

## Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah dan Variasi Jumlah Sudu Rotor terhadap Performance Turbin Angin Savonius

Dedy Nataniel Uly, Sudjito Soeparman, Nurkholis Hamidi  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang  
Jl. MT Haryono 167 Malang 65145  
Phone: +62-341-587711, Fax: +62-341-554291  
E-mail: dedy\_ully@yahoo.com

### **Abstract**

*The objectives of research were to understand the influence of the installation of guide vane on the performance of Savonius wind turbine and to acknowledge the number of rotor blade which produces the most maximum performance. There are three variations for the number of rotor blade, which are 2, 3 and 4 blades on the range of wind speed are 4-7 m/s. Result of research indicated that rotor with three blades can give better performance than rotor with two and four blades. Rotor with guide vane has produced better performance in power coefficient rate for 0,3638 at wind speed 5 m/s, while rotor without guide vane can only provide power coefficient for 0,2595 at similar wind speed 5 m/s.*

**Keywords:** Wind Energy, Savonius Wind Turbine, Guide Vane and Performance

### **PENDAHULUAN**

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 dan otomatis berputar sendiri (*self-starting*) serta tidak bergantung pada arah angin [1]. Namun turbin angin Savonius juga memiliki kelemahan yaitu memiliki torsi awal yang rendah dan *performance* turbin angin Savonius juga lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin angin tipe *propeller* yang memiliki sumbu poros horisontal, sehingga dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan *performance* dari turbin angin Savonius [2].

Upaya peningkatan *performance* turbin angin Savonius telah dilakukan dengan cara 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 [3].

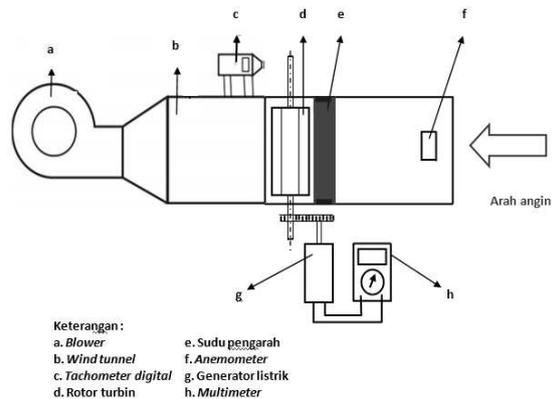
Selanjutnya, upaya peningkatan *performance* turbin angin Savonius dilakukan dengan cara membandingkan *performance* yang dihasilkan dari ketiga desain sudu rotor yaitu sudu rotor konvensional, modifikasi sudu rotor konvensional tanpa poros dan modifikasi sudu rotor konvensional dengan menggunakan poros. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi sudu rotor konvensional tanpa poros menghasilkan *power coefficient* paling tinggi yaitu sebesar 0,21 dan sudu rotor konvensional menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,175, di mana keduanya terjadi pada *tip speed ratio* 0,69, sedangkan modifikasi sudu rotor dengan menggunakan poros hanya menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,143 pada *tip speed ratio* 0,64 [4].

Penggunaan desain sudu pengarah dilakukan untuk meningkatkan *performance* turbin angin Savonius yang ditempatkan di depan sudu rotor. Desain sudu pengarah dipasang dengan tujuan untuk mencegah torsi negatif pada sudu cembung karena adanya gaya yang berlawanan dengan arah putaran rotor dan juga mengarahkan sejumlah massa udara pada sudu cekung tanpa mengenai sudu cembung rotor sehingga dapat meningkatkan *performance* turbin angin Savonius. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa rotor yang menggunakan sudu pengarah dapat menghasilkan *power*

