

## Optimasi Turbin Mikrohidro untuk Daerah Terpencil : Openflume

Budiarso<sup>1\*</sup>, Anindio Prabu Harsarapama<sup>2</sup>, Muhammad Ridho<sup>3</sup>, Reza Dianofitra<sup>4</sup>

<sup>1</sup>budiarso@ui.ac.id, <sup>2</sup>anindio.prabu@yahoo.com, <sup>3</sup>ridhobox@yahoo.com, <sup>4</sup>reza.dianofitra95@gmail.com

### Abstrak

Daerah terpencil merupakan daerah yang terisolir secara geografis sehingga tingkat aksesibilitasnya sangat rendah. Sebagian besar daerah ini berpenduduk sedikit dan belum terlistriki karena aksesnya yang jauh dari jaringan listrik terkoneksi nasional. Untuk itu dibutuhkan suatu pembangkit listrik mandiri berskala mikro yang dapat memenuhi kebutuhan listrik lokal. Turbin *open flume* merupakan suatu jenis turbin air berskala mikro yang cocok digunakan pada daerah terpencil dengan karakteristik geografi bergunung-gunung karena pembuatannya yang sederhana dan perawatannya yang mudah. Tinggi jatuh air yang dapat digunakan turbin ini berkisar antara 2 – 10 m sehingga memiliki cakupan daerah penggunaan yang luas. Berdasarkan proses perancangan secara analitis dihasilkan suatu turbin *open flume* berkapasitas 1 kW dengan diameter 0,3 m, diameter *hub* 0,12 m, jumlah sudu jalan 6, dan efisiensi total 50 %.

Kata kunci : turbin air, mikrohidro, *openflume*, daerah terpencil

### 1. Pendahuluan

Pada suatu daerah terpencil, keterjangkauan, keahlian, infrastruktur dan jarak dari pusat transmisi membuat persoalan pasokan energi listrik semakin rumit. Salah satu solusi utama untuk mengatasi persoalan kelistrikan akibat keterbatasan tersebut pada daerah terpencil adalah dibuat suatu pembangkit tenaga listrik mandiri sebagai sumber energi listrik lokal.

Kondisi geografis Indonesia pada umumnya mempunyai sumber air dan merupakan lahan perbukitan atau pegunungan. Kondisi ini memberikan peluang bagi pemanfaatan energi air sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik. Potensi energi air di Indonesia cukup besar yaitu sekitar 75.000 MW, dan baru sekitar 5.700 MW yang dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik. Sedangkan dari potensi sumber energi air kecil yaitu mikrohidro yang berkisar sebesar 460 MW, baru 228 MW yang dimanfaatkan (KESDM, 2010). Dengan demikian potensi energi air di Indonesia, terutama potensi mikrohidro pada daerah-daerah terpencil yang berbukit ataupun bergunung masih cukup besar.

Untuk daerah dengan karakteristik geografisnya merupakan pegunungan atau berbukit, rancangan turbin air terbuka (*open flume water turbine*) ternyata adalah yang paling cocok seperti yang telah terbukti dari implementasinya di negara Nepal [1]. Rancangan turbin air ini cukup sederhana pada aspek pekerjaan sipil pembangunannya, efisien untuk tinggi jatuh dan aliran air yang relatif kecil dan rancangan yang sederhana dan relatif kompak. Dengan demikian sangat cocok untuk digunakan sebagai pembangkit listrik lokal yang mandiri di daerah

terpencil yang jauh dari pusat tenaga listrik dan penduduk relatif tidak padat.

