

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN TURBIN AIR SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK 750 WATT PADA SUNGAI HIDROKINETIK

Januard Brian<sup>1)</sup>, Sutrisno<sup>2)</sup>

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra<sup>1,2)</sup>

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia<sup>1,2)</sup>

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658<sup>1,2)</sup>

E-mail: m24413020@john.petra.ac.id<sup>1)</sup>, tengsutrisno@petra.ac.id<sup>2)</sup>

## ABSTRAK

*Sungai hidrokinetik merupakan sungai dengan head yang rendah atau mendekati nol, sehingga memiliki energi kinetik yang lebih besar dibandingkan dengan energi potensialnya. Air memiliki massa jenis 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan massa jenis yang dimiliki oleh udara, sehingga turbin udara VAWT dapat diterapkan pada sungai hidrokinetik. Pada penelitian ini sungai-sungai hidrokinetik yang ditinjau memiliki beberapa kendala, sehingga digunakan prototipe untuk melakukan eksperimen. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin straight darrieus 4 bilah. Airfoil yang digunakan adalah NACA 2418, dengan chord length 15 mm. Turbin yang digunakan memiliki dimensi radius 20.5 mm dan tinggi 51 mm. Setelah mendesain turbin dilakukan simulasi CFD. Simulasi bertujuan untuk membuktikan bahwa sistem prototipe dapat beroperasi. Setelah mendapatkan hasil simulasi, dilakukan eksperimen melalui prototipe. Hasil yang didapat pada eksperimen dibandingkan dengan hasil perhitungan. Hasil pada penelitian ini didapatkan bahwa dengan kecepatan aliran fluida yang didapatkan dari prototipe sebesar 2.8563 m/s, dan dengan generator DC 12 volt dan diberi beban lampu 5 watt, dapat menghasilkan daya sebesar 5.625 watt. Nilai  $C_p$  dari turbin yang telah dirancang adalah sebesar 0.23. Dimensi turbin yang diperlukan untuk menghasilkan daya sebesar 750 watt adalah 0.475 meter untuk diameter, 0.59 meter untuk tinggi turbin, serta 0.174 meter untuk chord length*

*Kata kunci: Turbin Air, Turbin Darrieus, Mekanika Fluida, Energi Terbarukan, Teknik Mesin.*

## 1. Pendahuluan

Dewasa ini dunia sedang mengalami krisis energi, khususnya pada energi listrik. Di Indonesia, terutama di pulau Jawa penyuplai tenaga listrik terbesar adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), di mana PLTU dan PLTG membutuhkan bahan bakar yang tidak terbarukan, yaitu batu bara, minyak, dan gas alam. Berdasarkan dari hal tersebut, maka dibutuhkan instalasi pembangkit tenaga listrik yang terbarukan.

Banyak wilayah di pulau Jawa memiliki sungai-sungai yang berarus cukup deras. Melihat dari potensi tersebut, maka arus air dari sungai-sungai dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

PLTMH dipilih sebagai salah satu alternatif karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya seperti, tidak memerlukan kapasitas sungai yang besar, sesuai untuk daerah terpencil, dan biaya operasional relatif lebih kecil. PLTMH menurut (McKinney dkk.) [1] merupakan PLTA skala mikro yang menghasilkan daya kurang dari 100 kW.

Turbin air secara umum memiliki prinsip kerja dengan mengubah energi kinetik aliran sungai menjadi energi putar poros. Energi putar poros yang dikopel dengan generator sehingga menjadi tenaga listrik. Jenis turbin air dikelompokkan menjadi turbin impuls dan turbin reaksi. Pemilihan jenis turbin menurut (Pritchard) [2] melalui perhitungan parameter *head*, debit dan juga putaran turbin yang disebut dengan putaran spesifik ( $N_s$ ). Terdapat banyak jenis turbin, namun dibutuhkan merupakan turbin yang dapat bekerja pada *head* yang rendah atau hanya memanfaatkan energi kinetik dari aliran air. Dengan *head* yang rendah maka tidak diperlukan bendungan untuk memberikan ketinggian jatuh air.

