecepatan angin 3,5 m/s. Selain itu diperoleh juga kesimpulan bahwa semakin tinggi kecepatan angin maka efisiensi yang dihasilkan tidak semakin tinggi tapi justru mengalami penurunan.

## 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 ( $\lambda$ )

*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:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 \cdot v}$$

(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:

$$P_w = E \text{ per satuan waktu}$$

$$= \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ (Watt)}$$

(2)

$$= \frac{N \cdot m}{dtk} = \frac{\text{Joule}}{dtk} = \text{Watt}$$

Dengan:

$P_w$  : daya angin (Watt);

$\rho$  : kerapatan massa udara ( $\text{kg/m}^3$ );

$v$  : 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 :

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

(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 :

$$BHP = \frac{P_{generator}}{\eta_{generator}}$$

(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:

$$T = \frac{P_{generator}}{2 \pi \frac{n_{generator}}{60}}$$

(5)

Dengan :

$T$  : torsi (N.m),

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

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

#### 2.1.6 Efisiensi ( $\eta$ )

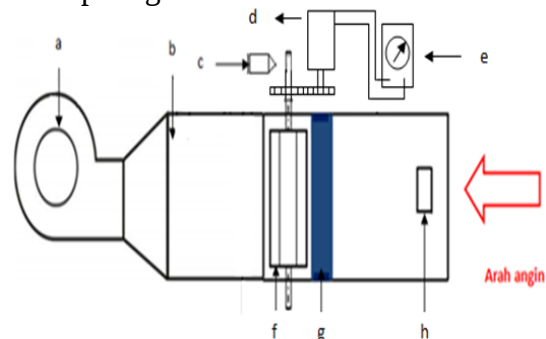
Untuk menyatakan performansi suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan yang dilakukan. Rumus efisiensi adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{BHP}{P_w} \times 100 \%$$

(6)

#### 2.1 Instrumen Penelitian

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



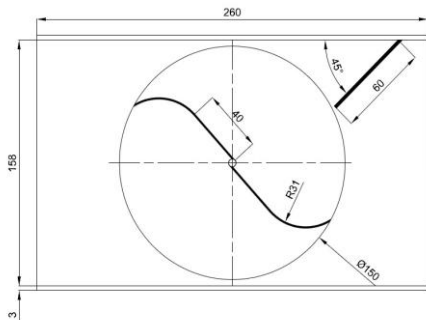
Gambar 1. Instalasi Penelitian

Keterangan gambar :

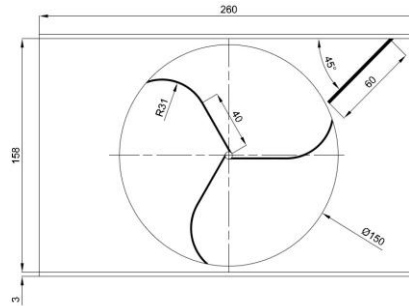
- a. Blower
- b. Wind tunnel (terowongan angin)
- c. Tachometer digital
- d. Generator listrik
- e. Multimeter
- f. Rotor turbin
- g. Sudu pengarah

#### h. Anemometer

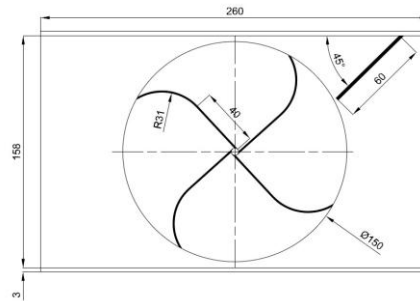
Pada saat menghidupkan *blower* maka udara bebas yang memiliki kecepatan ( $v$ ) dan massa ( $kg$ ) tertentu akan terisap dan mengalir melalui *wind tunnel* (terowongan angin) sehingga dapat menggerakkan rotor turbin, selanjutnya memutar poros generator listrik untuk membangkitkan energi listrik seperti terlihat pada gambar 1. Dengan demikian terjadi perubahan atau konversi energi angin menjadi energi gerak dalam bentuk putaran poros. Selanjutnya putaran poros rotor menggerakkan generator listrik sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Putaran rotor dan energi listrik yang dihasilkan kemudian diukur pada masing-masing perlakuan sesuai dengan variasi kecepatan angin yang ditetapkan yaitu 4, 5, 6 dan 7 m/s serta variasi jumlah sudu rotor yaitu 2, 3 dan 4 sudu baik dengan pemasangan sudu pengarah maupun tanpa pemasangan sudu pengarah. Dimensi sudu rotor yang dilengkapi dengan sudu pengarah seperti terlihat pada gambar 2 (a), (b) dan (c) :



