

## PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN DAN LEBAR SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN DARRIEUS DENGAN PROFIL SUDU NACA 0021

Muhammad Abdul Kadir  
Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta  
Email: abdulkadir@sttnas.ac.id

### Abstrak

Potensi tenaga air (hydro power) head rendah di Indonesia sangat besar, namun masih belum dimanfaatkan secara optimal. Kendala utama dalam pemanfaatannya adalah bahwa turbin-turbin head rendah memiliki faktor daya dan efisiensi yang rendah. Salah satu turbin yang mampu bekerja pada head rendah adalah turbin Darrieus. Keunggulan turbin Darrieus adalah memiliki konstruksi sederhana dengan sudu-sudu yang kuat. Salah satu parameter yang sangat berpengaruh terhadap kinerja turbin ini adalah bentuk profil, lebar dan sudut kemiringan sudu-sudu sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kondisi optimal parameter tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lebar dan sudut kemiringan sudu terhadap kinerja turbin Darrieus dengan profil sudu NACA 002. Penelitian dilakukan pada suatu model turbin Darrieus dengan diameter 20 cm dan tinggi 25 cm, jumlah sudu 3 buah, variasi lebar sudu 5 cm dan 6 cm, dan variasi sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ . Dari hasil penelitian ini diperoleh daya maksimum 0,54083 W, efisiensi maksimum 40,94 % dan faktor daya maksimum 0,2579 % yang semuanya dicapai untuk lebar sudu 5 cm dan sudut serang  $5^\circ$ .

**Kata kunci:** turbin Darrieus, NACA0021, sudut serang, daya, performa,

### Abstract

*There are many low head hydro power energy resources potential in Indonesia that have not been optimally in use. The main obstacles is that this kind of turbines have low power factor and low efficiencies. One of the low head hydro power turbines is Darrieus turbine. The advantages of Darrieus turbine are its simply and has high strength blades. The verry important parameters that inflence to the turbine performance are width, angle of attack and cross section profile of the blades. The objective of the research is to investigate the influences of blade width and blades angle of attack to the Darrieus turbine performance that using NACA0021 cross section blades. The research has been conducted in a three blades 20 cm diameter 25 cm length Darrieus turbine model. The blades width variations are 5 cm and 6 cm, and angle of attack variations are  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , and  $10^\circ$ . It is concluded from the research that the turbine maximum power output is 0.54083 Watt, maximum efficiency is 40.94 %, and maximum power factor is 0.2579%. These values are reached at 5 cm blades width and  $5^\circ$  angle of attack.*

**Keywords :** Darrieus turbine, NACA 0021, angle of attack, power, performance.

### 1. Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi tenaga air (*hydropower*) yang sangat besar. Untuk di seluruh Indonesia, potensi energi skala besar dan kecil tidak kurang dari 75.670 MW, dan baru dimanfaatkan sebesar 4200 MW atau 5,6 persen [8]. Sedangkan khusus untuk pulau Jawa, potensi seluruh *hydropower* mencapai 20,26 MW dan khusus untuk *microhydropower* 2,04 MW [5].

Kebutuhan listrik di Indonesia pada tahun 2035 diperkirakan antara 903 – 1.229 TWh [2]. Pada tahun itu diperkirakan kemampuan penyediaan listriknya akan mencapai antara 215 – 270 GW, yang sumber energinya masih tetap didominasi oleh batubara. Salah satu potensi yang signifikan tetapi belum banyak dibahas adalah hidropower dengan head yang sangat rendah, yaitu yang kurang dari 2 m. Hidropower kecil dengan daya antara 100 W s.d 1000 kW dan head sangat rendah dari 0,8 m s.d 2,0 m masih merupakan problem yang belum terpecahkan [9].

Turbin Darrieus adalah salah satu turbin yang mampu beroperasi pada head sangat rendah, atau yang lazim disebut *zero head*. Turbin jenis ini masih tergolong baru dikembangkan di Indonesia, namun turbin

ini memiliki beberapa keunggulan di antara jenis turbin *head* rendah yang lain, antara lain konstruksinya yang sederhana dan kuat. Turbin jenis ini semula digunakan untuk pembangkit tenaga angin, namun dalam perkembangannya kemudian digunakan juga sebagai turbin air dengan sudu-sudu berpenampang hidrofoil.