### 2. Metodologi

Dalam melakukan penelitian ini metode yang digunakan untuk mencapai tujuan akhir dilakukan dengan metode :

1. Pendekatan analitis untuk mendapatkan rancangan optimal dari *runner* turbin berdasar kepada metode teoritis
2. Pendekatan numerical / simulasi untuk meninjau aliran yang melewati objek dan juga memvalidasi rancangan turbin

### 3. Batasan Masalah

Pada perencanaan turbin baling-baling saluran terbuka ini terdapat batasan-batasan masalah yang akan diterapkan, batasan-batasan tersebut adalah :

1. Temperatur udara dan air dianggap *ambient*
2. Nilai percepatan gravitasi yang digunakan bernilai konstan 9,81 m/s<sup>2</sup>
3. Perencanaan tidak mencakup perancangan konstruksi.
4. Densitas air yang digunakan bernilai konstan, yaitu 1000 kg/m<sup>3</sup>
5. Proses perencanaan hanya terbatas pada pendekatan teoritis.
6. Putaran generator yang digunakan adalah 1000 rpm
7. Daya maksimum yang dihasilkan adalah 1 kW
8. Jenis aliran dianggap aliran *free vortex*
9. Gaya gesek pada sudu jalan dan sudu pengarah dianggap nol.
10. Sistem kontrol tidak tercakup dalam perencanaan.

## 4. Perancangan Turbin

### 4.1 Perencanaan Parameter Awal

#### 4.1.1 Perhitungan Kecepatan Spesifik

$$n_s = n \frac{\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

$$n_s = 1000 \text{ rpm} \frac{\sqrt{1 \text{ kW}}}{(2)^{\frac{5}{4}}} = 421$$

#### 4.1.2 Perhitungan Debit Air

$$Q = \frac{P}{\eta \rho g H}$$

$$Q = \frac{1000 \text{ W}}{(0,5) \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (2 \text{ m})}$$

$$= 0,102 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

#### 4.1.3 Perhitungan Diameter Sudu Jalan

$$C_x = c_m \sqrt{2gH}$$

$$C_x = 0,296 \sqrt{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (2 \text{ m})} = 1,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C_x \left(1 - \left(\frac{d_h}{D}\right)^2\right)}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \left(0,1019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{\pi \left(1,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(1 - (0,4)^2\right)}} = 0,29 \text{ m}$$

$$\approx 0,3 \text{ m}$$

#### 4.1.4 Perhitungan Jarak Sudu Jalan dengan Sudu Pengarah

$$\lambda = 0,25 D$$

$$\lambda = 0,25 (0,3 \text{ m}) = 0,075 \text{ m}$$

#### 4.1.5 Perhitungan Jarak antar Sudu Jalan

Dengan nilai  $n_s = 421$  didapatkan jumlah sudu adalah enam buah.

$$s = \frac{\pi D \left(\frac{d}{D}\right)}{Z}$$

Dengan nilai  $s/l = 1$  maka,

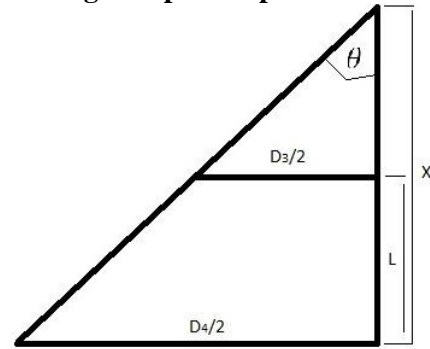
$$l = s = (1)(0,063 \text{ m}) = 0,063 \text{ m}$$

Berikut tabel nilai  $s$  dan  $l$  pada setiap  $d/D$  :

Tabel 3.1 Nilai Pitch dan Chord

d/D	s (m)	l (m)
0,4	0,063	0,063
0,5	0,079	0,079
0,6	0,094	0,094
0,7	0,110	0,110
0,8	0,126	0,126
0,9	0,141	0,141
1	0,157	0,157

## 4.2 Perancangan Pipa Hisap



Gambar 3.1 Sketsa Pipa Pesat Konikal

$$\tan \theta = \tan \theta$$

$$\frac{\frac{D_3}{2}}{(X-L)} = \frac{\frac{D_4}{2}}{X}$$

$$X \frac{D_3}{2} = \frac{D_4}{2} (X-L) \rightarrow X \left(\frac{D_3}{2} - \frac{D_4}{2}\right) = -L \frac{D_4}{2}$$

$$X = \frac{-L \frac{D_4}{2}}{\left(\frac{D_3}{2} - \frac{D_4}{2}\right)}$$

Dengan

$$\frac{L}{D_4} = c$$

Maka,

$$\tan \theta = \frac{-L \left(\frac{L}{2c}\right)}{\left(\frac{D_3}{2} - \left(\frac{L}{2c}\right)\right)}$$