Gambar 2. Dimensi rotor turbin dengan jumlah 2 sudu



Gambar 3. Dimensi rotor turbin dengan jumlah 3 sudu



Gambar 4. Dimensi rotor turbin dengan jumlah 4 sudu

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental*) yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh pemasangan sudu pengarah dan variasi jumlah sudu rotor terhadap *performance* turbin angin Savonius tipe L. dimana dilakukan perlakuan yang berbeda dengan cara divariasikan jumlah sudu rotor turbin kemudian dibandingkan, sehingga diperoleh suatu pola kejadian yang saling berhubungan.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian skala laboratorium ini adalah agar dapat meningkatkan *performance* turbin angin Savonius dengan pemasangan sudu pengarah di depan sudu rotor turbin yang berfungsi untuk mencegah adanya

torsi negatif pada sudu cembung yang dapat menghambat gerakan putaran rotor itu sendiri dan mengarahkan sejumlah massa udara pada sudu cekung tanpa mengenai sudu cembung seperti yang diutarakan oleh Altan et al., 2008.

## VARIABEL PENELITIAN

### Variabel Bebas :

Kecepatan angin : 4, 5, 6 dan 7 m/.

Jumlah sudu rotor : 2, 3 dan 4 sudu.

### Variabel Terikat :

Brake horse power (BHP)

Torsi (T)

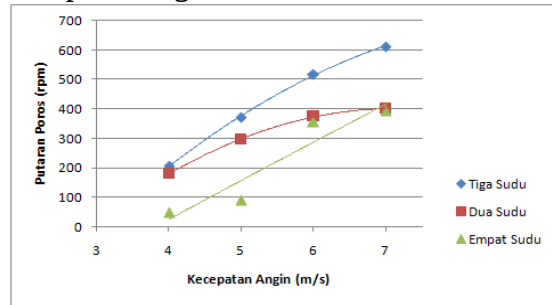
Efisiensi ( $\eta$ )

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin maka putaran naik secara linear, kecuali pada rotor dua sudu di mana grafiknya terlihat cenderung menurun pada kecepatan angin 6 dan 7 m/s. Hal ini terjadi karena turbulensi aliran udara terhadap sudu rotornya besar seiring meningkatnya kecepatan angin sehingga tidak mengalami peningkatan yang signifikan pula. Selain itu, jumlah sudu rotor yang hanya dua saja dapat mereduksi putaran yang dihasilkan karena jumlah angin yang diterima sudu per detikanya lebih sedikit jika dibanding dengan rotor yang memiliki tiga dan empat sudu.

Putaran sangat dipengaruhi oleh kecepatan sudut dan beban lampu serta torsi yang dihasilkan turbin angin Savonius. Pada rotor yang tanpa menggunakan sudu pengarah ini putaran tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu yaitu 612,64 rpm, kemudian terjadi penurunan putaran pada rotor dua sudu yaitu 420,62 rpm dan putaran terendah terjadi pada rotor empat sudu yaitu 395,32 rpm.

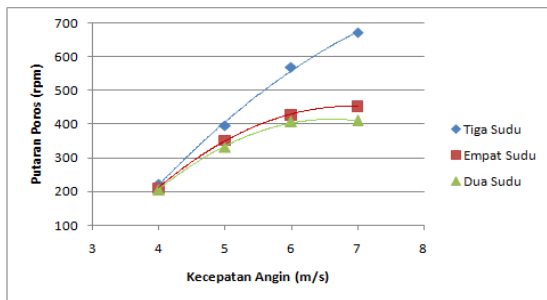
Semua putaran tertinggi terjadi pada kecepatan angin 7 m/s.



Gambar 5. Hubungan kecepatan angin terhadap putaran (tanpa sudu pengarah)

Jika dibandingkan dengan rotor yang menggunakan sudu pengarah (gambar 4) maka terlihat bahwa putaran meningkat secara linear kecuali pada rotor dua dan tiga sudu. Dimana pada kecepatan angin 6 dan 7 m/s cenderung meurun. Hal ini terjadi karena adanya turbulensi udara yang sangat tinggi sehingga dengan bertambahnya kecepatan angin maka putarannya cenderung tidak linear. Di sini juga terlihat bahwa rotor turbin yang menggunakan sudu pengarah dapat menghasilkan putaran lebih tinggi dari pada rotor yang tanpa menggunakan sudu pengarah.