Turbin hidrokinetik merupakan turbin yang memanfaatkan energi kinetik dari aliran sungai, yang memiliki prinsip kerja seperti halnya turbin angin (Fleisinger) [3]. Menurut (Edmiran) [4] pengaplikasian turbin hidrokinetik tidak memerlukan adanya konstruksi bendungan ataupun *waterway*, sehingga biaya konstruksi dapat diminimalkan. Turbin hidrokinetik dibedakan menjadi 2 jenis menurut sumbu putar porosnya, yaitu *horizontal axis wind*

turbine (HAWT) dan *vertical axis wind turbine* (VAWT).

Memanfaatkan turbin udara untuk diterapkan ke dalam sungai hidrokinetik mungkin untuk dilakukan, karena dilihat dari densitas dari air, yaitu 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan densitas dari udara. Apabila turbin udara digunakan di dalam air, maka dengan kecepatan aliran yang lebih kecil dapat memberikan daya yang lebih besar dibandingkan dengan penerapan di udara. Untuk perhitungan daya untuk mengetahui besarnya potensi air yang melalui turbin, maka digunakan dari persamaan berikut:

$$\text{Energi Kinetik} = \frac{1}{2} m \vec{V}^2$$

Maka, daya potensi air per satuan waktu adalah:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \dot{m} \vec{V}^2 \\ P &= \frac{1}{2} (\rho A \vec{V}) \vec{V}^2 \\ P &= \frac{1}{2} \rho A \vec{V}^3 \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana:

- $P$  = daya potensi air (Watt)
- $\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $A$  = *cross-section area of turbine* ( $\text{m}^2$ )
- $\vec{V}$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

Untuk daya yang dihasilkan oleh turbin, adalah:

$$P = \frac{1}{2} \rho A \vec{V}^3 C_p \quad (2)$$

Dimana:

- $C_p$  = koefisien kinerja turbin

Pada penelitian ini dibahas mengenai perancangan untuk pembuatan turbin air agar dapat menghasilkan daya sebesar 750 watt. Dengan tercapainya hal tersebut, maka turbin yang dirancang dapat digunakan untuk dimanfaatkan pada sungai-sungai hidrokinetik dan menghasilkan listrik bagi wilayah di sekitarnya.

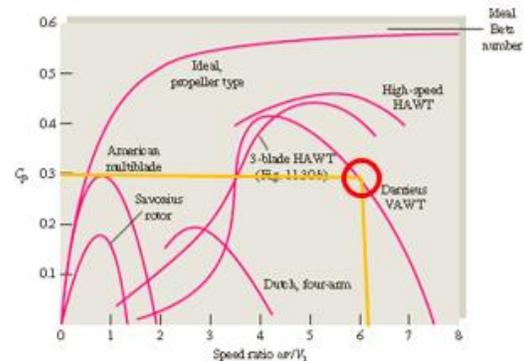
## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini sungai yang hendak digunakan adalah sungai Kalimas di Surabaya, dapat dilihat pada Gambar 1. Sungai tersebut memiliki karakteristik dengan *head* yang rendah atau mendekati 0, debit air yang cukup besar, namun diikuti dengan dimensi sungai yang besar pula. Berdasarkan data, debit air pada sungai Kalimas adalah  $5.21 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Gambar 1. Sungai Kalimas Pintu Air Gunungsari

Di dalam pemilihan jenis turbin air pada umumnya, terdapat pilihan lain dalam memanfaatkan turbin udara yang dapat diterapkan sebagai turbin air. Pada turbin udara sepenuhnya memanfaatkan energi kinetik dari kecepatan fluida (udara) yang memiliki *density* rendah sehingga dapat memberikan gaya *lift* maupun gaya *drag*. Air memiliki *density* 1000 kali lebih besar dari pada udara, sehingga pemanfaatan turbin udara untuk dimanfaatkan sebagai turbin air pada sungai hidrokinetik sangat memungkinkan. Berdasarkan pada Gambar 2., diperlukan *tip speed ratio* untuk mengetahui jenis turbin yang dapat digunakan. Ditentukan melalui gambar 2., digunakan turbin jenis VAWT tipe Darrieus.

