

# Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros Vertikal Tipe *Savonius* dengan Menggunakan Pemandu Arah Aliran

Adia Cahya Purnama, Ridho Hantoro, dan Gunawan Nugroho  
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
*e-mail: gunawan@ep.its.ac.id*

**Abstrak**—Pemanfaatan sumber energi air terutama digunakan sebagai penyedia energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga air maupun mikrohidro. Salah satu permasalahan adalah bagaimana memanfaatkan potensi energi aliran air yang relatif kecil. Maka dari itu guna memanfaatkan dan meningkatkan potensi energi aliran air yang relatif kecil diperlukan penelitian. Pemanfaatan energi air pada penelitian ini adalah pemanfaatan energi kinetik aliran air. Energi mekanik yang merupakan transformasi dari energi kinetik aliran air dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin atau kincir. Turbin poros vertikal tipe *Savonius* ini cocok digunakan untuk memanfaatkan energi aliran air yang relatif kecil. Penelitian dengan judul “Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros Vertikal Tipe *Savonius* dengan Menggunakan Pemandu Arah Aliran” dilakukan dengan metode eksperimen, dimana hasil dari rancang bangun turbin akan dilakukan pengujian dan pengambilan data. Data pengujian yang diperoleh berdasarkan dari pengaruh variasi kecepatan aliran 0,30 ; 0,57 ; 0,85 dan 1,08 (m/detik) serta pengaruh dari pemandu arah aliran. Performansi diperoleh dari hasil pengujian dan pengukuran. Diperoleh  $C_p$  maksimum 0,13 pada TSR 1,53 dengan kecepatan aliran 0,57 (m/detik) serta pengaruh dari pemandu arah aliran. RPM maksimum diperoleh sebesar 162 dan daya keluaran maksimum generator sebesar 2311 (mW). Pengaruh pemandu arah aliran dapat meningkatkan performansi turbin *Savonius* diperoleh efisiensi sebesar 13,16%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kecepatan aliran air yang sangat rendah turbin tipe *Savonius* dapat membangkitkan energi listrik.

**Kata Kunci**—*Savonius*,  $C_p$ , TSR dan RPM.

## I. PENDAHULUAN

SEBAGAIMANA yang telah diketahui bahwa persediaan sumber energi minyak bumi, gas alam dan batu bara sangat terbatas, apabila secara terus menerus digunakan maka suatu saat sumber energi tersebut akan habis, disamping itu juga kecenderungan melonjaknya harga sumber energi tersebut. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan. Potensi air sebagai sumber energi terutama digunakan sebagai penyedia energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga air maupun mikrohidro. Pemanfaatan energi air pada dasarnya adalah pemanfaatan energi potensial gravitasi. Energi mekanik aliran air yang merupakan transformasi dari energi potensial gravitasi dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin atau kincir. Dalam menggerakkan kincir, aliran air pada sungai dapat dimanfaatkan ketika kecepatan alirannya memadai. Riset/penelitian dibidang energi khususnya mikrohidro, telah dilakukan oleh para mahasiswa ITS

Surabaya jurusan Teknik Fisika bidang minat rekayasa energi dan pengkondisian lingkungan, tetapi sampai saat ini belum ada yang menggunakan turbin tipe *Savonius* untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Oleh karena itu saya melanjutkan penelitian tersebut. Turbin poros vertikal tipe *Savonius* pada penerapannya digunakan untuk keperluan kecil dan sederhana. Turbin poros vertikal tipe *Savonius* tidak sesuai digunakan untuk pembangkitan listrik yang besar dikarenakan tip speed ratio dan faktor daya yang relatif rendah [1]. Dengan demikian turbin ini cocok digunakan untuk memanfaatkan energi aliran air yang relatif rendah.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hal tersebut, diantaranya yaitu :

- Terdapat potensi energi aliran air sungai/irigasi yang tersebar didaerah pedesaan.
- Unit atau instrumen turbin yang sangat kompleks untuk diaplikasikan dalam pemanfaatannya.
- Kebutuhan energi listrik untuk penerangan di daerah pelosok/pedesaan.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa faktor – faktor tersebut diatas merupakan faktor penghambat pemanfaatan sumber energi khususnya didaerah pedesaan. Maka dari itu perlu adanya langkah nyata untuk melakukan pemanfaatan potensi sumber energi air ini khususnya dalam skala kecil.