*coefficient* sebesar 0,385 pada kecepatan angin 7,2 m/s sedangkan bila tanpa sudu pengarah *power coefficient* hanya sebesar 0,16 pada kecepatan angin yang sama [5]. Penelitian selanjutnya yaitu tentang studi eksperimental peningkatan *performance* turbin angin Savonius dengan membandingkan tiga variasi jumlah sudu rotor konvensional setengah lingkaran sehingga diketahui bahwa rotor dua sudu lebih baik dari pada rotor tiga sudu dan empat sudu. Rotor dua sudu menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,09 dan rotor tiga sudu menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,055 serta rotor empat sudu hanya menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,044 dan semua terjadi pada kecepatan angin 10 m/s [6]. Penelitian yang terakhir adalah tentang investigasi numerik pada rotor konvensional dan modifikasi turbin angin Savonius dengan membandingkan *performance* tiga desain sudu rotor konvensional, tipe *bach* dan tipe *elliptical*. Sehingga dapat diketahui bahwa desain rotor tipe *bach* menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,1780, dan rotor tipe *elliptical* menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,17 serta rotor konvensional hanya menghasilkan *power coefficient* sebesar 0,1520, dan semuanya terjadi pada *tip speed ratio* 0,8 [7].

#### METODE PENELITIAN

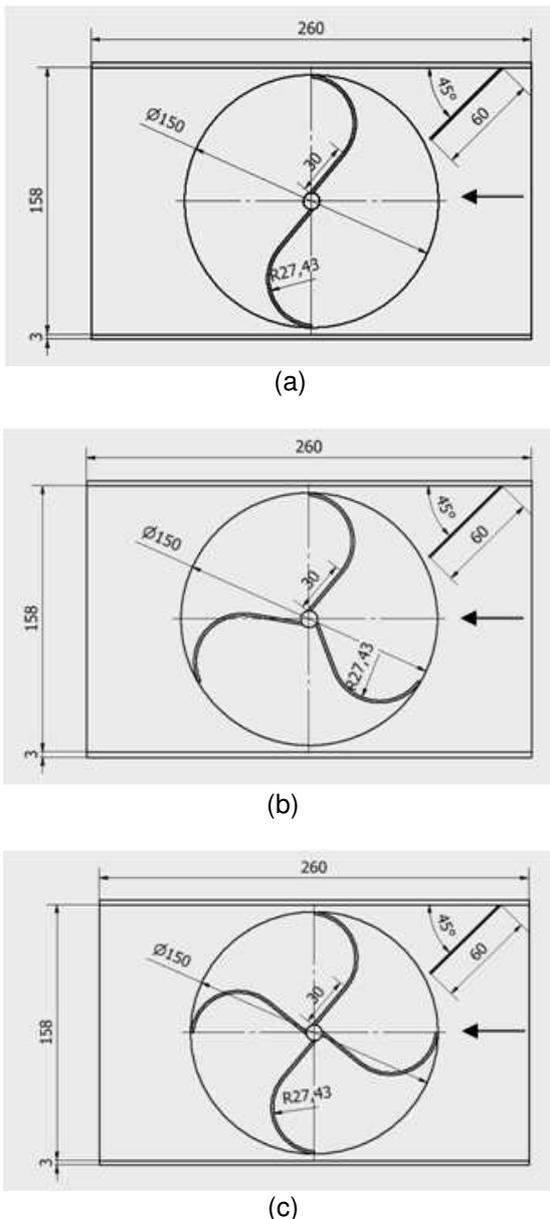
Metode penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu menguji suatu perlakuan pemasangan sudu pengarah dan variasi jumlah sudu rotor turbin terhadap *performance* turbin angin Savonius, di mana dilakukan perlakuan yang berbeda dengan cara divariasikan jumlah sudu rotor turbin kemudian dibandingkan sehingga diperoleh suatu pola kejadian yang saling berhubungan.



**Gambar 1.** Instalasi penelitian.

Pada penelitian skala laboratorium ini yaitu untuk meningkatkan *performance* turbin angin Savonius dengan pemasangan sudu pengarah di depan sudu rotor turbin yang berfungsi untuk mencegah adanya torsi negatif pada sudu cembung karena adanya gaya yang berlawanan dengan putaran rotor dan mengarahkan sejumlah massa udara pada sudu cekung tanpa mengenai sudu cembung [8]. Sudu rotor yang digunakan pada penelitian ini berbentuk *elliptical*.

Ketika *blower* dihidupkan maka udara bebas yang memiliki kecepatan dan massa akan terisap dan mengalir melalui *wind tunnel* sehingga dapat menggerakkan rotor turbin, selanjutnya memutar poros generator untuk membangkitkan energi listrik seperti terlihat pada gambar 1. 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 dua, tiga dan empat 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).