Dengan  $L/D_4 = 1$  dan  $L = 1,5 \text{ m}$ , maka :

#### Rugi Tinggi Jatuh Akibat Perbesaran Dimensi

Nilai  $D_3$  diasumsikan sama dengan diameter sudu jalan.

$$H_{exp} = \zeta \frac{\alpha_3 C_3^2}{2g} \rightarrow \zeta = A \frac{C_3 \text{ maks}}{C_3 \text{ rata2}} \tan(\theta)^{1,25}$$

$$H_{exp} = 0,045 \text{ m}$$

#### Rugi Tinggi Jatuh Akibat Gaya Gesek

Untuk bahan pipa hisap baja, nilai koefisien gaya gesek sekitar 0,08. Koefisien tersebut didapat dari diagram Moody (lampiran).

$$H_{fr} = \frac{\lambda Q^2}{\pi^2 g \tan \theta} \left[ \frac{1}{D_3^4} - \frac{1}{(D_3 + 2L \tan \theta)^4} \right]$$

$$H_{fr} = 0,007 \text{ m}$$

#### Rugi Tinggi Jatuh Pada Outlet Pipa Hisap

$$H_{exit} = \frac{8\alpha_5 Q^2}{\pi^2 g (D_3 + 2L \tan \theta)^4}$$

$$H_{exit} = 0,003 \text{ m}$$

Dengan diketahuinya ketiga nilai kerugian tinggi jatuh tersebut maka nilai kerugian tinggi jatuh total dapat dihitung.

$$H_{loss} = H_{exp} + H_{fr} + H_{exit}$$

$$H_{loss} = 0,044 \text{ m} + 0,007 \text{ m} + 0,003 \text{ m}$$

$$= 0,054 \text{ m}$$

Untuk menghitung nilai efisiensi dari pipa hisap maka nilai kecepatan aliran ketika meninggalkan pipa hisap harus diketahui.

$$D_4 = \frac{L}{c}$$

$$D_4 = \frac{1,5 \text{ m}}{2} = 0,75 \text{ m}$$

$$v_4 = \frac{D_3}{D_4} v_3$$

$$v_4 = \frac{(0,3 \text{ m})}{(0,75 \text{ m})} \left(1,716 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = 0,686 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Maka,

$$\eta_{\text{pipa hisap}} = \frac{\frac{(v_3^2 - v_4^2)}{2g} - H_{\text{loss}}}{\frac{(v_3^2 - v_4^2)}{2g}}$$

$$\eta_{\text{pipa hisap}} = 67 \%$$

### 4.3 Perhitungan Segitiga Kecepatan Sudu Jalan

#### 4.3.1 Perhitungan Efisiensi Hidrolik Sudu Jalan

$$\eta = \eta_h \times \eta_{\text{pipa hisap}}$$

$$\eta_h = \frac{\eta}{\eta_{\text{pipa hisap}}} = \frac{0,5}{0,67} = 0,74 = 74 \%$$

#### 4.3.2 Perhitungan Kecepatan gerak Sudu Jalan

$$U_{\text{tip}} = \frac{2\pi nR}{60}$$

$$U_{\text{tip}} = \frac{(2\pi)(1000 \text{ rpm})(0,15 \text{ m})}{60} = 15,75 \text{ m/s}$$

$$U_i = (U_{\text{tip}}) \left(\frac{d_i}{D}\right)$$

$$u = \frac{U_i}{\sqrt{(2gH)}}$$

Tabel 3.2 Nilai Kecepatan Sudu Jalan

d/D	U (m/s)	u
0,4	6,30	1,01
0,5	7,88	1,26
0,6	9,45	1,51
0,7	11,0	1,76
0,8	12,6	2,01
0,9	14,2	2,26
1	15,8	2,51