## II. METODELOGI PENELITIAN

Untuk memulai penelitian ini diperlukan materi, teori dan data sebagai pondasi acuan serta pendukung pelaksanaan penelitian ini berada dalam jalur koridor yang sesuai, maka dari itu perlu adanya studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk mendasari penyelesaian masalah di dalam tugas akhir ini. Materi yang dipelajari adalah pengaruh pemandu arah aliran dan fluida air terhadap performansi turbin *savonius*. Kemudian observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui permasalahan dan potensi energi aliran sungai irigasi.

### A. Data Profile Sungai

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi lapangan dan pengukuran potensi energi aliran sungai irigasi. Pengukuran kecepatan aliran sungai irigasi berdasarkan standar pengukuran “SNI 03-2414-1991 metode pengukuran debit sungai dan saluran terbuka dengan alat ukur arus dan pelampung”. Dari hasil observasi lapangan dan pengukuran kecepatan aliran sungai irigasi dari setiap profil sungai irigasi diperoleh data profil sungai irigasi yang digunakan untuk pengujian dan penentuan desain turbin adalah sebagai berikut :

Tabel 1.  
Profil Sungai Irigasi

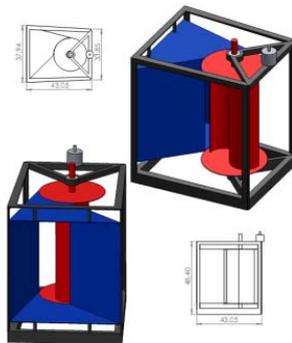
No	Sungai Irigasi	TMA (m)	Lebar Basah (m)	Kecepatan (m/detik)
1.	Profil A	0,45	1,2	0,30
2.	Profil B	1	3	0,57
3.	Profil C	0,5	2	0,85
4.	Profil D	0,8	1,5	1,08

Tabel 2.  
Nilai Optimal untuk parameter-parameter Geometri Utama [2]

Num of Stages	Num of Blades	End Plates Radius	Height of The Rotor	Overlap (e)	Spacing (a)
$2 \rightarrow \infty$	$\geq 2$	1,1 R	4 R	$0,15 d - 0,3 d$	0



Gambar. 1. Lokasi pengujian turbin.



Gambar. 2. Drawing turbin air savonius dengan pemandu arah aliran.

**B. Penentuan Spesifikasi Turbin**

Turbin yang diuji spesifikasinya berdasarkan dari data profil sungai irigasi dengan desain mengacu pada Tabel 2 nilai optimal untuk parameter-parameter geometri utama. Setelah diketahui dimensi rotor Savonius yang disesuaikan dengan profil kecepatan aliran sungai irigasi, kemudian rotor Savonius tersebut dilakukan pendekatan parameter-parameter geometri utama pada desain dimensinya berdasarkan Tabel 2. Berikut merupakan desain drawing hasil dari penentuan spesifikasi dan penekatan nilai optimal untuk parameter-parameter geometri utama.

**C. Pembuatan Turbin**

Pembuatan turbin dilakukan untuk merealisasikan *drawing* yang telah dibuat. Komponen bahan yang digunakan untuk rotor turbin yaitu PVC. Berikut adalah gambar-gambar proses pembuatan rotor turbin, rangka dan pemandu arah aliran.



Gambar. 3. Penggabungan rotor turbin, rangka dan pemandu arah aliran.

Tabel 3.  
Spesifikasi Turbin Air Savonius

$V_{air}$ (m/s)	Overlap (m)	End Plates (m)	m (Kg)	D (m)	H (m)	A (m <sup>2</sup> )	R (m)
0,30	0,02	0,20	1	0,18	0,36	0,8	0,09
0,57	0,02	0,20	1	0,18	0,36	0,8	0,09
0,85	0,02	0,20	1	0,18	0,36	0,8	0,09
1,08	0,02	0,20	1	0,18	0,36	0,8	0,09



Gambar. 4. Pengukuran RPM turbin menggunakan tachometer digital.