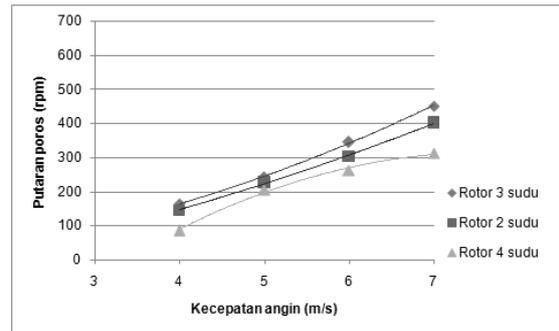


**Gambar 2.** Dimensi rotor turbin Savonius dengan jumlah sudu (a). 2 sudu, (b). 3 sudu dan (c). 4 sudu.

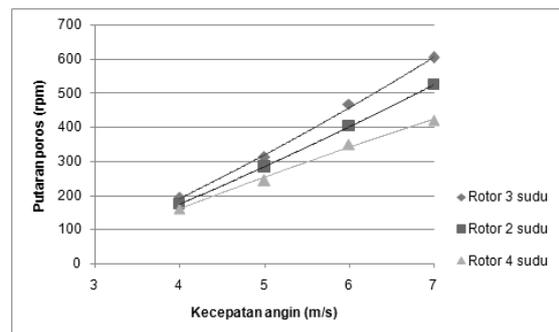
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin maka putaran naik secara linear, kecuali pada rotor dengan jumlah 4 sudu yang cenderung parabolik. Hal ini terjadi karena jumlah sudu yang banyak dan jarak antar sudu kecil sehingga turbulensi udara menjadi besar seiring meningkatnya kecepatan angin yang diberikan. Putaran

sangat dipengaruhi oleh kecepatan angular dan torsi yang dihasilkan turbin angin Savonius. Di sini juga terlihat bahwa rotor tiga sudu menghasilkan putaran tertinggi yaitu 452,15 rpm, kemudian terjadi penurunan pada rotor dua sudu yaitu 402,66 rpm dan putaran terendah terjadi pada rotor empat sudu yaitu 312,55 rpm.



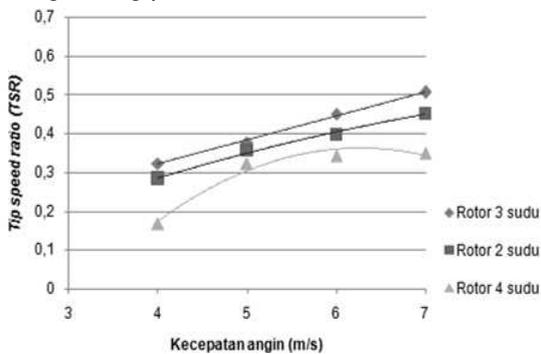
**Gambar 3.** Kecepatan angin terhadap putaran poros tanpa menggunakan sudu pengarah.



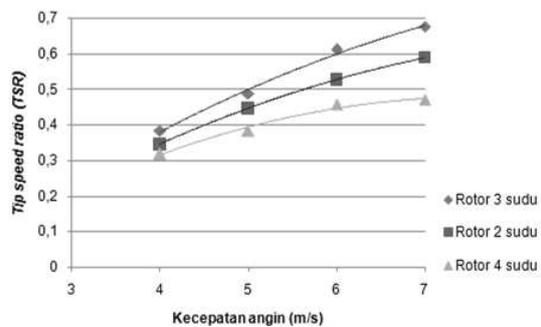
**Gambar 4.** Kecepatan angin terhadap putaran poros dengan menggunakan sudu pengarah.

Gambar 4 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kecepatan angin maka putaran poros meningkat secara linear. Selain dipengaruhi oleh kecepatan angin, kecepatan angular dan torsi, putaran poros juga dipengaruhi oleh sudu pengarah. Hal ini dapat terlihat dari putaran yang dihasilkan turbin angin Savonius ketika menggunakan sudu pengarah. Putaran tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu sebesar 604,48 rpm, kemudian terjadi penurunan putaran pada rotor dua sudu yaitu 525,43 rpm dan putaran terendah terjadi pada rotor empat sudu yaitu 421,52 rpm. Bila dibandingkan dengan rotor yang tanpa