#### 4.3.3 Perhitungan Proyeksi Kecepatan Absolut terhadap U

$$\Delta Cu = \frac{\eta g H}{U} \text{ dengan nilai } Cu_3 = 0$$

maka,  $Cu_2 = \frac{\eta g H}{U}$

$$cu_{2i} = \frac{Cu_{2i}}{\sqrt{(2gh)}}$$

Tabel 3.3 Nilai Proyeksi Kecepatan Absolut Terhadap U

d/D	$Cu_2$ (m/s)	$cu_2$
0,4	2,31	0,37
0,5	1,84	0,29
0,6	1,54	0,25
0,7	1,32	0,21
0,8	1,15	0,18
0,9	1,02	0,16
1	0,922	0,15

#### 4.3.4 Perhitungan Kecepatan Aksial ( $C_x$ )

$$C_x = \frac{4Q}{(\pi D^2) \left(1 - \left(\frac{d_h}{D}\right)^2\right)}$$

$$C_x = \frac{4 \left(0,1019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{(\pi(0,3 \text{ m})^2) \left(1 - (0,4)^2\right)} = 1,72 \text{ m/s}$$

$$c_m = \frac{C_x}{\sqrt{(2gh)}}$$

$$c_m = \frac{1,72 \text{ m/s}}{\sqrt{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (2 \text{ m})}} = 0,27$$

#### 4.3.5 Perhitungan Sudut Relatif Masuk

$$\theta_i = \arctan \left(\frac{(u - cu_i)}{c_m}\right)$$

$$\beta_2 = 90^\circ - \theta_2$$

Tabel 3.4 Nilai  $\beta_2$  dan  $\theta_2$

d/D	$\theta_2$	$\beta_2$
0,4	66,8°	23,3°
0,5	74,1°	15,9°
0,6	77,8°	12,2°
0,7	80,0°	10,0°
0,8	81,5°	8,53°
0,9	82,6°	7,44°
1	83,4°	6,60°

#### 4.3.6 Perhitungan Sudut Relatif Keluar

$$\theta_i = \arctan \left(\frac{(u - cu_i)}{c_x}\right)$$

$$\beta_3 = 90^\circ - \theta_3$$

Tabel 3.5 Nilai  $\beta_3$  dan  $\theta_3$

d/D	$\theta_3$	$\beta_3$
0,4	74,8°	15,2°
0,5	77,7°	12,3°
0,6	79,7°	10,3°
0,7	81,8°	8,85°
0,8	82,2°	7,76°
0,9	83,1°	6,90°
1	83,8°	6,22°

#### 4.3.7 Perhitungan Sudut dan Kecepatan Relatif Rata-Rata

$$\beta_{inf} = \frac{\beta_2 + \beta_3}{2}$$

$$w_{inf} = \frac{c_m}{\sin(\beta_{inf})}$$

Tabel 3.6 Nilai  $\beta_{inf}$  dan  $w_{inf}$

d/D	$\beta_{inf}$	$w_{inf}$
0,4	19,3°	0,83
0,5	14,3°	1,13
0,6	11,3°	1,40
0,7	9,44°	1,67
0,8	8,14°	1,94
0,9	7,17°	2,20
1	6,41°	2,45

#### 4.3.8 Profil Sudu Jalan

Tabel 3.7 Nilai  $\beta$  dan Jenis Airfoil

d/D	$\beta$	Jenis Airfoil
0,4	71,9°	NACA 5416
0,5	76,5°	NACA 1213
0,6	79,5°	NACA 0011
0,7	81,0°	NACA 0009
0,8	82,2°	NACA 0008
0,9	83,1°	NACA 0007
1	83,8°	NACA 0006