**D. Pengujian dan Pengambilan Data**

Pengujian turbin dilakukan untuk mengetahui performansi turbin yang dipengaruhi oleh variabel kecepatan air dan pemandu arah aliran. Berikut ini adalah tabel parameter-parameter data yang telah diketahui sebagai acuan untuk pengukuran dan pengujian turbin air Savonius :

Data yang diperoleh dari hasil pengujian turbin selanjutnya diolah dan dianalisa. Adapun data-data yang akan diolah dan dianalisa yaitu sebagai berikut :

- a. RPM (n)  
RPM (*Rotation Per Minute*), yaitu jumlah putaran yang terjadi dalam satu menit. Pengukuran RPM menggunakan alat ukur Tachometer (lihat Gambar 4).
- b. TSR ( $\lambda$ )

*Tip Speed Ratio* (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan aliran air. *Tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin tipe lift akan memiliki tip speed ratio yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe drag. Tipe speed ratio dihitung dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{\omega D}{2 v} \tag{1}$$

dimana :

- D = Diameter Rotor
- v = Kecepatan aliran air (m/detik)
- $\omega$  = Kecepatan sudut (rad/detik)
- n = Putaran rotor (rpm)



Gambar. 5. Pengukuran torsi turbin menggunakan torsimeter static.



Gambar. 6. Pengukuran tegangan dan arus dari Generator DC.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60 \text{ detik}} \quad (2)$$

c. Torsi ( $\tau$ )

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh poros turbin atau kemampuan turbin untuk melakukan kerja. Torsi biasanya diberi simbol  $\tau$ . Pengukuran torsi menggunakan torsimeter statik. Satuan untuk satuan torsi adalah Pounds-feet atau Kilogram force-meter (Kgf m), dalam satuan British adalah ft.lb sedangkan SI yaitu N.m (lihat Gambar 5)

d. Koefisien Torsi ( $C_t$ )

$$C_t = \frac{4\tau}{\rho v^3 D^2 H} \quad (3.3)$$

dimana :

- $\tau$  = Torsi
- $\rho$  = Densitas air ( $\text{Kg/m}^3$ )
- $v$  = Kecepatan aliran air (m/detik)
- $D$  = Diameter Rotor
- $H$  = Tinggi Rotor

e. Koefisien Daya ( $C_p$ )

Koefisien daya akan dihitung dengan menggunakan teori strip untuk rasio kecepatan rotor tertentu. Ini memberikan koefisien daya rotor untuk kecepatan aliran air yang berbeda pada kecepatan rotor tetap atau untuk kecepatan rotor yang berbeda pada satu kecepatan aliran air.

$$C_p = \lambda C_t \quad (3.4)$$

dimana :

- $C_p$  = Koefisien Daya
- $\lambda$  = Tip Speed Ratio
- $C_t$  = Koefisien Torsi

f. Efisiensi mekanis turbin adalah :

$$\eta = C_p \times 100 (\%) \quad (3.5)$$

g. Daya keluaran Generator :

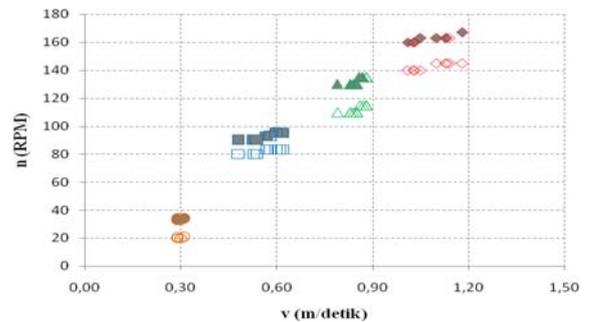
$$P_{Gen} = V \times I \quad (3.6)$$

diamana :

$V$  = Tegangan (volt) dan  $I$  = Arus (ampere)

Tabel 4.

Tanpa Pemandu Arah Aliran ( $\square\Delta$ )		Menggunakan Pemandu Arah Aliran ( $\bullet\blacktriangle$ )		%
$v_{air}$ (m/detik)	n (rpm)	$v_{air}$ (m/detik)	n (rpm)	
0,30	20	0,60	33	65
0,57	82	1,14	92	12,19
0,85	112	1,70	132	17,86
1,08	142	2,16	162	14,08



Gambar. 7. Grafik Hubungan antara n (rpm) terhadap variasi kecepatan aliran air.