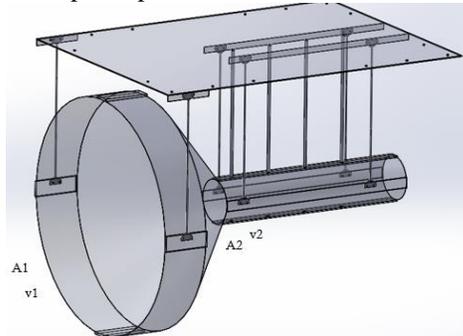


Gambar 2. Lokasi Penentuan TSR pada Grafik Pemilihan Jenis Turbin Udara

Berdasarkan kondisi sungai Kalimas, parameter yang diketahui adalah kecepatan aliran fluida sebesar  $0.0767 \text{ m/s}$ , massa jenis air sebesar  $998.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ , dan menggunakan dimensi turbin diameter  $0.3 \text{ meter}$  dan tinggi turbin sebesar  $0.38 \text{ meter}$ . Pemilihan dimensi yang digunakan merupakan sebagai pertimbangan dana serta disesuaikan dengan perencanaan untuk selubung silinder tambahan. Dengan parameter tersebut, digunakan Persamaan 1, maka didapatkan daya potensi air sebesar  $0.0257 \text{ watt}$ .

Daya yang dihasilkan sangat kecil. Hal tersebut terjadi karena kecepatan aliran fluida yang terlalu rendah, sehingga pada persamaan tersebut yang menggunakan kecepatan aliran fluida sebagai faktor dominan menjadi lemah dan tidak efektif. Hal yang perlu dilakukan agar kecepatan aliran fluida meningkat adalah dengan memberikan selubung

silinder tambahan. Dari Gambar 3. penampang selubung silinder tambahan merupakan A1. Selubung silinder tersebut berguna untuk menangkap aliran fluida dan menyalurkannya ke selubung silinder A2 di mana turbin akan diletakkan, sehingga energi kinetik pada A2 dapat terpenuhi.



Gambar 3. Desain Selubung Silinder Turbin

Dengan desain untuk silinder tambahan seperti Gambar 3., dibutuhkan perhitungan untuk menentukan dimensi yang sesuai serta kecepatan aliran fluida yang sesuai.

Menentukan kecepatan aliran fluida dilakukan dengan menggunakan persamaan 2. pada Tabel 1., dan menyesuaikan kecepatan aliran agar dapat menghasilkan daya 750 watt dengan  $C_p$  sebesar 0.3.

Tabel 1. Perhitungan Daya Turbin

Lebar Turbin (m)	Tinggi Turbin (m)	Kecepatan Fluida (m/s)	Daya Turbin (Watt)	4 Turbin (Watt)
0.3	0.38	2.19	185.6	742.38
0.3	0.38	2.20	188.15	752.6
0.3	0.38	2.21	190.73	763
0.3	0.38	2.22	193.33	773.3

Pada Tabel 1., dapat dilihat bahwa untuk menghasilkan daya sebesar 750 Watt dibutuhkan kecepatan Aliran fluida sebesar 2.2 m/s. Maka Dimensi selubung silinder tambahan yang dibutuhkan adalah sebesar:

$$A_1 \vec{V}_1 = A_2 \vec{V}_2$$

Dimana:

$A_1$  = luas penampang selubung silinder tambahan (m)

$\vec{V}_1$  = kecepatan aliran fluida kondisi 1 (m/s)

$A_2$  = luas penampang selubung silinder turbin (m)

$\vec{V}_2$  = kecepatan aliran fluida kondisi 2 (m/s)

Dari hasil perhitungan didapatkan dimensi yang dibutuhkan untuk menerapkan rangkaian instalasi turbin terlalu besar, yaitu  $5.634 \text{ m}^2$  dan sungai tidak memadai. Penerapan menjadi lebih sulit dilakukan dan dilakukan beberapa alternatif lain.