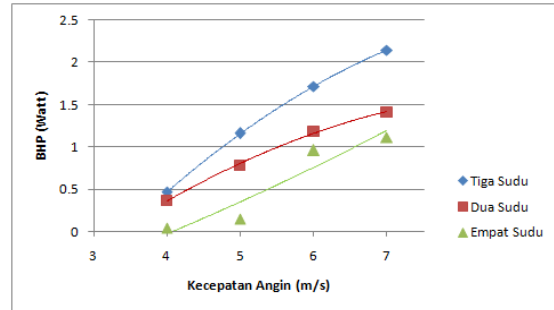
Putaran tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu yaitu 672,26 rpm, kemudian terjadi penurunan putaran pada rotor empat sudu yaitu 452,86 rpm dan putaran terendah terjadi pada rotor dua sudu yaitu 410,24 rpm. Semua putaran tertinggi pada masing-masing variasi jumlah sudu rotor terjadi pada kecepatan angin 7 m/s. Hal ini terjadi karena sudu pengarah dapat mencegah torsi negatif pada sudu cembung sehingga tidak ada kehilangan nilai torsi. Dengan demikian maka nilai torsi akan meningkat sehingga secara otomatis nilai putaran juga ikut meningkat karena nilai putaran dipengaruhi oleh nilai torsi dan kecepatan sudut.



Gambar 6. Hubungan kecepatan angin terhadap putaran (dengan sudu pengarah)

Berdasarkan gambar 7 di bawah ini maka terlihat bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap BHP yang dihasilkan oleh rotor turbin. Semakin tinggi kecepatan angin maka semakin tinggi pula BHP yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius. Pada rotor turbin yang tanpa menggunakan sudu pengarah BHP tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu yaitu 2,1489 Watt, kemudian terjadi penurunan BHP pada rotor dua sudu yaitu 1,412 Watt dan BHP terendah terjadi pada rotor empat sudu yaitu 1,1166 Watt. BHP tertinggi pada ketiga variasi jumlah sudu rotor ini terjadi pada kecepatan angin 7 m/s.

Dari grafik juga terlihat bahwa BHP naik secara linear terhadap kecepatan angin kecuali pada rotor dua sudu pada kecepatan angin 6 dan 7 m/s yang cenderung menurun, hal ini terjadi karena penambahan kecepatan angin yang tidak diimbangi dengan besarnya peningkatan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator.



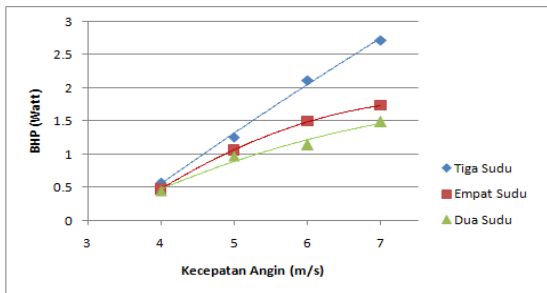
Gambar 7. Hubungan kecepatan angin terhadap BHP (tanpa sudu pengarah)

Berdasarkan gambar 6 di bawah terlihat maka bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap BHP. Pada rotor turbin yang menggunakan sudu pengarah BHP tertinggi pada rotor tiga sudu yaitu 2,724 Watt, kemudian terjadi penurunan BHP pada rotor empat sudu yaitu 1,731 Watt dan BHP terendah terjadi pada rotor dua sudu yaitu 1,492 Watt. Semua BHP maksimum terjadi pada kecepatan angin 7 m/s pada masing-masing perlakuan jumlah sudu rotor.

Bila dibandingkan dengan rotor turbin yang tanpa menggunakan sudu pengarah (gambar 5) terlihat bahwa pada rotor turbin yang menggunakan sudu pengarah memiliki BHP rata-rata lebih baik yaitu pada rotor tiga sudu mengalami peningkatan sebesar 21,11 %, pada rotor empat sudu mengalami peningkatan sebesar 24,09 % sedangkan pada rotor dua sudu mengalami peningkatan sebesar 15,75 %. Peningkatan yang signifikan terjadi pada rotor empat sudu, hal ini terjadi karena telah terjadi peningkatan nilai putaran poros jika dipasang sudu pengarah.