III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara pengaruh-pengaruh yang terjadi pada tiap variasi kecepatan aliran air sungai irigasi dan pengaruh penggunaan pemandu arah aliran pada rotor turbin Savonius. Berikut dibawah ini adalah tabel data rata-rata kecepatan aliran air terhadap putaran rotor turbin (rpm) (lihat Tabel 4).

Pada Tabel 4, dapat diketahui bahwa dari empat variasi rpm turbin yang diperoleh terjadi peningkatan yang berbanding lurus dengan kecepatan aliran air, hal tersebut dikarenakan gaya yang diberikan oleh aliran air kepada turbin berbeda-beda berdasarkan kecepatan alirannya, semakin cepat aliran air maka semakin tinggi rpm yang dihasilkan oleh turbin. Kemudian dengan adanya pengaruh pemandu arah aliran air pada rotor turbin, diperoleh peningkatan rpm pada turbin, hal tersebut disebabkan oleh pengaruh pemandu arah aliran yang menyebabkan terjadinya penyempitan seperti *nozzle*, dimana terdapat perbedaan luas penampang pada pemandu arah aliran dengan sudut serang fluida air yang diarahkan menuju sudu turbin cekung/positif sehingga terjadi perubahan kecepatan yakni kecepatan awal meningkat setelah melewati pemandu arah aliran serta beban putar sudu (cembung/negatif) kembalinya menjadi ringan.

Pada Gambar 7 dapat dilihat grafik peningkatan rpm turbin pada tiap variasi kecepatan aliran, dengan kecepatan aliran air terkecil yaitu 0,30 (m/detik) rotor turbin dapat berputar rata-rata yaitu 20 rpm. Hal tersebut disebabkan oleh fluida air sungai irigasi memiliki densitas/massa jenis 985,4  $\text{Kg/m}^3$  sehingga dapat memberikan gaya yang lebih besar dari pada fluida udara/angin. Dengan adanya pengaruh pemandu arah aliran dapat meningkatkan putaran rotor dari 20 rpm menjadi 33 rpm. Hal tersebut dikarenakan oleh aliran air yang dipandu menuju sudu rotor turbin bagian cekung pada saat berputar dan pada rotor sudu bagian cembung terhalangi oleh pemandu arah aliran, sehingga perbandingan gaya seret/drag yang terjadi pada rotor bagian cekung lebih besar dari pada rotor bagian cembung, mengakibatkan rotor berputar kembali menjadi ringan. Putaran rotor turbin (RPM) persentase peningkatan rata-rata sebesar 27,28%.

Tabel 5.

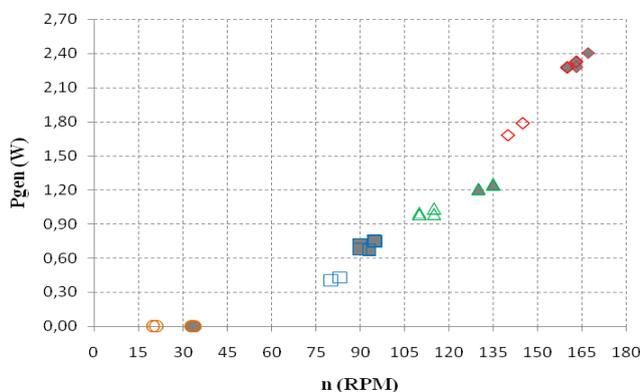
Data Kecepatan Putaran Turbin (n) terhadap Daya Keluaran Generator ( $P_{gen}$ )

Tanpa Pemandu Arah Aliran (□○△)		Menggunakan Pemandu Arah Aliran (●■▲)		%
n (rpm)	$P_{gen}$ (W)	n (rpm)	$P_{gen}$ (W)	
20	0,00	33	0,00	0
82	0,42	92	0,71	69,05
112	1,00	132	1,22	22
142	1,73	162	2,31	33,53

Tabel 6.