Pada Gambar 4. sungai Irigasi di Pandaan didapatkan data untuk kecepatan aliran fluida sebesar

0.54 m/s. Data kecepatan aliran sungai didapatkan melalui pengukuran dengan menggunakan *embody's float method*. Untuk dimensi sungai didapatkan lebar sungai sebesar 2 meter dan kedalaman 0.8 meter dari permukaan air. Kendala pada sungai ini terletak pada kedalaman sungai yang terlalu rendah. Penggunaan selubung tambahan yang membutuhkan diameter sebesar 1 meter, untuk kecepatan aliran sebesar 0.54 m/s.



Gambar 4. Sungai Irigasi di Pandaan dan Denah Lokasi

Pada Gambar 5. anak sungai Jagir didapatkan data kecepatan aliran sungai yang cukup tinggi pada permukaan air yaitu sebesar 0.74 m/s. Data kecepatan aliran sungai didapatkan melalui pengukuran dengan menggunakan *embody's float method*. Untuk dimensi sungai didapatkan lebar sungai sebesar 3.5 meter dan kedalaman 4 meter dari permukaan air.

Menurut kondisi dimensi sungai dan kecepatan aliran sudah layak digunakan, namun dapat dilihat pada Gambar 6. bahwa ketinggian buka pintu air sebesar 10 cm. Hal tersebut mengakibatkan aliran air sungai yang mengalir melalui bawah pintu menyebabkan aliran balik. Aliran balik tersebut dapat menyebabkan turbin berputar dengan tidak optimal dan bahkan tidak berputar.

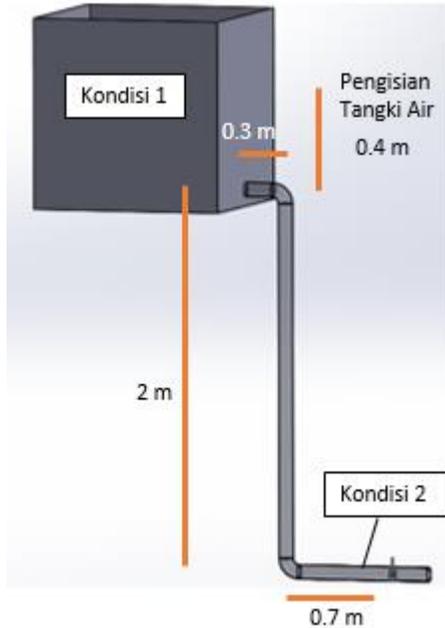


Gambar 5. Gambar 3.8 Anak Sungai Jagir



Gambar 6. Tinggi Buka Pintu Air (10 cm)

Berdasarkan kendala-kendala yang dihadapi pada peninjauan lokasi, maka dilakukan pembuatan prototipe untuk melakukan eksperimen rancangan turbin. Berikut merupakan rancangan sistem prototipe turbin:



Gambar 7. Dimensi Rangkaian

Dengan menggunakan persamaan Bernoulli, serta menentukan loss yang terjadi pada saluran sebagai berikut:

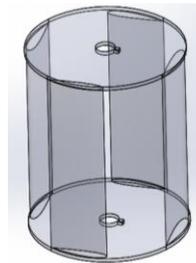
$$g(z_1 - z_2) = \frac{\vec{V}_2^2}{2} + \left( f \frac{L}{D} \frac{\vec{V}_2^2}{2} \right) + \left( f \frac{L_e}{D} \frac{\vec{V}_2^2}{2} \right)$$