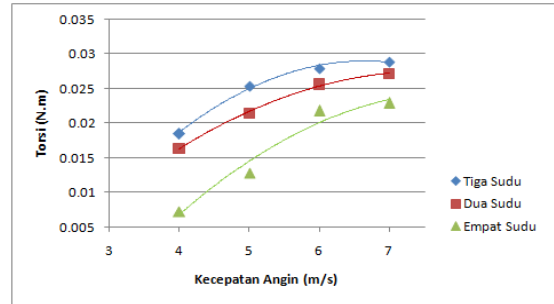
BHP yang dihasilkan turbin angin savonius sangat tergantung kepada besarnya nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator dan pembebanan lampu LED yang diberikan. Selain itu jenis dan efisiensi generator juga

sangat berpengaruh terhadap nilai BHP. BHP juga dipengaruhi oleh perbandingan transmisi antara rotor dengan generator, generator yang dipakai yaitu kuat medan magnet ( $\text{Webber/m}^2$ ) dan jumlah lilitan pada kumparan rotor sesuai pendapat Petruzella., 1996.



Gambar 8. Hubungan kecepatan angin terhadap BHP (dengan sudu pengarah)

Berdasarkan gambar 7 maka terlihat bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin. Pada rotor turbin yang tanpa menggunakan sudu pengarah torsi tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu yaitu 0,0285 N. m, kemudian terjadi penurunan torsi pada rotor dua sudu yaitu 0,0271 N. m dan torsi terendah terjadi pada rotor empat sudu yaitu 0,0229 N. m. Dari grafik juga terlihat bahwa torsi meningkat secara linear seiring bertambahnya kecepatan angin yang diberikan. Hal ini terjadi karena dengan semakin bertambahnya kecepatan angin maka putaran akan semakin bertambah sehingga memicu terjadinya peningkatan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator. Dengan demikian maka nilai torsi juga akan meningkat.



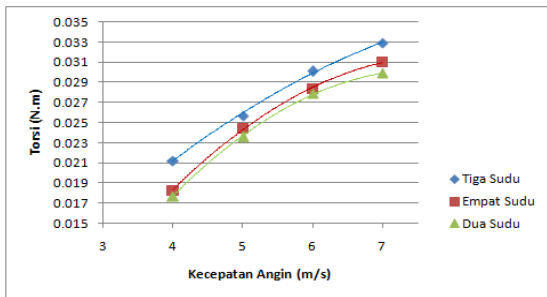
Gambar 9. Hubungan kecepatan angin terhadap torsi (tanpa sudu pengarah)

Berdasarkan gambar 8 terlihat maka bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin. Pada kecepatan angin yang sama untuk rotor turbin dengan jumlah sudu yang berbeda terdapat perbedaan torsi yang bekerja. Hal ini dikarenakan pada rotor dengan jumlah sudu yang sedikit memiliki luas daerah tangkap gaya yang berbeda dengan sudu dengan jumlah sudu yang lebih banyak. Dengan demikian torsi yang dihasilkan oleh masing-masing turbin angin dengan jumlah sudu yang sedikit dan jumlah sudu yang banyak akan berbeda pula. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan turbulensi dan efek pemasangan sudu pengarah, sehingga pemasangan sudu pengarah sangat berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin. Sudu pengarah memungkinkan sudu rotor yang memiliki jumlah sudu yang banyak akan mendapatkan tumbukan angin lebih banyak sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar.

Pada variasi jumlah rotor turbin yang menggunakan sudu pengarah torsi tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu yaitu 0,0328 N. m, kemudian terjadi penurunan torsi pada rotor empat sudu yaitu 0,0311 N. m dan torsi terendah terjadi pada rotor dua sudu yaitu 0,0299 N. m. Bila dibandingkan dengan rotor turbin yang

tanpa menggunakan sudu pengarah (gambar 7) terlihat bahwa pada rotor turbin yang menggunakan sudu pengarah memiliki torsi rata-rata lebih baik yaitu pada rotor tiga sudu mengalami peningkatan sebesar 14,86 %, pada rotor empat sudu mengalami peningkatan sebesar 26,12 % sedangkan pada rotor dua sudu mengalami peningkatan sebesar 9,36 %.