Koefisien Daya ( $C_p$ ) terhadap *Tip Speed Ratio* ( $\lambda$ )

No.	Tanpa Pemandu Arah Aliran (□○△)		Menggunakan Pemandu Arah Aliran (●■▲)	
	$\lambda$ (TSR)	$C_p$	$\lambda$ (TSR)	$C_p$
1.	0,64	0,04	1,06	0,12
2.	1,36	0,10	1,53	0,13
3.	1,25	0,06	1,47	0,08
4.	1,24	0,05	1,41	0,06



Gambar. 8. Grafik Hubungan antara n (rpm) dengan daya keluaran generator ( $P_{gen}$ ).

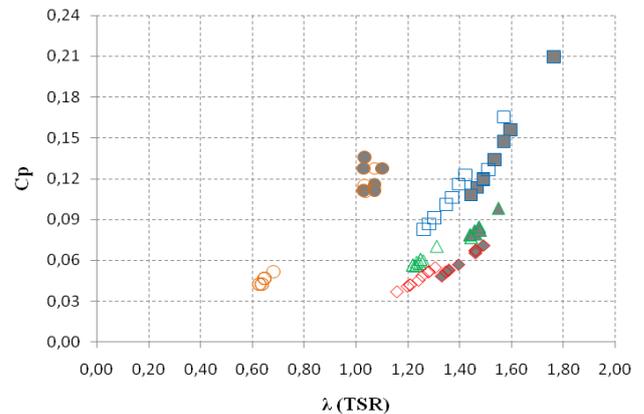
Pada Tabel 5 dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan daya keluaran dari generator yang berbanding lurus dengan kecepatan aliran air, hal tersebut dikarenakan gaya yang diberikan oleh aliran air kepada turbin berdasarkan kecepatan alirannya, semakin cepat aliran air maka semakin besar nilai rpm pada turbin. Kemudian dengan adanya pengaruh pemandu arah aliran air pada rotor turbin, diperoleh peningkatan daya keluaran dari generator, hal tersebut disebabkan oleh pengaruh pemandu arah aliran yang menyebabkan terjadinya efek penyempitan seperti *nozzle*, dimana terdapat perbedaan luas penampang pada pemandu arah aliran dengan sudut serang fluida air sehingga terjadi perubahan kecepatan putaran turbin. Diperoleh daya keluaran maksimum generator sebesar 1,73 Watt, terjadi peningkatan daya sebesar 2,31 Watt akibat dari pengaruh pemandu arah aliran.

Pada Gambar 8 dapat dilihat grafik peningkatan rpm turbin pada tiap variasi kecepatan aliran, dengan kecepatan aliran air terkecil yaitu 0,30 (m/detik) rotor turbin tidak dapat memutar generator, hal tersebut disebabkan oleh beban yang diberikan oleh generator dengan spesifikasi daya maksimum 60 W terlalu besar, sehingga dengan putaran rotor turbin 20 rpm - 33 rpm dengan adanya pengaruh dari pemandu arah aliran, rotor turbin tidak mampu memutar generator. Selain dari pada itu dengan adanya pemandu arah aliran daya keluaran dari generator persentase peningkatan rata-rata sebesar 41,53%

Tabel 7.

Data Efisiensi Mekanis Turbin Air Tipe Savonius

No.	Tanpa Pemandu Arah Aliran			Menggunakan Pemandu Arah Aliran		
	$P_a$ (W)	$P_s$ (W)	$\eta$ (%)	$P_a$ (W)	$P_s$ (W)	$\eta$ (%)
1.	0,04	0,04	90,50	0,11	0,10	90,91
2.	0,66	0,60	90,91	0,85	0,77	90,59
3.	1,24	1,11	89,52	1,72	1,55	90,12
4.	2,02	1,80	89,60	2,59	2,33	89,96

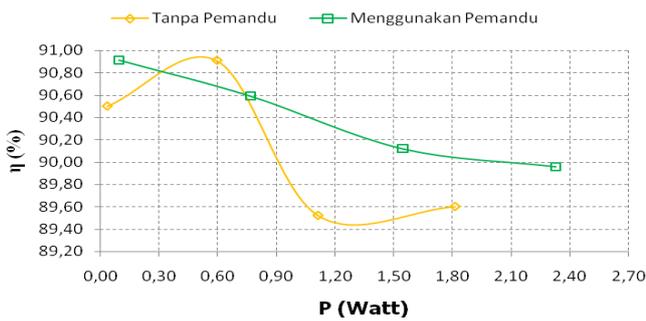


Gambar. 9. Grafik hubungan antara  $C_p$  dengan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ).