Maka didapatkan kecepatan aliran fluida yang keluar melalui pipa sebesar 3.781 m/s. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan 1. dilakukan perhitungan untuk menyesuaikan dimensi turbin yaitu diameter turbin serta tinggi turbin. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penyesuaian Dimensi dan Daya Turbin

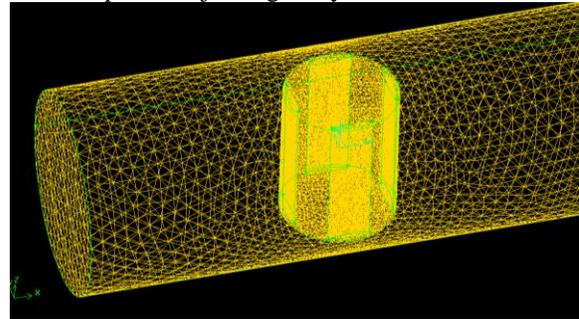
Lebar (m)	Tinggi (m)	$\vec{V}$ (m/s)	P (Watt)
0.035	0.055	6.2	51.93
0.040	0.052	6.2	56.11
0.041	0.051	6.2	56.41
0.042	0.049	6.2	55.52
0.043	0.048	6.2	55.68

Turbin yang digunakan adalah turbin VAWT straight Darrieus. Digunakan dimensi turbin seperti pada Tabel 2., dan hydrofoil jenis NACA 2418 dan *chord length* sebesar 15 mm. Bentuk 3D dari turbin dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Straight Darrieus Turbine 3D

Pada penelitian ini dilakukan simulasi CFD dimulai dari desain 3D pada GAMBIT seperti pada Gambar 9. Setelah turbin dan sistem nya berhasil didesain, selanjutnya adalah melakukan simulasi pada FLUENT. Pada FLUENT dilakukan input parameter serta melakukan iterasi hingga hasil selesai. Simulasi turbin pada CFD bertujuan untuk mengetahui apakah turbin dapat bekerja dengan layak atau tidak.



Gambar 9. Desain Turbin Pada Gambit

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 10. Dapat dilihat bentuk salah satu bilah dari rancangan turbin yang telah dibuat. Dimensi yang digunakan sesuai dengan Tabel 2., yaitu 0.041 m untuk diameter, 0.051 m untuk ketinggian, serta 0.015 untuk panjang *chord length*. Hydrofoil yang digunakan adalah NACA 2418.



Gambar 10. Blade Turbin

Pada hasil perhitungan didapatkan daya sebesar 56.41 watt. Pada hasil simulasi CFD yang konvergen pada iterasi ke-258, didapatkan hasil momen torsi seperti pada Gambar 11.

Moments - Moment Center (0 0 0) Moment Axis (0 0 1)			
Zone	Moments (n-m)		
	Pressure	Viscous	Total
blade	0.20653288	0.066354404	0.27288728
wall	-5.51835e-18	-0.00016981469	-0.00016981469
Net	0.20653288	0.06618459	0.27271747

Gambar 11. Report Review (Moment)

