

ANALISIS PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU DAN SUDUT SERANG TERHADAP KINERJA TURBIN AIR DARRIEUS

Rendi Yulianto¹, Karnowo²

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Email: rendy.yulianto03@gmail.com

Abstrak. Perkembangan teknologi arus air di Indonesia belum begitu di minati. Ini dapat dilihat dengan sumber energi yang ada masih di dominasi oleh pembangkit tenaga angin yang memanfaatkan energi potensial. Jika dilihat dari sudut pandang iklim dan letak geografisnya, Indonesia punya potensi besar untuk memanfaatkan teknologi arus air ini. Kinerja dari turbin darrieus dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah jumlah sudu dan sudut serang. Penelitian yang dilakukan adalah dengan memvariasikan jumlah sudu yaitu 3 sudu dan 4 sudu, dan variasi sudut serang 0° dan 10° serta kecepatan air 0,81 m/s, 0,96 m/s, 0,99 m/s, dan 1,07 m/s untuk melihat pengaruh yang diberikan oleh masing-masing variasi terhadap kinerja pada turbin air Darrieus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin darrieus paling optimal dengan nilai koefisien daya (C_p) tertinggi yaitu turbin dengan tiga sudu dan sudut serang 0° pada kecepatan aliran 1,07 m/s. Hal itu dikarenakan perubahan jumlah sudu dan sudut serang mengakibatkan gaya *lift* dan *drag* yang bekerja pada sudu berubah. Dengan jumlah sudu dan sudut serang yang tepat dapat memberikan lebih banyak gaya positif yang membantu turbin berputar. Semakin banyak gaya yang membantu turbin berputar maka daya yang dihasilkan juga semakin besar.

Kata Kunci: Turbin Air Darrieus, Jumlah Sudu, Sudut Serang, daya, Koefisien Daya

Abstract. The development of water current technology is not too popular in Indonesia. This can be seen by the source of energy currently dominated by wind power which is using potential energy. If we look from point of view of climate dan geographic location, Indonesia have big potential to utilize water current technology. Performance of darrieus turbine are influenced by some factor, among them are number of blade and angle of attack. The variation used in this research are number of blades which is 3 blade and 4 blade and variations of angle of attack which is 0° and 10° . Also, water velocity at 0.81 m/s, 0.96 m/s, 0.99 m/s, and 1.07 m/s to see the impact given by each variation to performance of darrieus water turbine. The results show that the most optimum darrieus turbine with the highest power coefficient (C_p) is turbine with three blades and angle of attack 0° at current velocity 1.07 m/s. The changes of number of blades and angle of attack cause lift and drag force who work on blades also changes. With the right number of blades and angle of attack could give even more positive force which helps turbine to rotate. The more force that help turbine rotate the greater power being generated.

Keywords: Darrieus Water Turbine, Number of blade, Angle of Attack, Power, Coefficient Power

PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu konsumsi energi listrik yang dibutuhkan di Indonesia semakin besar. Sebagian besar energi listrik yang dihasilkan masih berasal dari bahan bakar fosil yang cenderung mempunyai sifat tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu diperlukan sumber energi listrik yang bersih dan tidak mencemari lingkungan. Perlu dicari sumber energi yang bukan hanya ramah lingkungan dan terbarukan tetapi juga biaya pembuatan dan perawatan yang ekonomis. Salah satu cara pengguaab sumber energy terbarukan adalah dengan memanfaatkan energi aliran air sebagai pembangkit listrik ⁽¹⁰⁾.

Terdapat dua jenis teknologi turbin air yaitu Axial Flow dan Cross Flow Turbin. Untuk Cross Flow posisi poros turbin dibagi dua yaitu Horizontal Axis Water Turbin (VAWT). Salah satu turbin jenis Cross Flow Turbin adalah turbin air Darrieus ⁽⁴⁾.