menggunakan sudu pengarah seperti pada gambar 3 maka terlihat jelas bahwa rotor yang menggunakan sudu pengarah seperti pada gambar 4 menghasilkan putaran yang lebih tinggi pada masing-masing variasi jumlah sudu rotor dan kecepatan angin yang sama. Ini berarti pemasangan sudu pengarah sangat berpengaruh terhadap putaran poros rotor. Hal ini terjadi karena sudu pengarah dapat mencegah torsi negatif pada sudu cembung karena adanya gaya yang berlawanan dengan arah putaran rotor, sehingga nilai torsi akan meningkat maka secara otomatis nilai putaran juga ikut meningkat karena nilai putaran sangat bergantung pada nilai torsi.



**Gambar 5.** Kecepatan angin terhadap TSR tanpa menggunakan sudu pengarah.

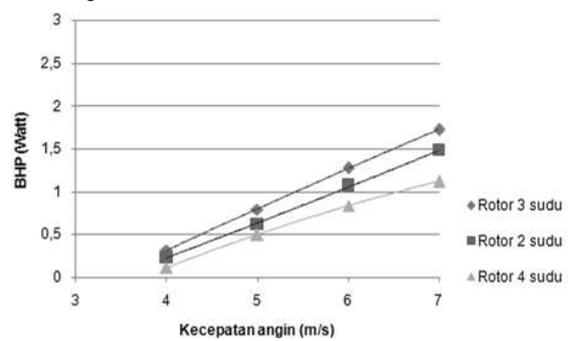


**Gambar 6.** Kecepatan angin terhadap TSR dengan menggunakan sudu pengarah.

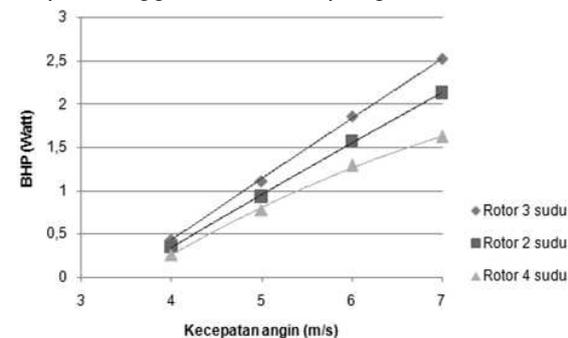
Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kecepatan angin maka tip speed ratio (TSR) meningkat secara linear kecuali pada rotor empat sudu di mana kenaikan TSR cenderung parabolik. Hal ini terjadi karena putaran yang dihasilkan pada rotor empat sudu juga cenderung parabolik, karena TSR sangat bergantung pada nilai

putaran. TSR juga dipengaruhi oleh kecepatan anguler dan kecepatan angin. TSR yang besar dapat mengakibatkan kerusakan pada sudu rotor sehingga diharapkan nilai TSR tidak boleh lebih besar dari pada kecepatan angin bebas [9].

Pada gambar 6 menghasilkan nilai TSR yang lebih besar jika dibandingkan dengan nilai TSR pada gambar 5. Hal ini terjadi akibat pemasangan sudu pengarah di depan rotor turbin yang menyebabkan putaran meningkat sehingga secara otomatis nilai TSR juga ikut meningkat.