#### 4.4 Perhitungan Sudu Pengarah

##### 4.4.1 Perhitungan Jumlah Sudu Pengarah

$$Z_{sp} = \frac{1}{4} \sqrt{D_1} + 4$$

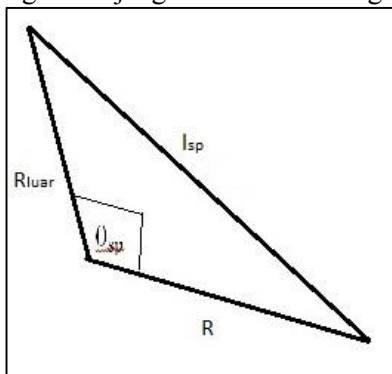
$$Z_{sp} = \frac{1}{4} \sqrt{(0,3 \text{ m})} + 4 \approx 7$$

##### 4.4.2 Perhitungan Sudut antar Sudu Pengarah

$$\theta_{sp} = \frac{360^\circ}{Z_{sp}}$$

$$\theta_{sp} = \frac{360^\circ}{7} = 51,4^\circ$$

##### 4.4.3 Perhitungan Panjang Chord Sudu Pengarah



Gambar 3.3 Sketsa Sudu Pengarah

$$l_{sp} = \sqrt{(R_{luar})^2 + (R)^2 - 2(R_{luar})R \cos \theta_{sp}}$$

$$l_{sp} \approx 0,2 \text{ m}$$

##### 4.4.4 Perhitungan Tinggi Sudu Pengarah

Nilai B/D yang didapatkan dengan  $n_s = 421$  adalah 3,5.

$$B = 0,35 D$$

$$B = 0,35 (0,3 \text{ m}) = 0,105 \text{ m}$$

##### 4.4.5 Perhitungan Sudut Masuk dan Keluar Sudu Pengarah

$$C_{r2}(2\pi r_2 B) = C_x \frac{\pi D^2}{4} \left(1 - \left(\frac{d_h}{D}\right)^2\right)$$

$$C_{r2} = 1,7 \text{ m/s}$$

$$\alpha_{sp2} = \arctan \left( \frac{C_{u2}}{C_{r2}} \right)$$

$$\alpha_{sp2} = \arctan \left( \frac{0,922 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right) = 28,4^\circ$$

#### 4.5 Perhitungan Spiral Case

$$\ln \frac{R}{r_0} = \frac{\varphi Q}{Kb 360^\circ} = \lambda \varphi$$

Tabel 3.8 Nilai R untuk Setiap Sudut Tempuh

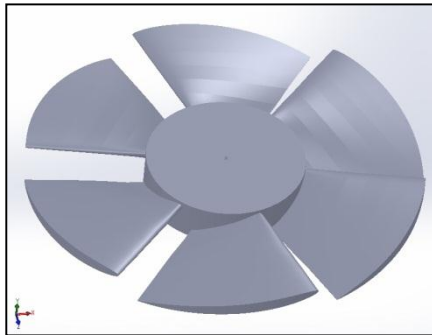
Sudut Tempuh	R (m)
30°	0,29
60°	0,34
90°	0,40
120°	0,46
150°	0,54
180°	0,63
210°	0,73
240°	0,85
270°	1,0

#### Hasil

Dari hasil perencanaan dan perhitungan dengan dasar teoritis yang ada, dihasilkan spesifikasi komponen-komponen tersebut.

##### 1. Sudu Jalan

Diameter	0,30 m
Diameter Hub	0,12 m
Sudut Puntir	6° - 34°
Jumlah Sudu	6
Hub to Tip Ratio	0,4
Pitch to Chord Ratio	1
Tinggi Sudu	0,04 m
Bahan Sudu	ST 42 (IS : 1079 – 1968)



Gambar.1 Sudu Jalan Turbin Baling-Baling Hasil Perancangan

2. Sudu Pengarah

Diameter Luar	0,50 m
Diameter Dalam	0,30 m
Jumlah Sudu	7
Jarak dengan Sudu Jalan	0,075 m
Tinggi Sudu	0,105
Panjang Chord Sudu	0,2

3. Pipa Hisap

Jenis	Pipa Hisap Konikal
Panjang	1,5 m
Diameter Inlet	0,3 m
Diameter Outlet	0,75 m