Turbin Darrieus memiliki prinsip kerja yaitu kecepatan aliran air menumbuk atau mengenai sudu, mengakibatkan sudu berputar dengan kecepatan tertentu sehingga menghasilkan resultan, sehingga gaya hidrodinamis dapat dihasilkan dari resultan dari kecepatan tersebut ⁽¹¹⁾.

Untuk mencari nilai debit aliran air maka sebelumnya dibutuhkan perhitungan nilai kecepatan aliran air. Pengukuran tersebut menggunakan metode pelampung. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran air adalah sebagai berikut:

$$v = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Daya generator dapat diketahui setelah melakukan pengukuran tegangan yang dihasilkan. ⁽²⁾. Seperti pada rumus :

$$P_{generator} = V.I \quad (2)$$

Selisih energi kinetik sebelum dan setelah melewati turbin menghasilkan energi mekanik yang dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini. ⁽⁵⁾:

$$Ek = \frac{1}{2} m. v^2 \quad (3)$$

Daya air yang mengalir pada suatu penampang saluran dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini

$$Pa = \frac{1}{2} p. Q. v^2 - \quad (4)$$

Dapat pula dihitung menggunakan persamaan kontinuitas yaitu :

$$Pa = \frac{1}{2} p. Q. v^3 - \quad (5)$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien daya (Cp) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut⁽²⁾:

$$Cp = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \quad (6)$$

Nilai perbandingan antara kecepatan tangensial di ujung rotor terhadap kecepatan fluida yang mengalir turbin dinamakan *Tip speed ratio* (TSR) ⁽¹⁾.

$$\lambda = \frac{U}{v} = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad (7)$$

Perhitungan untuk gaya angkat dan gaya hambat dapat dilihat pada persamaan (Tae et al, 2015: 75)¹³:

$$D = \int d F_x = \int p \cos\theta dA = \int \tau_w \sin\theta dA \quad (8)$$

dan

$$L = \int d F_y = - \int p \sin\theta dA = \int \tau_w \cos\theta dA \quad (9)$$

Data hasil eksperimen yang tersaji dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang berupa koefisien gaya angkat (*lift coefficient*), koefisien gaya hambat (*drag coefficient*) dan dijabarkan sebagai: ⁽¹¹⁾ :

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad (10)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad \dots$$

Dimana : C_D = koefisien gaya hambat, C_L = koefisien gaya angkat, ρ = densitas fluida (kg/m^3), A = luasan acuan (m^2), c + panjang chord (m), v = kecepatan fluida relative terhadap obyek (m/s).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu dan sudut serang terhadap kinerja turbin air tipe darrieus, untuk mengetahui pengaruh perubahan kecepatan air terhadap kinerja turbin yang air tipe darrieus dan untuk mengetahui variasi manakah yang paling optimal dan turbin air tipe darrieus.

METODE

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah melakukan perancangan turbin melalui *software* Solidworks 2014. Bentuk turbin air darrieus merupakan profil dari *blade* Darrieus. Profil *blade* menggunakan *Hydrofoil* NACA 4415. Variasi sudut serang yang digunakan yaitu 0° , dan 10° . Model turbin arus air memiliki ukuran diameter 24 cm dan tinggi turbin 20 cm. Nilai-nilai tersebut konstan untuk semua variasi jumlah sudu. Spesifikasi rancangan turbin air darrieus dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi rancangan turbin air darrieus

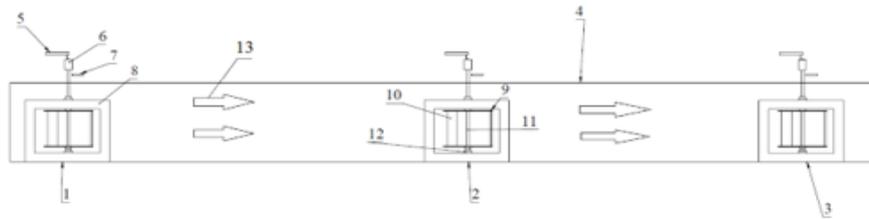
Parameter	Sudut	Sudut
	Serang 0°	Serang 10°
<i>Hydrofoil</i>	NACA 4415	NACA 4415
Panjang <i>Chord</i>	5 cm	5 cm
Diameter <i>Blade</i>	24 cm	24 cm
Tinggi <i>Blade</i>	20 cm	20 cm