**Gambar 7.** Kecepatan angin terhadap BHP tanpa menggunakan sudu pengarah.

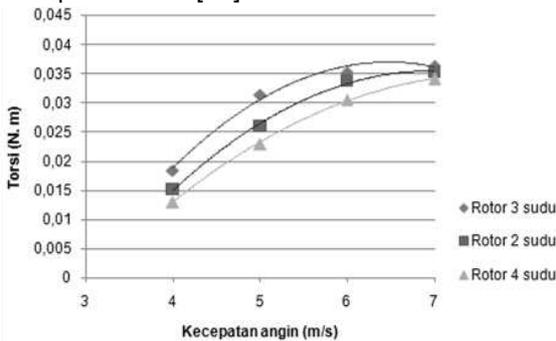


**Gambar 8.** Kecepatan angin terhadap BHP dengan menggunakan sudu pengarah.

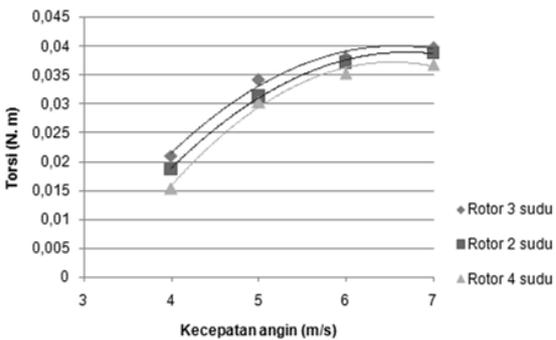
Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa bertambahnya kecepatan angin maka BHP generator meningkat secara linear. Pada rotor yang tanpa menggunakan sudu pengarah seperti pada gambar 7 di mana pada rotor tiga sudu BHP tertinggi sebesar 1,724 Watt, kemudian pada rotor dua sudu BHP sebesar 1,485 watt sedangkan rotor empat sudu BHP sebesar 1,116 Watt. Sedangkan pada rotor yang menggunakan sudu pengarah BHP tertinggi juga terjadi pada rotor tiga sudu yaitu

sebesar 2,523 Watt, kemudian terjadi penurunan pada rotor dua sudu dengan BHP sebesar 2,131 Watt dan BHP terendah terjadi pada rotor empat sudu dengan BHP sebesar 1,624 Watt. Di sini terlihat bahwa rotor yang menggunakan sudu pengarah menghasilkan BHP lebih besar pada variasi kecepatan angin dan jumlah sudu rotor yang sama.

BHP generator sangat dipengaruhi oleh kecepatan angular, putaran poros rotor dan torsi yang dihasilkan oleh turbin angin savonius. Selain itu, BHP generator juga dipengaruhi oleh perbandingan gigi transmisi antara rotor dengan generator serta generator yang dipakai yaitu kuat medan magnet ( $Wbber/m^2$ ) dan jumlah lilitan pada kumparan rotor [10].



**Gambar 9.** Kecepatan angin terhadap torsi tanpa menggunakan sudu pengarah.



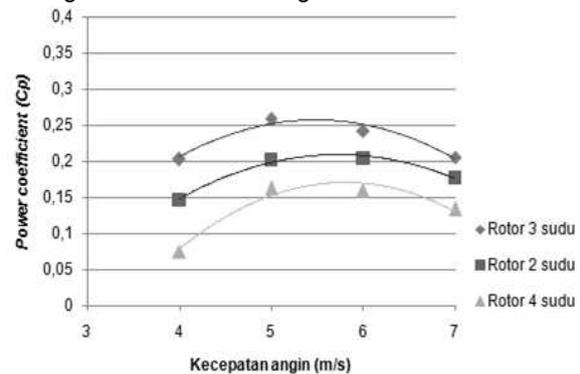
**Gambar 10.** Kecepatan angin terhadap torsi dengan menggunakan sudu pengarah.

Pada gambar 9 dan 10 terlihat bahwa dengan bertambahnya kecepatan angin maka torsi meningkat secara linear kecuali pada kecepatan 7 m/s. Hal ini terjadi karena kenaikan putaran yang tidak diimbangi dengan kenaikan nilai BHP generator seiring dengan bertambahnya kecepatan angin

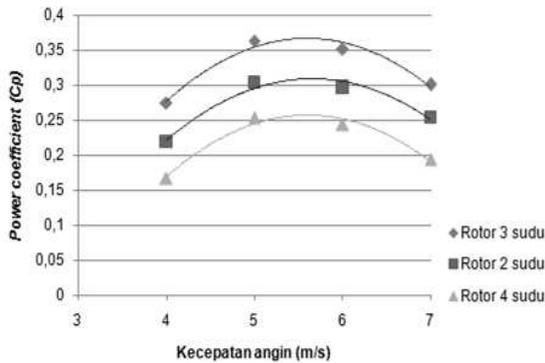
sehingga pada kecepatan 7 m/s cenderung tidak linear. Pada rotor yang tanpa menggunakan sudu pengarah maka torsi tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu yaitu sebesar 0,0364 N. m, kemudian terjadi penurunan pada rotor dua sudu dengan torsi sebesar 0,0352 N. m dan torsi terendah terjadi pada rotor empat sudu dengan torsi sebesar 0,0341 N. m. Torsi bergantung pada BHP generator, putaran poros dan kecepatan angular.