4. Spiral Case Terbuka

Kedalaman	0,4 m
Sudut Tempuh	270°
Jari-Jari Luar	0,590 m – 1,46 m

5. Poros

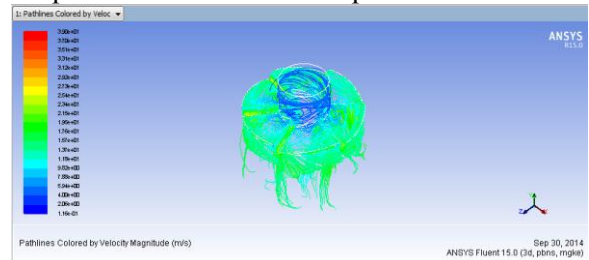
Diameter	0,05 m
Bahan	ST 42 (IS : 1079 – 1968)

6. Pasak

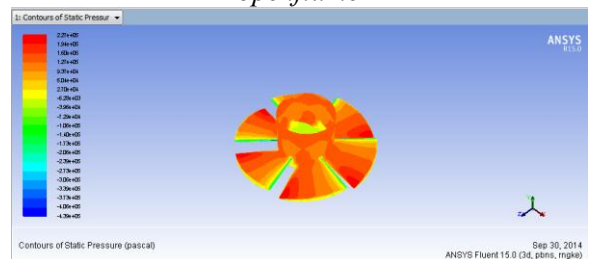
Jenis	Pasak Balok
Standar	IS : 2292 & 2293 - 1974
Panjang	120 mm
Lebar	16 mm
Tebal	10 mm

Bahan	ST 42 (IS : 1079 – 1968)
-------	--------------------------

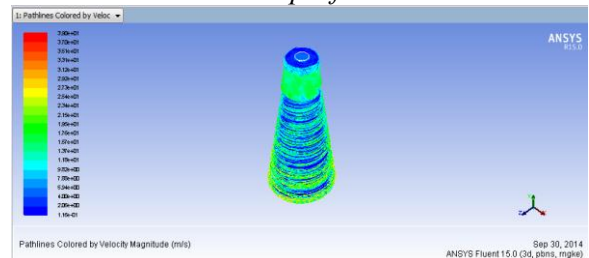
Paper ini melakukan analisis numerik menggunakan *software* ANSYS FLUENT 15. Pendekatan numerikal yang diterapkan dalam disain turbin air *openflume* ini menggunakan pendekatan turbulensi  $k-\epsilon$  dengan model RNG dalam kondisi *steady*. Sehingga, dengan kondisi batas yang telah didapat dalam metode analitik, didapat hasil simulasi CFD seperti berikut :



Gambar.2 Path Line Velocity aliran pada turbin *openflume*



Gambar.3 Kontur Tekanan Statik pada permukaan turbin *openflume*



Gambar.4 Path Line Velocity pada draft tube turbin *openflume*

**Kesimpulan**

Dengan daya poros netto 1 kW dan tinggi jatuh air yang tersedia 2 m maka dihasilkan sebuah rancangan sistem turbin *open flume* dengan diameter 0,3 m, diameter *hub* 0,12 m, jumlah sudu jalan 6, putaran 1000 rpm, dan nilai efisiensi total 50%.

**Referensi**

S.J. Williamson, B.H. Stark, J.D. Booker. Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis. *Renewable Energy* 2014; 61: 43-50.  
Nechleba M. *Hydraulic turbines: their design and equipment*. Prague: ARTIA; 1957.

Singh P, Nestmann F. Experimental Optimization of a Free Vortex Propeller Runner for MicrohydroApplication. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2009; 33: 991-1002.

Singh P, Nestmann F. Exit Blade Geometry and Part-load Performance of Small Axial Flow Propeller Turbines: A experimental Investigation.

*Experimental Thermal and Fluid Science* 2010; 34: 798-811.

Singh P, Nestmann F. Experimental Investigation of The Influence of Blade Height and Blade Number on The Performance of Low Head Axial Flow Turbines. *Renewable Energy* 2011; 36: 272-281.