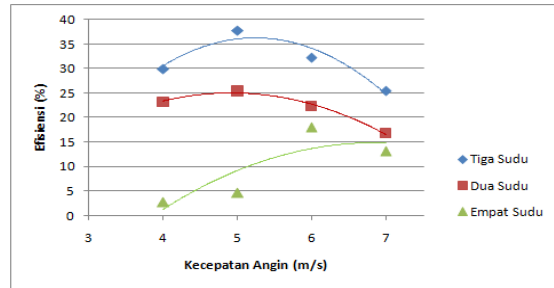
Peningkatan yang signifikan terjadi pada rotor empat sudu, hal ini terjadi karena telah terjadi peningkatan nilai putaran dan BHP jika dipasang sudu pengarah. Dengan meningkatnya nilai putaran maka secara otomatis akan meningkatkan nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan generator, sehingga nilai torsi jelas akan meningkat juga. Karena nilai torsi sangat bergantung pada nilai putaran dan (BHP) tegangan serta arus listrik yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 10. Hubungan kecepatan angin terhadap torsi (dengan sudu pengarah)

Berdasarkan gambar 9 maka terlihat bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan oleh rotor turbin. Pada rotor turbin yang tanpa menggunakan sudu pengarah efisiensi tertinggi pada masing-masing variasi jumlah sudu rotor terjadi pada rotor tiga sudu yaitu 37,79 %, kemudian terjadi penurunan efisiensi pada rotor dua sudu yaitu 25,36 % dan efisiensi terendah terjadi pada rotor empat sudu

yaitu 18,009 %. Efisiensi tertinggi pada variasi jumlah sudu rotor dua dan tiga ini terjadi pada kecepatan angin 5 m/s. Sedangkan efisiensi tertinggi pada rotor empat sudu terjadi pada kecepatan angina 6 m/s.



Gambar 11. Hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi (tanpa sudu pengarah)

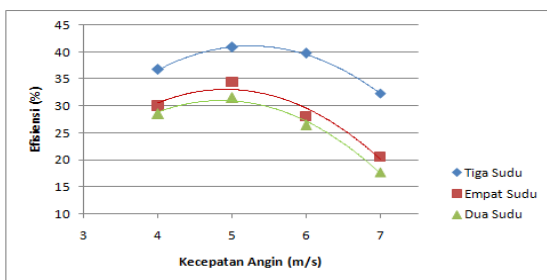
Berdasarkan 10 maka terlihat bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan oleh rotor turbin. Pada rotor turbin yang menggunakan sudu pengarah efisiensi tertinggi terjadi pada masing-masing variasi jumlah sudu rotor yaitu rotor tiga sudu 40,84 %, kemudian terjadi penurunan efisiensi pada rotor empat sudu yaitu 34,42 % dan efisiensi terendah terjadi pada rotor empat sudu yaitu 31,52 %, di mana semua efisiensi tertinggi terjadi kecepatan 5 m/s.

Pada gambar 9 dan 10 juga terlihat juga bahwa dengan adanya pertambahan kecepatan angin yang diberikan maka efisiensi memiliki kecenderungan parabolik, hal ini terjadi karena pertambahan kecepatan angin yang menyebabkan daya angin bertambah besar namun tidak diimbangi dengan kenaikan daya poros atau BHP sehingga efisiensi cenderung mengalami penurunan. Ini disebabkan oleh kinerja generator yang tidak maksimal dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik seiring naiknya putaran yang sangat tinggi. Karena adanya

putaran yang sangat tinggi menyebabkan generator menjadi panas sehingga efisiensi dari generator itu sendiri cenderung menurun.

Selain itu efisiensi sendiri merupakan perbandingan antara daya poros (BHP) dengan daya angin, di mana daya angin memiliki variabel  $V^3$  yang merupakan kecepatan angin yang berada pada bilangan penyebut. Dengan demikian, bila kecepatan angin bertambah maka secara otomatis daya angin juga bertambah dan di sisi lain nilai daya poros (BHP) berada pada bilangan pembilang yang tidak memiliki fungsi kuadrat atau bilangan berpangkat.

Bila dibandingkan dengan rotor turbin yang tanpa menggunakan sudu pengarah (gambar 9) maka terlihat bahwa pada rotor turbin yang menggunakan sudu pengarah memiliki efisiensi rata-rata lebih baik yaitu pada rotor tiga sudu mengalami peningkatan sebesar 7,46 %, pada rotor empat sudu mengalami peningkatan sebesar 36,25 % sedangkan pada rotor dua sudu mengalami peningkatan sebesar 19,54 %. Peningkatan yang signifikan terjadi pada rotor empat sudu, hal ini terjadi karena telah terjadi peningkatan nilai putaran dan BHP jika dipasang sudu pengarah. Hal ini terjadi karena pengaruh penggunaan sudu pengarah yang memberikan efek peningkatan *performance* pada putaran poros, torsi, BHP dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin Savonius.