Sedangkan pada rotor yang menggunakan sudu pengarah maka torsi tertinggi juga terjadi pada rotor 3 sudu yaitu sebesar 0,0398 N. m, kemudian terjadi penurunan pada rotor 2 sudu dengan nilai torsi sebesar 0,0387 N. m dan torsi terendah terjadi pada rotor 4 sudu dengan nilai torsi hanya sebesar 0,0368 N.m.

Torsi sangat bergantung pada nilai BHP, putaran poros dan kecepatan angular. Selain itu, torsi juga dipengaruhi oleh desain sudu pengarah. Hal ini terlihat dari nilai torsi yang dihasilkan rotor yang menggunakan sudu pengarah seperti pada gambar 10 yang lebih besar dari pada nilai torsi seperti pada gambar 9 yang tanpa menggunakan sudu pengarah. Hal ini terjadi karena sudu pengarah dapat mencegah torsi negatif pada sudu cembung karena adanya gaya yang berlawanan dengan arah putaran rotor dan mengarahkan sejumlah massa udara pada sudu cekung tanpa mengenai sudu cembung.



**Gambar 11.** Kecepatan angin terhadap Cp tanpa menggunakan sudu pengarah.



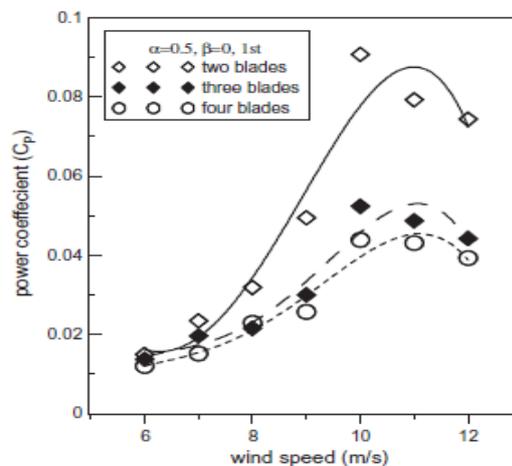
**Gambar 12.** Kecepatan angin terhadap Cp dengan menggunakan sudu pengarah.

Gambar 11 dan 12 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kecepatan angin maka *power coefficient* meningkat secara parabolik. Hal ini terjadi karena kenaikan kecepatan angin sehingga daya angin juga meningkat dan tidak diimbangi dengan kenaikan BHP generator karena kerugian mekanis pada transmisi dan generator akan menjadi panas akibat putaran yang sangat tinggi sehingga pada kecepatan angin 6 dan 7 m/s *power coefficient* cenderung mengalami penurunan. Karena *power coefficient* berbanding lurus dengan BHP generator dan berbanding terbalik dengan daya angin. *Power coefficient* juga dipengaruhi oleh jumlah sudu rotor, hal ini terlihat dari *power coefficient* yang dihasilkan yang berbeda-beda pada tiap perlakuan jumlah sudu rotor. Selain itu, perbandingan transmisi antara rotor dengan generator, kuat medan magnet ( $Wb/m^2$ ) dan jumlah lilitan kumparan pada rotor juga sangat berpengaruh terhadap BHP sehingga secara otomatis berpengaruh terhadap besarnya nilai *power coefficient*.

Pada rotor yang tanpa menggunakan sudu pengarah maka *power coefficient* tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu yaitu sebesar 0,2595 pada kecepatan angin 5 m/s, kemudian mengalami penurunan pada rotor dua sudu dengan nilai *power coefficient* sebesar 0,2033 pada kecepatan angin 6 m/s dan *power coefficient* terendah terjadi pada rotor empat sudu dengan nilai *power coefficient* sebesar 0,1626 pada kecepatan angin 5 m/s. Sedangkan pada rotor yang menggunakan sudu pengarah maka *power coefficient* tertinggi juga terjadi pada rotor tiga sudu yaitu sebesar 0,3638, kemudian terjadi

penurunan pada rotor dua sudu yaitu sebesar 0,3048 dan *power coefficient* terendah terjadi pada rotor empat sudu yaitu sebesar 0,2537.