Kinerja sebuah turbin Darriues dipengaruhi oleh parameter-parameter yang terkait dalam konstruksi turbin itu sendiri, antara lain jumlah sudu, lebar sudu, bentuk profil penampang sudu, sudut serang sudu, diameter dan panjang turbin, dan sebagainya. Di antara parameter-parameter tersebut, yang sangat penting adalah bentuk profil penampang sudu, lebar sudu dan sudut serang. Berdasarkan uraian tersebut diatas, penulis tertarik melakukan penelitian tentang turbin Darriues yang bertujuan mengetahui pengaruh lebar dan sudut serang sudu terhadap kinerja mekanik turbin Darriues dengan menggunakan profil penampang sudu NACA 0021.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat diketahui nilai optimal parameter-parameter tersebut, yaitu lebar dan sudut serang sudu yang mampu menghasilkan efisiensi dan daya maksimum, sehingga dapat diaplikasikan dalam desain secara praktis. Selain itu juga sebagai dimaksudkan untuk melengkapi hasil-hasil penelitian sebelumnya telah dilakukan.

Penggunaan profil hidrofoil sebagai sudu turbin Darriues sudah banyak dilakukan, karena konstruksinya yang sederhana dan relatif kuat. Banyak peneliti yang telah melakukan penelitian kinerja turbin ini yang menggunakan profil sudu hidrofoil, guna mencari jenis dan ukuran profil yang paling baik.

Turbin Darriues sumbu horisontal, dengan diameter 500 mm, panjang 875 mm, jumlah sudu 6 dengan profil sudu NACA 0020, menunjukkan bahwa koefisien torsi ( $C_T$ ) maksimum 0,064 pada  $\lambda = 1,61$ , dan efisiensi maksimum 13,01 pada  $\lambda = 2,2$  [5]. Sedangkan prediksi dengan metode iteratif terhadap turbin Darriues diperoleh harga  $C_p$  maksimum 0,19 untuk NACA 0021 pada harga  $\lambda = 1,6$  [7].

Untuk meningkatkan efisiensi turbin *head* rendah, salah satu caranya adalah dengan menggunakan kombinasi dua turbin. Sistem gabungan turbin Darriues dan turbin Savonius, ternyata mampu meningkatkan koefisien daya hingga 18% dan koefisien torsi 16% [6].

Sudargana dan Yuniarso [10] melakukan simulasi turbin Darriues 3 sudu dengan menggunakan profil hidrofoil NACA 0015, diameter sudu 0,6 m, tinggi sudu 0,8 m, dan panjang *chord* 0,18 m dengan variasi sudut serang  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$  dengan variasi kecepatan 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, dan 4 m/s. Nilai  $C_L$  (*lift coefficient*) dan  $C_D$  (*drag coefficient*) diperoleh dari hasil simulasi. Hasil simulasi akan menunjukkan bahwa nilai efisiensi pada kecepatan aliran 2 m/s sebesar 17,14%, kecepatan aliran 2,5 m/s sebesar 19,776%, kecepatan aliran air 3 m/s sebesar 21,02%, kecepatan aliran air 3,5 m/s sebesar 22,44% dan kecepatan aliran 4 m/s sebesar 25,833%. Jadi nilai efisiensi tertinggi didapat pada kecepatan 4 m/s yaitu sebesar 25,833%.

Febrianto dan Santoso [3] melakukan studi eksperimental turbin Darriues menggunakan profil hidrofoil NACA 0018, variasi jumlah foil 3, 6, dan 9 buah, variasi kecepatan 0,674 m/s, 0,806 m/s, 0,944 m/s. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa torsi maksimum diperoleh pada jumlah sudu 3 buah dan kecepatan 0,944 m/s pada sudut  $30^\circ$ , yaitu sebesar 5,36 Nm, sedangkan rata-rata RPM maksimum diperoleh pada kecepatan 0,944 m/s sebesar 21,1 rpm. Sedangkan untuk 6 sudu diperoleh rata-rata torsi maksimum pada kecepatan 0,944 m/s dengan sudut  $30^\circ$  yaitu sebesar 5,4 Nm, sedangkan rata-rata putaran maksimum pada kecepatan 0,944 m/s sebesar 12,5 rpm. Untuk 9 sudu menghasilkan torsi maksimum pada kecepatan 0,944 m/s dengan sudut  $30^\circ$  sebesar 5,45 Nm, untuk putaran maksimum pada kecepatan 0,944 m/s sebesar 10,9 Rpm. Efisiensi terbaik diperoleh pada kondisi 3 sudu, yaitu sebesar 91,6 % pada kecepatan arus 0,994 m/s. Sedangkan untuk 6 sudu hanya mencapai 54,7 % dan yang paling rendah 9 foil dengan efisiensi 48,15 %.