Gambar 12. Hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi (dengan sudu pengarah)

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. KESIMPULAN

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

1. Pemasangan sudu pengarah di depan sudu rotor terlihat jelas dapat meningkatkan *performance* turbin angin savonius, hal ini terjadi karena sudu pengarah dapat mencegah adanya torsi negatif pada rotor akibat sudu cembung juga terkena terpaan udara yang menyebabkan kehilangan torsi karena adanya gaya yang berlawanan dengan arah putaran rotor.
2. Pada rotor yang menggunakan sudu pengarah *performance* atau efisiensi maksimum terjadi pada rotor dengan jumlah tiga sudu dengan efisiensi sebesar 40,84 % dan BHP sebesar 1,256 Watt pada kecepatan angin 5 m/s, kemudian menurun pada rotor dengan jumlah empat sudu dengan efisiensi sebesar 34,42 % dan BHP sebesar 1,0585 Watt pada kecepatan angin 5 m/s, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada rotor dengan jumlah dua sudu dengan efisiensi sebesar 31,52 % dan BHP sebesar 0,774 Watt pada kecepatan 5 m/s.
3. Pagar rotor tanpa menggunakan sudu pengarah *performance* atau efisiensi maksimum terjadi pada rotor dengan jumlah tiga sudu dengan efisiensi sebesar 37,79 % dan BHP sebesar 1,162 Watt pada kecepatan angin 5 m/s, kemudian menurun pada rotor dengan jumlah dua sudu dengan efisiensi sebesar 25,36 % dan BHP sebesar 0,78

Watt pada kecepatan angin 6 m/s, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada rotor dengan jumlah empat sudu dengan efisiensi sebesar 18,009 % dan BHP sebesar 0,957 Watt pada kecepatan 6 m/s. Secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa efisiensi akan meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin namun pada kecepatan 6 dan 7 m/s terjadi penurunan sehingga grafiknya berbentuk parabolik, hal ini terjadi karena kenaikan kecepatan angin yang berakibat naiknya daya angin tanpa diimbangi dengan kenaikan BHP generator.

## 5.2. SARAN

Dari hasil penelitian tentang pengaruh pemasangan sudu pengarah dan variasi jumlah sudu rotor terhadap *performance* turbin angin Savonius maka dapat disarankan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut di mana udara yang dialirkan dari berbagai arah dan diberi variasi jumlah sudu pengarah.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi besar sudut sudu pengarah terhadap sumbu rotor turbin.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengukur variabel torsi untuk mendapatkan nilai daya dengan menggunakan *torsimeter*.

## DAFTAR PUSTAKA

Patil. H. S. 2008. *Experimental work on horizontal axis PVC turbine blade of power wind mill. International journal mechanical engineering*. ISSN 2277: 7059.

- Hau. E. 2005. *Handbook Wind turbines fundamentals technologies, applications, economics*. Springer Germany.
- Nursuhud. D dan Pudjanarsa. A. 2008. *Handbook Mesin Konversi Energi*. Jakarta. Indonesia.
- Saha U.K dan Rajkumar. J.M. 2006. *On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades. Elsevier journal renewable energy* 31 (2006) 1776-1788.
- Kamoji. A.M; Kedare. B.S; Prabu. V.S. 2009. *Experimental investigations on single stage modified Savonius Rotor. Elsevier journal applied energy* 86 (2009) 1064-1073.
- Mohamed. H.M; Janiga. G; Pap. E; Thevenin. D. 2010. *Optimization of Savonius turbines using obstacle shielding the returning blade. Elsevier journal renewable energy* 35 (2010) 2618-2626.
- Mahmoud. H.N; El-Haroun. A.A; Wahba. E; Masef. H.M. 2012. *An experimental study on improvement of*
- Farid. 2014. *Optimasi Daya Turbin Angin Savonius Dengan Variasi Celah dan Perubahan Jumlah Sudu. Prosiding SNST. ISBN 978-602-99334-3-7*.
- Altan. D.B; Atilgan M; Ozdamar A. 2008. *An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining. Elsevier journal experimental thermal and fluid science* 32 (2008) 1673-1678.
- Petrusella D. F. 1996. *Industrial Electronics. First Edition*. Sumanto I. (penerjemah). 2002. *Elektronik Industri*. Edisi Pertama. ANDI Yogyakarta.