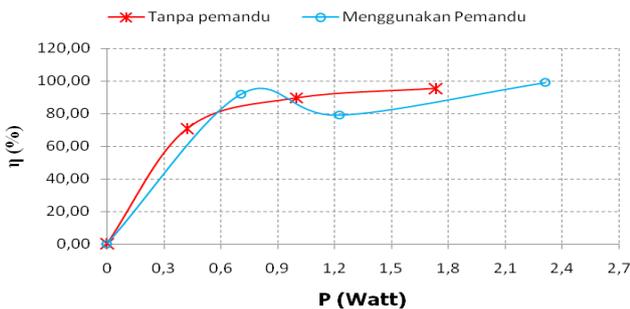
Pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa pengaruh dari penggunaan pemandu arah aliran air sangat besar, dimana kecepatan aliran air yang dapat diekstrak menjadi kecepatan putaran rotor meningkat, sehingga rasio perbandingannya ( $\lambda$ ) meningkat juga. *Tip Speed Ratio* maksimum yaitu 1,36 dengan pengaruh pemandu arah aliran menjadi 1,53. Kemudian koefisien daya ( $C_p$ ) maksimum yaitu 0,10 dengan pengaruh pemandu arah aliran menjadi 0,13.

Pada Gambar 9 dapat dilihat grafik hubungan antara *Tip Speed Ratio* ( $\lambda$ ) dengan variasi kecepatan aliran air ( $v_{air}$ ). *Tip Speed Ratio* ( $\lambda$ ) maksimum tanpa pengaruh pemandu arah aliran (□○△) yaitu 1,36 dengan pengaruh pemandu arah aliran (●■▲) menjadi 1,53. Kecepatan aliran air ( $v_{air}$ ) yang dapat diekstrak oleh rotor menjadi kecepatan putaran rotor tidak dapat melebihi kecepatan alirannya, dikarenakan prinsip aerodinamis rotor turbin Savonius yang memanfaatkan gaya seret (*drag*) saat mengekstrak energi air dari aliran air yang melalui sudu turbin, sehingga semakin cepat kecepatan aliran air,  $C_p$  turbin Savonius cenderung menurun, begitu juga dengan TSR. Efisiensi mekanis merupakan rasio perbandingan antara daya *shaft*/rotor turbin terhadap daya ideal turbin yang diberikan oleh energi aliran air. Pada Tabel 7 diperoleh daya poros maksimum 2,33 Watt dari daya ideal turbin yang diberikan 2,59 Watt, sehingga efisiensi mekanisnya yaitu 89,96%. Nilai efisiensi tersebut artinya turbin air poros vertikal tipe Savonius dapat memaksimalkan kinerja dari daya ideal turbin yang diberikan 100% adalah 89,96%, sehingga dapat diketahui bahwa terdapat loss daya sebesar 10,04%.

Gambar 10 adalah grafik efisiensi mekanis turbin tipe Savonius tanpa pemandu arah aliran terjadi fluktuasi daya, dimana daya ideal turbin yang diberikan menjadi daya poros langsung turun, sedangkan pemandu arah aliran tidak terjadi fluktuasi daya, dimana daya ideal turbin yang diberikan menjadi daya poros mendekati linier.



Gambar. 10. Grafik hubungan antara  $\eta$  efisiensi mekanis turbin dengan P (Watt) daya yang dihasilkan.



Gambar. 11. Grafik hubungan antara  $\eta$  efisiensi listrik generator dengan P (Watt) daya yang dihasilkan.