Pemasangan sudu pengarah jelas memberikan pengaruh terhadap besarnya *power coefficient* yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius. Hal ini dapat dilihat pada gambar 12 yang menggunakan sudu pengarah di mana *power coefficient* yang dihasilkan lebih besar jika dibandingkan dengan rotor yang tanpa menggunakan sudu pengarah seperti pada gambar 11.



**Gambar 13.** Kecepatan angin terhadap Cp.

Sumber: Mohamed et al (2012).

Gambar 13 menunjukkan penelitian yang dilakukan Mahmoud et al (2012). Di sini terlihat bahwa dengan bertambah besarnya kecepatan angin maka *power coefficient* meningkat secara parabolik. Pada penelitian ini ada tiga variasi jumlah sudu rotor yaitu dua sudu, tiga sudu dan empat sudu. Selanjutnya, *performance* dari ketiga variasi jumlah sudu rotor tersebut dibandingkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rotor dengan jumlah dua sudu menghasilkan *performance* lebih baik dari pada rotor tiga sudu dan empat sudu. Pada rotor dengan jumlah dua sudu *power coefficient* tertinggi yaitu sebesar 0,09, kemudian menurun pada rotor dengan jumlah tiga sudu yaitu sebesar 0,055 dan rotor dengan jumlah empat sudu menghasilkan *performance* terendah yaitu sebesar 0,044, di mana semuanya terjadi pada kecepatan angin 10 m/s. Apabila dibandingkan dengan gambar 11 dan 12 maka terlihat bahwa penelitian yang dilakukan Mahmoud et al (2012) seperti

pada gambar 13 menghasilkan *power coefficient* lebih rendah.

### KESIMPULAN

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

1. Pemasangan sudu pengarah di depan sudu rotor dapat meningkatkan *performance* turbin angin savonius, hal ini terjadi karena sudu pengarah dapat mencegah adanya torsi negatif pada sudu cembung karena adanya gaya yang berlawanan dengan arah putaran rotor dan mengarahkan sejumlah massa udara pada sudu cekung tanpa mengenai sudu cembung.
2. Pada rotor yang menggunakan sudu pengarah *performance* maksimum terjadi pada rotor dengan jumlah tiga sudu dengan *power coefficient* sebesar 0,3638, kemudian menurun pada rotor dengan jumlah dua sudu dengan *power coefficient* sebesar 0,3048, sedangkan *performance* terendah terjadi pada rotor dengan jumlah empat sudu dengan *power coefficient* sebesar 0,2537, di mana semuanya terjadi pada kecepatan 5 m/s. Sedangkan pada rotor yang tanpa menggunakan sudu pengarah *performance* maksimum juga terjadi pada rotor dengan jumlah tiga sudu dengan *power coefficient* sebesar 0,2595 pada kecepatan angin 5 m/s, kemudian menurun pada rotor dengan jumlah dua sudu dengan *power coefficient* sebesar 0,2033 pada kecepatan angin 6 m/s, sedangkan *performance* terendah terjadi pada rotor dengan jumlah empat sudu dengan *power coefficient* sebesar 0,1626 pada kecepatan 5 m/s.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Altan. D.B dan Atilgan. M. 2010. The use of a curtain design to increase the performance level of Savonius wind rotors. *Elsevier journal renewable energy* 35 (2010) 821-829.
- [2] Hau. E. 2005. Handbook *Wind turbines fundamentals technologies, applications, economics*. Springer Germany
- [3] 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.

- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Mahmoud.H.N; El-Haroun.A.A; Wahba.E; Masef.H.M. 2012. An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. *Elsevier Alexandria engineering journal* (2012) 51, 19-25.
- [7] Kacprzak. K; Liskiewicz.G; Sobczak. K. 2013. Numerical investigation of conventional and modified Savonius wind turbines. *Elsevier journal renewable energy* 60 (2013) 578-585.
- [8] 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.
- [9] Nursuhud. D dan Pudjanarsa. A. 2008. *Handbook Mesin Konversi Energi*. Jakarta. Indonesia
- [10] Petruzella D. F. 1996. *Industrial Electronics. First Edition*. Sumanto I. (penerjemah). 2002. *Elektronik Industri*. Edisi Pertama. ANDI Yogyakarta.