Untuk menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada suatu sistem aliran fluida pada turbin ini secara matematis digunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Navier-Stokes, yaitu:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \rho \vec{v} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla (\vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \vec{\tau} \dots \dots \dots (2)$$

dengan  $\rho$ : densitas air,  $t$ : waktu,  $v$ : vektor kecepatan,  $p$ : tekanan, dan  $\tau$ : tensor tegangan.

Secara praktis, dalam sistem aliran tertutup bila kerugian aliran diabaikan, maka dapat digunakan persamaan Bernoulli sebagai berikut.

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + p_2 \dots \dots \dots (3)$$

dengan  $\rho$ : densitas fluida ( $\text{kg/m}^3$ ),  $v$ : kecepatan alir (m/s),  $h$ : ketinggian (m), dan  $p$ : tekanan (Pa).

Faktor daya atau koefisien daya adalah perbandingan antara daya output turbin dengan potensi daya yang tersedia pada aliran air tersebut, diungkapkan sebagai:

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_w} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

dengan  $P_w$  adalah potensi daya yang tersedia pada aliran air, yang dapat dicari dengan persamaan:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (5)$$

dengan  $A$  adalah luas penampang turbin ( $m^2$ ) dan  $v$  kecepatan alir air (m/s).

Sedangkan efisiensi turbin adalah perbandingan antara daya output atau daya yang dihasilkan turbin dengan daya input turbin, yaitu:

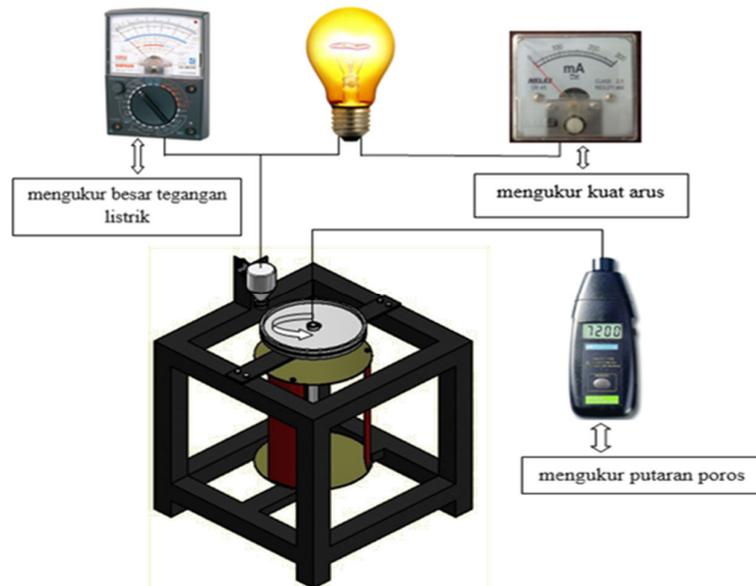
$$\eta_t = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Dalam penelitian ini, sudu-sudu turbin yang digunakan adalah profil hidrofoil NACA0021. NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) adalah suatu badan federal AS didirikan pada tanggal 3 Maret 1915, yang berfungsi untuk mempromosikan, dan melembagakan penelitian aeronautika. NACA merupakan standar yang digunakan dalam perancangan suatu airfoil. Perancangan airfoil bersifat khusus dan biasanya dibuat sesuai dengan kebutuhan yang akan dibuat. Akan tetapi NACA menggunakan bentuk airfoil yang disusun secara sistematis dan rasional. NACA mengidentifikasi bentuk airfoil dengan menggunakan system angka kunci seperti seri “satu”, seri “enam”, seri”empat angka”, dan seri “lima angka”. Dalam penelitian ini akan digunakan NACA seri “empat angka”, dimana:

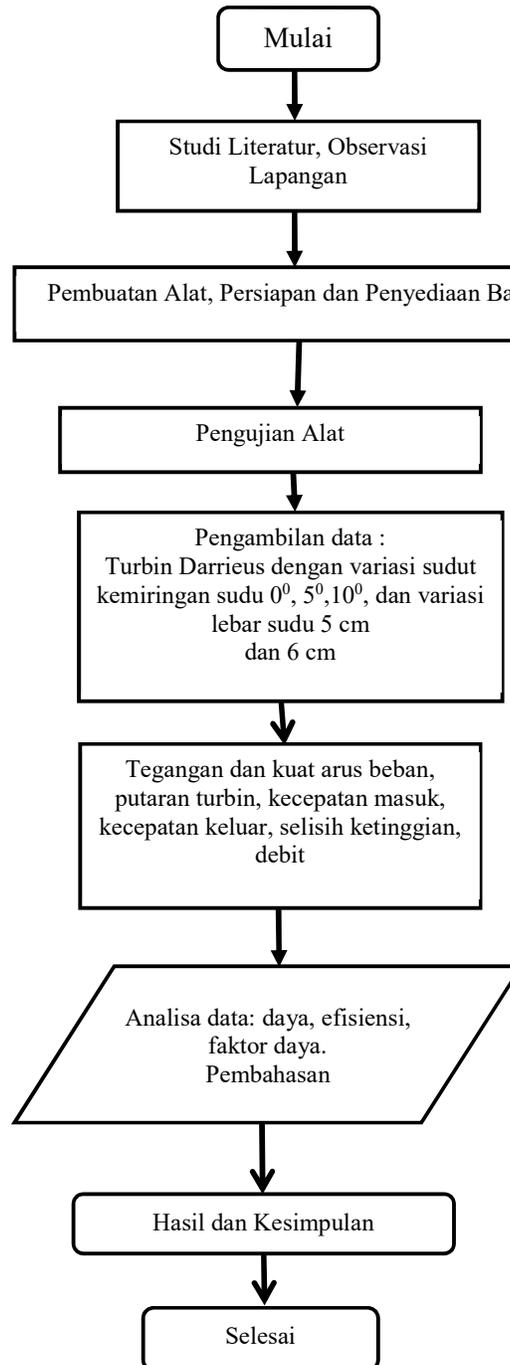
- Angka pertama adalah maksimum *camber* dalam persatuan *chord*.
- Angka kedua adalah posisi maksimum *camber* pada *chordline* dalam sepesepuluh *chord* dari *leading edge*.

**2. Metode Penelitian**

Penelitian dilakukan pada suatu model turbin Darrieus sumbu tegak, dengan panjang (L) 25 cm dan diameter (d) 20 cm, profil sudu NACA 0021, jumlah sudu 3 buah, lebar sudu 5 cm dan 6 cm. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Aero dan Hidrodinamika STTNAS. Adapun rangkaian alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dan prosedur penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Rangkaian alat Penelitian



Gambar 2. Prosedur penelitian

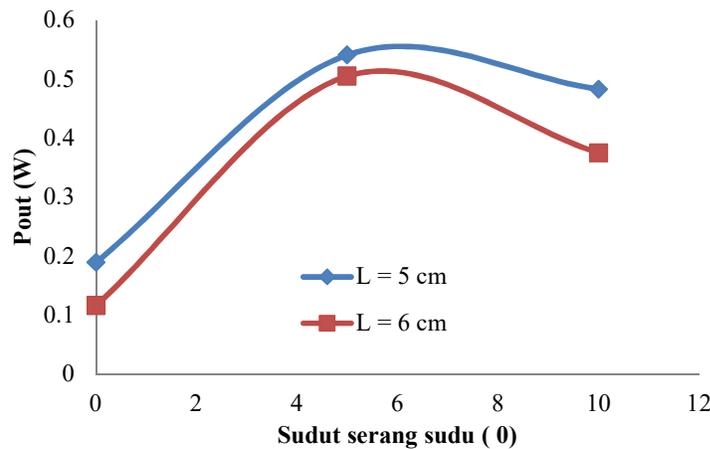
### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil-hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

Tabel 1. Nilai head dinamis aliran air

No	$h_0$ (cm)	$h_0$ (cm)
	L = 6 cm	L = 5 cm
1.	11,5	11,5
2.	12	11,5
3.	12,5	12
4.	12,5	11,5
5.	11	11,5
6.	11,5	11,5
<b>Rata-Rata</b>	<b>12</b>	<b>11,583</b>

Turbin Darrieus dirancang untuk digunakan pada keadaan aliran *zero head*, atau head sangat rendah, baik *head* statis maupun *head* dinamis. Pada penelitian ini, berdasarkan hasil pengukuran, head statis ketika turbin belum terpasang adalah 0,1158 meter, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.1. Nilai tersebut hampir bersesuaian dengan head statis yang terukur ketika turbin telah dipasang. Akibat dari head yang sangat rendah ini adalah bahwa energi atau daya yang dapat ditransfer ke turbin menjadi sangat rendah. Hal ini karena energi kinetik air keluar dari turbin masih relatif besar.