Selanjutnya diperlukan bahan–bahan di bawah ini untuk membuat prototipe turbin air darrieus:

- Fiber* sebagai bahan untuk pembuatan sudu turbin
- Aluminium, sebagai bahan pembuatan poros dan *spoke*
- Besi, sebagai bahan pembuatan rangka turbin

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Tachometer sebagai alat untuk mengukur putaran
- DC generator sebagai alat untuk mengukur beda potensial dan kuat arus
- Multimeter sebagai alat untuk mengukur beda potensial dan arus listrik.



Gambar 1 Skema Penelitian

Keterangan:

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Posisi Pengambilan Data 1 | 8. Rangka Turbin |
| 2. Posisi Pengambilan Data 2 | 9. Spoke Arm |
| 3. Posisi Pengambilan Data 3 | 10. Sudu |
| 4. Aliran Sungai (10 m) | 11. Poros Turbin |
| 5. Multimeter | 12. Bearing |
| 6. DC Generator | 13. Arah Aliran Air |
| 7. Tachometer | |

Gambar 1. Skema Penelitian

Tata cara penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan peralatan dan instrumen penelitian.
- Menyiapkan beberapa variasi sudu dan sudut serang yang akan digunakan pada pengujian.
- Menyusun rangkaian alat penelitian seperti sudu turbin dirangkai pada rangka turbin, dan generator dipasangkan pada poros turbin.
- Mengukur kecepatan aliran air menggunakan balon yang diisi air. Jarak sungai yang digunakan yaitu 10 meter. Setiap 2 meter, waktu tempuh balon dicatat lalu hasilnya diambil rata-rata.
- Pengamatan mulai dilakukan sesuai dengan variasi yang akan diteliti.
- Mengukur putaran turbin menggunakan tachometer yang diarahkan pada poros turbin.
- Mengukur tegangan dan kuat arus pada turbin setelah diberi beban
- Melakukan pencatatan data kecepatan air, putaran, tegangan, dan kuat arus.
- Melakukan penghitungan daya, koefisien daya, dan TSR

HASIL DAN PEMAHASAN

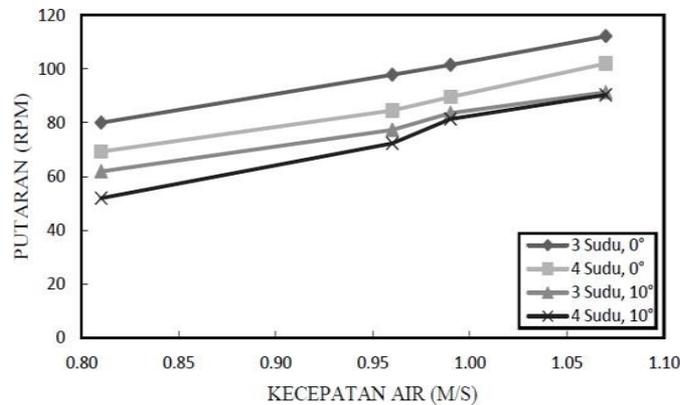
Pengujian turbin dilakukan untuk mengetahui performansi turbin yang dipengaruhi oleh variabel kecepatan air dan jumlah sudu serta sudut serang. Berikut ini adalah tabel parameter - parameter data yang telah diketahui sebagai acuan untuk pengukuran dan pengujian turbin air Darrieus:

a. RPM

Tabel 2. Hasil pengukuran Putaran Variasi Jumlah Sudu dan Sudut Serang

Kecepatan	Putaran, n (Rpm)			
	3 Sudu		4 Sudu	
	Sudut Serang 0°	Sudut Serang 10°	Sudut Serang 0°	Sudut Serang 10°
0,81 m/s	79,98	61,84	69,23	51,88
0,96 m/s	97,79	77,34	84,51	72,27
0,99 m/s	101,49	83,53	89,56	81,34
1,07 m/s	112,14	91,31	101,99	90,34