Tabel 8.  
Data Efisiensi Listrik Generator DC

No.	Tanpa Pemandu Arah Aliran			Menggunakan Pemandu Arah Aliran		
	$P_s$ (W)	$P_{gen}$ (W)	$\eta$ (%)	$P_s$ (W)	$P_{gen}$ (W)	$\eta$ (%)
1.	0,04	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
2.	0,60	0,42	70,87	0,77	0,71	92,14
3.	1,11	1,00	89,71	1,55	1,22	79,24
4.	1,80	1,73	95,59	2,33	2,31	99,23

Efisiensi listrik generator merupakan rasio perbandingan antara daya keluaran generator yang dikopel terhadap daya *shaft*/rotor turbin. Pada Tabel 8 diperoleh daya keluaran generator maksimum 2,31 Watt dari daya poros/*shaft* turbin yang diberikan 2,33 Watt, sehingga efisiensi listriknya yaitu 99,23%. Nilai efisiensi tersebut artinya turbin air poros vertikal tipe Savonius dapat memaksimalkan kinerja dari daya poros/*shaft* turbin yang diberikan 100% generator adalah 99,23%, sehingga dapat diketahui bahwa terjadi loss daya sebesar 0,73%.

Pada gambar 11 dapat diketahui bahwa grafik efisiensi listrik generator DC yang dikopel dengan turbin air sungai tipe Savonius hampir mendekati linier, dimana daya yang diberikan oleh poros/*shaft* yang dikopel menjadi daya keluaran generator dapat dimaksimalkan sebesar 99,23%. Hal tersebut disebabkan oleh beban/*load* dari generator tidak begitu berpengaruh terhadap putaran poros/*shaft* turbin (RPM), sehingga daya putaran poros/*shaft* turbin ( $P_s$ ) berbanding lurus dengan daya keluaran generator ( $P_{gen}$ ).

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Turbin air poros vertikal tipe Savonius dapat berputar 20 rpm pada kecepatan aliran 0,30 (m/detik) dengan penggunaan pemandu arah aliran terjadi peningkatan menjadi 33 rpm, sehingga dapat disimpulkan bahwa turbin air sungai poros vertikal tipe savonius dapat memanfaatkan potensi energi aliran air pada kecepatan aliran yang rendah.
2. Pengaruh dari variasi kecepatan aliran air terhadap performa turbin air sungai poros vertikal tipe Savonius yaitu semakin besar kecepatan aliran air maka semakin besar pula kecepatan putaran turbin (rpm), sehingga daya putaran poros/*shaft* turbin ( $P_s$ ) berbanding lurus dengan daya keluaran generator ( $P_{gen}$ ).
3. Penggunaan pemandu arah aliran pada turbin air tipe Savonius berpengaruh terhadap peningkatan kecepatan aliran air ( $v_{air}$ ), sehingga menimbulkan peningkatan kecepatan putaran rotor turbin (rpm) rata-rata sebesar 27,28% serta peningkatan daya keluaran dari generator rata-rata sebesar 31,04%. Diperoleh efisiensi mekanis turbin rata-rata 90,40% dan efisiensi listrik generator rata-rata 90,20%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lutfi Nurafif. 2012. "Rancang Bangun Power Control System pada Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai Tipe Darrieus Menggunakan Generator DC". Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [2] Ali Ridho. 2012. "Studi Numerik dan Eksperimental Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai dengan Variasi Sudut Pitch dan Jumlah Blade". Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [3] Mulkan, Ibnu. 2012. "Analisa Performansi Turbin Arus Sungai Vertikal Aksis Terhadap Penambahan Variasi Panjang Dan Rasio Luasan Pada Diffuser". Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [4] Kailash Golecha, T.I. Eldho, S.V. Prabhu. 2010. "Influence of The Deflector Plate on The Performance of Modified Savonius Water Turbine". Indian Institute of Technology, Bombay, India
- [5] Burçin Deda Altan, Mehmet Atılğan, Aydog ˆan ˆOzdamar. 2007. "An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining". Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Pamukkale University, Kinikli 20070 Denizli, Turkey. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, Bornova, 35100 Izmir, Turkey.
- [6] Saha UK, Thotla S, Maity D. "Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments". J Wind Eng Ind Aerod 2008;96:1359–75.
- [7] Ushiyama I, Nagai H. "Optimum design configurations and performance of Savonius rotors". Wind Eng 1988;12:59–75.
- [8] Jean-Luc Menet, Nachida Bourabaa. "Increase In The Savonius Rotors Efficiency via A Parametric Investigation". Ecole Natianole Superieure D'ingenieurs En Informatique Automatique Mecanique Energetique ˆElectronique. De Valenciennes (Ensiame) - Universitˆe de Valenciennes - Le Mont Houy. F-59313 Valenciennes Cedex 9 FRANCE.