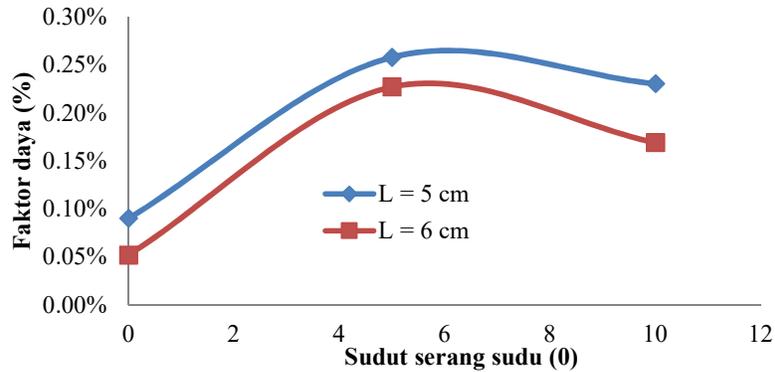


Gambar 3. Hubungan antara daya output dengan sudut serang sudu

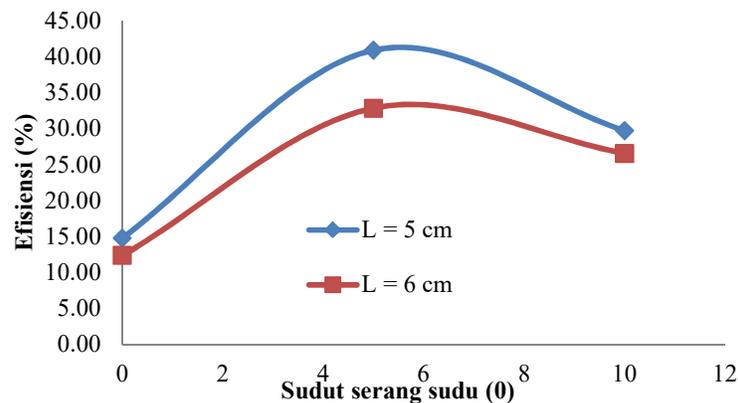
Gambar 3 menunjukkan hubungan antara daya output dengan sudut serang dan lebar sudu. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa daya maksimum, sebesar 0,54083 W, diperoleh pada lebar sudu 5 cm dan sudut serang  $5^\circ$ . Ini menunjukkan bahwa pembesaran lebar sudu justru akan menghasilkan daya yang lebih kecil. Dengan sudu yang lebar dimungkinkan akan memperbesar hambatan aliran air di dalam turbin, yang berakibat daya yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Sudut serang sudu akan berpengaruh terhadap gaya-gaya *lift* dan *drag* pada sudu-sudu turbin. Komponen tangensial dari resultan gaya-gaya *lift* dan *drag* akan menghasilkan torsi, dan daya pada turbin. Perubahan gaya-gaya tersebut akan berakibat perubahan torsi dan daya yang dihasilkan oleh turbin. Dari penelitian ini terlihat bahwa daya maksimum diperoleh pada sudut serang  $5^\circ$ , baik untuk lebar sudu 5 cm maupun 6 cm. Daya output turbin erat kaitannya dengan efisiensi dan faktor daya. Seperti terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5, faktor daya maksimum, sebesar 0,2303%, dan efisiensi maksimum sebesar 40,94%, dicapai untuk lebar sudu 5 cm dan sudut serang  $5^\circ$ .

Dalam penelitian ini, daya output yang terukur adalah daya listrik generator, sehingga tidak memperhitungkan kerugian-kerugian daya pada generator, alat-alat ukur dan kabel-kabel penghubung.

Kerugian daya pada alat-alat ukur listrik dan kabel-kabel penghubung kemungkinan memiliki prosentase yang cukup besar, karena tegangan yang dihasilkan oleh generator sangat rendah, hanya sekitar 1 sampai 3 volt. Hal ini berakibat daya yang terukur, dan demikian juga efisiensi dan faktor daya menjadi sangat rendah.