Dari Tabel 2. di atas akan disajikan grafik hubungan variasi jumlah sudu dan variasi sudut serang terhadap putaran turbin dalam Gambar 2. berikut



Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Sudut Serang Terhadap Putaran Turbin

Gambar 2. di atas menunjukkan bahwa putaran yang dihasilkan turbin berbeda satu dengan yang lainnya berdasarkan variasi jumlah sudu dan sudut serang.

Grafik di atas menunjukkan putaran tertinggi dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 3 dan variasi sudut serang 0° pada kecepatan 1,07 m/s dengan nilai putaran 112,14 rpm, sedangkan putaran terendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 4 dan variasi sudut serang 10° pada kecepatan 0,81 m/s dengan nilai putaran 51,88 rpm.

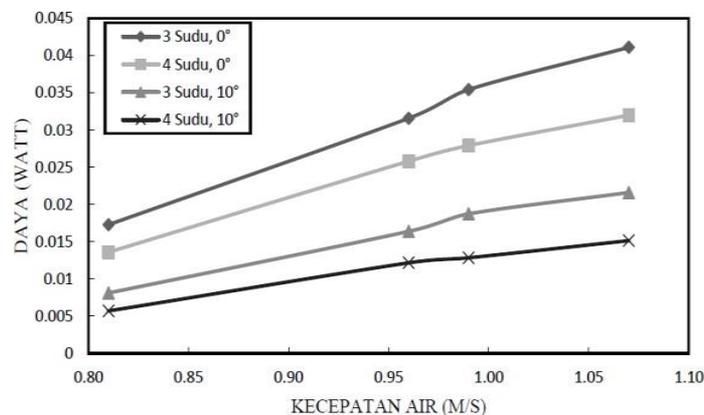
Kecepatan air berpengaruh terhadap putaran yang dihasilkan turbin, Hal tersebut seperti yang dijelaskan perubahan kecepatan aliran air berbanding lurus dengan peningkatan rpm turbin. Fenomena tersebut dapat terjadi dikarenakan oleh bervariasinya gaya yang diberikan oleh aliran air kepada turbin. Sehingga dapat disimpulkan semakin cepat aliran air maka semakin tinggi rpm yang dihasilkan turbin⁽⁸⁾.

b. Daya Turbin

Tabel 3. Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Sudut Serang Terhadap Daya Turbin

Kecepatan	Daya (Watt)			
	3 Sudu		4 Sudu	
	Sudut Serang 0°	Sudut Serang 10°	Sudut Serang 0°	Sudut Serang 10°
0,81 m/s	0,017	0,008	0,014	0,006
0,96 m/s	0,032	0,016	0,026	0,012
0,99 m/s	0,035	0,019	0,028	0,013
1,07 m/s	0,041	0,022	0,032	0,015

Dari Tabel 3. diatas akan disajikan grafik hubungan variasi jumlah sudu dan variasi sudut serang terhadap daya turbin dalam Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Sudut Serang Terhadap Daya Turbin

Grafik di atas menunjukkan putaran tertinggi dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 3 dan variasi sudut serang 0° pada kecepatan 1,07 m/s dengan nilai putaran 0,41 watt, sedangkan putaran terendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 4 dan variasi sudut serang 10° pada kecepatan 0,81 m/s dengan nilai putaran 0,006 watt.