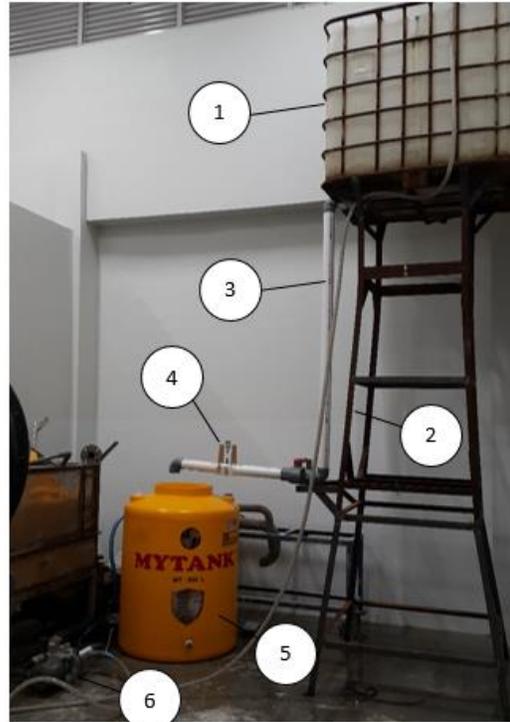
Untuk mengetahui hasil dari penelitian yang telah dilakukan, diperlukan sebuah perbandingan. Perbandingan yang dilakukan adalah dengan membandingkan hasil daya yang didapatkan dari simulasi terhadap hasil daya perhitungan. Perbandingan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Daya Hasil Simulasi dan Perhitungan

<u>Hasil Simulasi</u> (Watt)	<u>Hasil Perhitungan</u> (Watt)	<u>Nilai Error (%)</u>
42.88	56.41	23.98

Pada Gambar 12. dapat dilihat rangkaian sistem prototipe turbin yang telah dirangkai.

1. Profil tank berkapasitas 1000 liter
2. Rangka penopang tangki air dengan ketinggian 3 meter
3. Pipa PVC 2½ inch dengan ketinggian 2 meter
4. Penyambungan pipa acrylic, turbin, dan generator DC.
5. Tangki air penampung berkapasitas 550 liter dengan ketinggian 1.1 meter
6. Pompa air untuk memompa air dari tangki penampung ke tangki air utama dengan selang sebagai media penyalur air.



Gambar 12. Rancangan Sistem Prototipe

Berikut merupakan tabel-tabel untuk hasil dari percobaan dengan menggunakan generator DC 24 dan 12 Volt, serta penambahan beban lampu.

Tabel 4. Hasil Percobaan Tanpa Lampu (24 Volt)

Percobaan ke-	Tegangan (volt)	Arus (ampere)
1	6.6	0.375
2	6.6	0.37
3	6.6	0.375
Rata-rata	6.6	0.373

Berdasarkan data hasil dari eksperimen, tegangan sebesar 6.6 volt, dan arus sebesar 0.37333 ampere, maka dihasilkan daya sebesar 2.46 watt.

Tabel 4.3. Hasil Percobaan 1 Lampu (24 Volt)

Percobaan ke-	Tegangan (volt)	Arus (ampere)
1	4	0.35
2	4	0.35
3	4	0.35
Rata-rata	4	0.35

Berdasarkan data hasil dari eksperimen, tegangan sebesar 4 volt, dan arus sebesar 0.35 ampere, maka dihasilkan daya sebesar 1.4 watt. Lampu 5 watt yang dihubungkan dengan generator DC menyala redup.

Tabel 4.4. Hasil Percobaan 2 Lampu (24 Volt)

Percobaan ke-	Tegangan (volt)	Arus (ampere)
1	0	0.235
2	0	0.21
3	0	0.2
Rata-rata	0	0.215

Berdasarkan data hasil dari eksperimen, tegangan sebesar 0 volt, dan arus sebesar 0.215 ampere, maka dihasilkan daya sebesar 0 watt. Lampu 5 watt yang dihubungkan dengan generator DC tidak dapat menyala.

Tabel 4.5. Hasil Percobaan Tanpa Lampu (12 Volt)

Percobaan ke-	Tegangan (volt)	Arus (ampere)
1	12.5	0.3
2	12.5	0.3
3	12.5	0.3
Rata-rata	12.5	0.3

Berdasarkan data hasil dari eksperimen, tegangan sebesar 12.5 volt, dan arus sebesar 0.3 ampere, maka dihasilkan daya sebesar 3.75 watt

Tabel 4.6. Hasil Percobaan 1 Lampu (12 Volt)

Percobaan ke-	Tegangan (volt)	Arus (ampere)
1	11.25	0.5
2	11.25	0.5
3	11.25	0.5
Rata-rata	11.25	0.5

Berdasarkan data hasil dari eksperimen, tegangan sebesar 11.25 volt, dan arus sebesar 0.5 ampere, maka dihasilkan daya sebesar 5.625 watt. Lampu 5 watt yang dihubungkan dengan generator DC menyala dengan terang.