Gambar 4. Hubungan antara faktor daya dengan sudut serang dan lebar dan lebar sudu



Gambar 5. Hubungan antara efisiensi dengan sudut serang dan lebar sudu

Tabel 2. Hubungan antara sudut serang dan lebar sudu dengan kecepatan masuk dan kecepatan keluar turbin

Sudut kemiringan sudu (°)	Kecepatan masuk (m/s)		Kecepatan keluar (m/s)	
	L = 5 cm	L = 6 cm	L=5 cm	L = 6 cm
0	0,9047	0,9136	1,7259	1,7306
5	0,9225	0,9222	1,7791	1,7335
10	0,9136	0,9190	1,7588	1,7318

Dari Tabel 2 terlihat bahwa kecepatan alir air keluar turbin relatif lebih besar dari pada kecepatan alir air masuk turbin. Ini menunjukkan bahwa energi kinetik air keluar turbin lebih besar dari pada energi kinetik air masuk turbin, sehingga energi yang ditransfer ke turbin hanya berasal dari energi potensialnya. Selain itu, energi air yang ditransfer ke turbin masih belum optimal, sehingga daya, efisiensi dan faktor

daya turbin yang diperoleh sangat kecil. Untuk meningkatkan daya dan faktor daya turbin dapat dilakukan dengan menurunkan putaran turbin, sehingga kecepatan air keluar turbin juga akan turun. Dengan kecepatan air keluar turbin yang lebih tinggi dari pada kecepatan alir masuk turbin juga menunjukkan bahwa turbin Darrieus ini adalah termasuk jenis turbin reaksi.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada model turbin Darrieus dengan diameter 20 cm, panjang sudu 25 cm, profil penampang sudu NACA 0021, variasi lebar sudu 5 cm dan 6 cm, dan variasi sudut serang  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ , dan  $10^{\circ}$ , dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

- a. Daya output maksimum 0,54083 W, efisiensi maksimum 40,94%, dan faktor daya maksimum 0,2303%, yang semuanya dicapai pada lebar sudu 5 cm dan sudut serang  $5^{\circ}$ .
- b. Turbin Darrieus tersebut merupakan turbin reaksi, karena kecepatan alir air keluar turbin lebih tinggi dari pada kecepatan alir masuk turbin.

#### Daftar Pustaka

- [1] Dewan Energi Nasional. Outlook Energi Indonesia 2014. Fathor Rahman, editor. Program. Jakarta: Dewan Energi Nasional; 2014. 1-186 p.
- [2] BPPT. Outlook Energi Indonesia 2014. Sugiyono A, editor. Jakarta: BPPT; 2014. 1-129 p.
- [3] Febrianto, A., & Santoso, A. (2017). Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- [4] Furukawa A, Watanabe S, Matsushita D, Okuma K. *Development of ducted Darrieus turbine for low head hydropower utilization*. *Curr Appl Phys* [Internet]. 2010;10(2 SUPPL.):S128–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cap.2009.11.005>
- [5] Jaini dkk., (2015), *Darrieus Water Turbine Performance Configuration of Blade*, *Journal of Mechanical Science and Engineering* Vol.2 No.1 Erino Fiardi, 2014, *Preliminary Deign of Archemidian Screw Turbine Prototype for Remote Area Power Supply*, *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace Science and Engineering-*, Vol.5 March 20, 2014
- [6] Kaprawi S.dkk., (2015), *Performance of Combined Water Turbine Darrieus-Savonius with Two Stage Savonius Buckets and Single Deflector*, *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH*, Vol.5, No.1, 2015
- [7] K. B. Gaywala, dkk. (2017) *Performance Prediction of a Straight-Bladed Darrieus Water Turbine using Multiple Stream Tube Model*, *SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG-IJME)* – volume 4 Issue 6 June 2017, ISSN: 2348 – 8360 [www.internationaljournalssrg.org](http://www.internationaljournalssrg.org) Page 41
- [8] Kementerian Riset dan Teknologi, 2006, *Buku Putih Indonesia 2005-2025, Penelitian Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Jakarta
- [9] Sutikno, P., S. Phommachanh and O. Shinnosuke. *Ducted Helical Type Hydro Turbine with Narrow Intake For Extremely Low Head Hydro Power Utilization*. The 2<sup>nd</sup> AUN/SEED-Net Regional Conference on New & Renewable Energy, Faculty of Engineering, Burapha University, Thailand. 2010.
- [10] Sudargana, S., & Yuniarso, R. G. K. (2012). Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0015 Dari Karakteristik  $C_l$  Dan  $C_d$  Pada Variasi Sudut Serang Menggunakan Regresi Linier Pada Matlab. *ROTASI*, 14(1), 21-28.