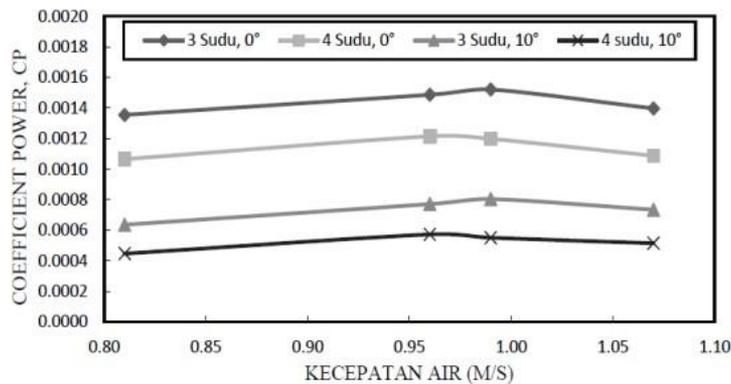
Daya turbin sangat tergantung pada besarnya torsi dan kecepatan angular. Semakin besar debit air maka daya turbin kinetik semakin meningkat dikarenakan adanya penambahan kecepatan aliran dan massa aliran yang menumbuk sudu turbin sehingga gaya tangensial yang dihasilkan meningkat dan gaya tangensial tersebut mempengaruhi torsi turbin, dan daya turbin kinetik ⁽⁵⁾.

c. Koefisien Daya Turbin

Tabel 4. Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Sudut Serang Terhadap *Coefficient Power* Turbin

Kecepatan	<i>Coefficient Power</i> (Cp)			
	3 Sudu		4 Sudu	
	Sudut Serang 0°	Sudut Serang 10°	Sudut Serang 0°	Sudut Serang 10°
0,81 m/s	0,00135	0,00064	0,00107	0,00064
0,96 m/s	0,00149	0,00077	0,00121	0,00077
0,99 m/s	0,00152	0,00080	0,00120	0,00080
1,07 m/s	0,00140	0,00073	0,00109	0,00073

Dari Tabel 4. diatas akan disajikan grafik hubungan variasi jumlah sudu dan variasi sudut serang terhadap daya turbin dalam Gambar 4. berikut:



Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Sudut Serang Terhadap *Coefficient Power* Turbin

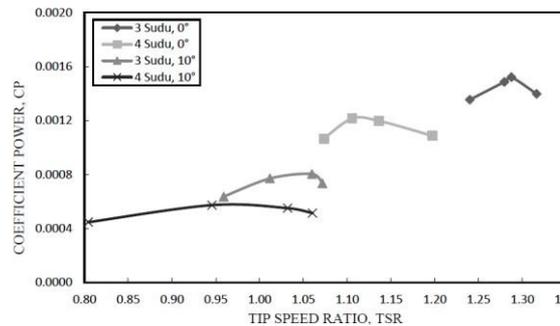
Dari data pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa variasi jumlah sudu 3 buah dan sudut serang 0° dengan kecepatan air 0,99 m/s memiliki nilai koefisien daya yang paling besar pada semua variasi kecepatan dan pada variasi jumlah sudu dan sudut serang masing-masing.

Koefisien daya merupakan kemampuan turbin dalam mengkonversi energi air. Berbeda dengan hasil daya dan putaran yang selalu meningkat pada setiap penambahan kecepatan air, pada koefisien daya turbin penambahan kecepatan akan membentuk garis yang parabolik hal tersebut dikarenakan daya yang dihasilkan oleh generator tidak bisa mengimbangi peningkatan daya secara teoritis.