Pada hasil-hasil percobaan dilakukan penarikan kesimpulan. Dengan menggunakan generator DC 12 volt lebih sesuai/optimal dibandingkan dengan menggunakan generator DC 24 volt untuk percobaan ini. Penggunaan lampu DC 5 watt juga diperlukan sebagai beban/hambatan sehingga arus listrik pada rangkaian tersebut mengalir melalui beban lampu, dan dapat diukur. Berdasarkan dari hasil-hasil percobaan daya terbesar didapatkan melalui generator DC 12 volt yang diberi beban lampu 5 watt, yaitu sebesar 5.625 watt.

Pada hasil perhitungan menggunakan parameter dari hasil eksperimen, yaitu kecepatan aliran fluida sebesar 2.8563 m/s, maka dengan menggunakan persamaan 1. didapatkan daya sebesar 24.315 Watt. Sehingga untuk mengetahui  $C_p$  rancangan turbin digunakan persamaan berikut:

$$C_p = \frac{P_{eksperimen}}{\frac{1}{2} \rho A \vec{V}^3}$$

Dari perhitungan di atas, dengan dimensi dan kecepatan aliran fluida yang sesuai dengan hasil dari eksperimen, maka diketahui  $C_p$  rancangan turbin adalah sebesar 0.23.

Dengan kecepatan aliran fluida 2.8563 m/s (dari hasil eksperimen), untuk menghasilkan daya sebesar 750 watt dibutuhkan dimensi yang lebih besar. Perhitungan dimensi tersebut menggunakan persamaan 2. dan menggunakan nilai  $C_p$  sebesar 0.23, didapatkan nilai  $A$  sebesar 0.28  $m^2$ . Sehingga digunakan diameter turbin sebesar 0.475 meter, tinggi turbin 0.59 meter, dan *chord length* sebesar 0.174 meter.

#### 4. Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan:

1. Pemanfaatan turbin udara yang diaplikasikan sebagai turbin air dapat dilakukan pada sungai hidrokinetik, namun dibutuhkan kecepatan aliran fluida yang cukup besar karena memiliki koefisien kinerja yang relatif rendah.
2. Turbin air tipe VAWT *straight darrieus* dengan dimensi diameter turbin 41 mm, ketinggian turbin 51 mm, dan menggunakan 4 buah turbin, digunakan hydrofoil jenis NACA 2418 dengan *chord length* 15 mm, dapat menghasilkan nilai  $C_p$  sebesar 0.23.
3. Dengan kecepatan aliran fluida sebesar 2.8563 dan nilai  $C_p$  sebesar 0.23 (dari hasil eksperimen), untuk menghasilkan daya sebesar 750 watt dibutuhkan dimensi turbin 0.475 meter untuk diameter, dan 0.59 meter untuk tinggi turbin. *Chord length* yang digunakan sebesar 0.174 meter.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] McKinney, J. D. et al. (1983). *Microhydropower handbook* (vol. 1). Idaho, US: EG&G
- [2] Pritchard, P. J. (2011). *Introduction to fluid mechanics* (8th ed.). Manhattan, US: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Fleisinger, M. (2014). Flow driven analysis of a darrieus water turbine. *Journal of Mechanical Engineering of Maribor University*, 1-8.
- [4] Edmiran, E. (2014). *Design and analysis of a vertical axis water turbine for river applications using computational fluid dynamics* (Doctoral Thesis, Middle East Technical University, 2014). Retrieved from: <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12616790/index.pdf>