Ada beberapa unsur yang mempengaruhi efisiensi dari turbin diantaranya adalah kesederhanaan struktur dan kecepatan putar yang tinggi yang dihasilkan oleh kecepatan aliran fluida yang relatif rendah. Perbedaan angka koefisien daya itu tidak semata-mata

dipengaruhi oleh profil sudu, tetapi juga dipengaruhi oleh sudut puntir sudu⁽¹⁵⁾.

d. TSR-CP

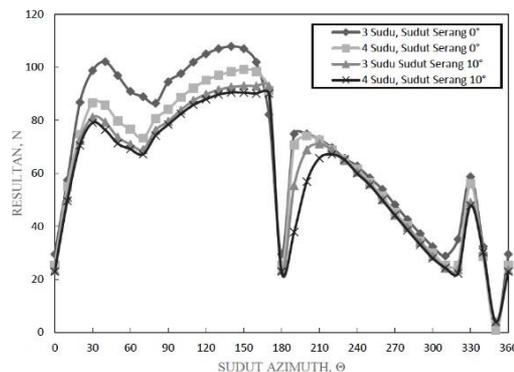


Gambar 5. Grafik Hubungan Cp-Tsr Grafik

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa turbin yang paling optimal adalah turbin air dengan variasi jumlah sudu 3 buah dan sudut serang 0° dengan kecepatan air 0,99 m/s yang bekerja pada TSR 1,287 dan memiliki nilai Cp 0,00152.

Gambar 5 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya *tip speed ratio*, *power coefficient* meningkat secara parabolik. Hal ini terjadi karena kenaikan TSR tidak diimbangi dengan kenaikan kinerja turbin air itu sendiri. Dikarenakan prinsip aerodinamis rotor turbin yang memanfaatkan gaya seret (*drag*) saat mengekstrak energi air dari aliran air yang melalui sudu turbin, sehingga semakin cepat kecepatan aliran air, Cp turbin cenderung menurun, begitu juga dengan TSR⁽⁸⁾.

e. Resultan Gaya



Gambar 6. Grafik Hubungan Variasi Jumlah Sudu dan Variasi Sudut Serang Terhadap Resultan Gaya pada Turbin.

Pada sudut *azimuth* 90° hingga 270° resultan gaya yang dihasilkan searah dengan putaran turbin. Dan pada sudut *azimuth* 270° hingga 90° resultan gaya yang dihasilkan berlawanan dengan arah putaran turbin sehingga menghambat perputaran turbin. Turbin untuk

semua variasi, yaitu sudu 3 dan sudut Serang 0° , sudu 3 dan sudut serang 10° , sudu 4 dan sudut serang 0° , dan sudu 4 dan sudut Serang 10° , memiliki persamaan dalam hal arah resultan, oleh karena itu untuk mengetahui variasi mana yang mengekstrak daya air lebih maksimal dapat dilihat pada grafik pada gambar 6.

Gambar 6 di atas menunjukkan nilai gaya resultan yang terjadi pada setiap sudut *azimuth*. Grafik di atas juga menunjukkan nilai gaya resultan pada setiap variasi jumlah sudu dan sudut serang. Semakin sedikit jumlah sudu dan semakin kecil sudut serang pada turbin, maka semakin besar nilai gaya resultannya. Turbin dengan jumlah sudu tiga dan sudut serang 0° memiliki nilai gaya resultan tertinggi dan turbin dengan jumlah sudu empat dan sudut serang 10° memiliki nilai gaya resultan terendah. Dengan semakin meningkatnya nilai gaya resultan pada turbin menyebabkan kinerja turbin juga semakin meningkat sehingga daya air yang dapat diekstrak menjadi daya turbin lebih maksimal dan menghasilkan *power coefficient* yang lebih baik.

SIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa dengan perubahan jumlah sudu dan sudut serang, gaya *lift* dan *drag* yang bekerja seiring perputaran turbin juga berubah. Gaya *lift* dan *drag* akan membentuk resultan yang dapat membantu putaran maupun menghambat putaran. Kecepatan air mempengaruhi kinerja turbin air heliks gorlov, hal ini dikarenakan kecepatan air berbanding lurus dengan putaran, daya, dan TSR. Semakin tinggi kecepatan air maka semakin tinggi juga putaran, daya, dan TSR. Sedangkan nilai C_p berbanding terbalik dengan kecepatan air, hal ini disebabkan karena peningkatan daya air tidak sebanding dengan daya mekanik yang dihasilkan turbin. Faktor turbulensi aliran dan profil sudu darrieus dapat mempengaruhi gaya *lift* dan *drag* yang bekerja pada sudu. Hal ini memungkinkan hasil pengujian mengalami perbedaan dengan hasil simulasi perhitungan. Turbin variasi jumlah sudu 3 dan sudut serang 0° memiliki hasil daya yang terbesar diantara semua variasi dikarenakan kemampuan mengekstrak daya air menjadi daya turbin lebih maksimal sehingga menghasilkan *power coefficient* yang lebih baik. Nilai C_p maksimal sebesar sebesar 0,00152 pada TSR 1,288. Sedangkan turbin variasi jumlah sudu 4 dan sudut serang 10° karena dengan semakin banyak jumlah sudu dan semakin tinggi sudut serang menyebabkan turbin menjadi berat dan sulit berputar yang membuat koefisien daya cenderung menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Febrianto, A. dan A., Santoso. 2016. Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin. *JURNAL TEKNIK ITS*. 5(2): 517 – 521.
- Farid, A. 2014. Optimalisasi Data turbin Angin Savonius Dengan Variasi Celah Dan Perubahan Jumlah Sudu . *Prosiding SNST* 5: 20.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 2015. *Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung*. SNI 8066. Jakarta: BSN.

- Kurniawan, I. 2014. Kajian Eksperimental dan Numerikal Turbin Air Helikal Gorlov Untuk Twist Angle 60 dan 120. *Jurnal Teknobiologi* V(1): 7.
- Muliawan, A. dan A., Yani. 2016. Analisis Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner. *Journal of Sainstek* 8(1): 1-9.
- Niblick, A. L. 2012. Experimental and Analytical Study of Helical Cross-Flow Turbines for a Tidal Micropower Generation System. *Thesis*. Master Science in Mechanical Engineering University of Washington. Washington.
- Pietersz, R., R., Soenoko, S., Wahyudi. 2013. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Optimalisasi Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal. *Jurnal Rekayasa Mesin* 4(3): 221.
- Purnama, A. C., R., Hantoro, G., Nugroho. 2013. Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros Vertikal Tipe Savonius dengan Menggunakan Pemandu Arah Aliran. *JURNAL TEKNIK POMITS* 2(2): 278 – 282.
- Saleh, Z. 2014. Analisis Profil Blade Pada Turbin Gorlov. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)* 2: 31-36.
- Sitepu, A.W., J.B., Jorfri, S., Agus. 2014. Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Jurnal FEMA* 2(2): 72 – 78.
- Sudargana. R., dan G. K. Yuniarso. Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0015 Dari Karakteristik CL dan CD Pada Variasi Sudut Serang Menggunakan Regresi Linear Pada MATLAB. *Rotasi* 14(1): 21-28
- Susanto, A., N., Akhlis., dan Subroto. 2015. *Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Serang Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal*.
<http://eprints.ums.ac.id/40483/1/NASKAH%20PUBLIKASI.pdf> f. 27 September 2017 (16:48).
- Tangkudung, H. 2011. Pengukuran Kecepatan Aliran Dengan Menggunakan Pelampung Dan Current Meter. *TEKNO-SIPIL* 9(55): 28.
- Yawara, E., Y.A., Jayatun, D. Sugati. 2016. Pengaruh Profil Sudu Terhadap Koefisien Daya Turbin Gorlov. *KURVATEK* 1(2): 7-11.
- Tae, V., J.U., Jasron, Nurhayati, V.A., Koehuan. 2015. Perencanaan Turbin Wells Sistem Osilasi Kolom Air pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Kapasitas 10 Kw. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana* 2(2): 73 - 80