

# ANALISIS PENGARUH VARIASI DEBIT AIR TERHADAP KECEPATAN PUTARAN TURBIN CROSSFLOW PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

N. A. Kartono<sup>1\*</sup>, C. G. Indra Partha<sup>2</sup>, W. G. Ariastina<sup>2</sup>, I. A. D. Giriantari<sup>2</sup>,  
I N. Satya Kumara<sup>2</sup>, I W. Sukerayasa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Jl. Raya Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80361

\*Email: [nailaaflihah2@gmail.com](mailto:nailaaflihah2@gmail.com)

## ABSTRAK

Sungai Yeh Dikis yang mengalir melalui Kabupaten Tabanan Bali, memiliki lingkungan alami yang sangat cocok sebagai objek pariwisata. Selain itu, Sungai Yeh Dikis memiliki potensi untuk menghasilkan daya listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Debit air Sungai Yeh Dikis sebesar 0,381 m<sup>3</sup>/s dengan nilai *head* sebesar 8,2 meter yang berpotensi untuk menghasilkan daya listrik sebesar 18,15 kW. Dengan pertimbangan nilai debit air dan daya *output* PLTMH, maka dipilih turbin crossflow sebagai turbin untuk PLTMH pada Sungai Yeh Dikis. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit air 0,381 m<sup>3</sup>/s dengan diameter pipa pesat 0,44 meter menghasilkan kecepatan putar spesifik sebesar 186 rpm. Sedangkan untuk debit air 0,381 m<sup>3</sup>/s dengan diameter 0,55 meter menghasilkan kecepatan putaran spesifik turbin sebesar 160 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *head* efektif pada nilai debit air yang berbeda memerlukan diameter setiap pipa pesat yang berbeda untuk menghasilkan putaran spesifik tertentu. Diameter pipa pesat yang berukuran kecil akan menghasilkan kecepatan aliran air yang tinggi. *Head* efektif yang bernilai rendah akan menghasilkan kecepatan putaran spesifik yang rendah. Keluaran daya turbin yang diperoleh dari debit air 0,381 m<sup>3</sup>/s dengan diameter 0,44 meter sebesar 18,15 kW. Kerja turbin *crossflow* divalidasi dengan menggunakan simulator turbin untuk mengetahui kecepatan putaran turbin dan nilai torsi yang berkaitan.

**Kata kunci** : turbin air, debit air, *head*, daya listrik, Sungai Yeh Dikis

## ABSTRACT

*The Yeh Dikis River in Tabanan Regency Bali has a natural environment which is considered suitable to be used as a tourism destination. The factor that supports the Yeh Dikis River to become a tourism object is the river's potential to generate electricity. In this paper, a particular turbine for micro-hydro power plant is designed. The Yeh Dikis River has a water discharge of 0.381 m<sup>3</sup>/s with a head value of 8.2 meters, with a potential output power of 18.15 kW. The value of the water discharge and the output power are used to determine the type of turbine used. The computation and simulation showed that the crossflow turbine is suitable for the power plant. The analysis showed that a water discharge of 0.381 m<sup>3</sup>/s with a penstock diameter of 0.44 meters produces a specific rotational speed of 186 rpm; while a water discharge of 0.381 m<sup>3</sup>/s with a penstock diameter of 0.55 meters produces a turbine specification rotation speed of 160 rpm. This indicated that the effective head value affects the determination of the penstock diameter and the water velocity. The smaller diameter of the penstock produces, the higher the velocity of the water flow in the pipe. A low effective head will result in a low specific rotational speed. It was found that the optimum turbine power output for a water discharge of 0.381 m<sup>3</sup>/s with a penstock diameter of 0.44 meters is 18.15 kW. The work of the crossflow turbine is validated using a turbine simulator to determine the rotational speed of the turbine for a particular torque.*

**Key Words:** hydro turbine, water discharge, head, power, Yeh Dikis river.

## 1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik kecil yang menggunakan tenaga air. Air sebagai tenaga biasanya diambil dari saluran irigasi, sungai atau air terjun alami, dengan memperhatikan tinggi (*head*) air terjun dan jumlah debit air. [1]. Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019 Tentang Energi Bersih telah secara jelas menjelaskan mengenai energi terbarukan hingga penyediaan dan penggunaan energi bersih dalam bentuk sungai atau air terjun. Hal ini mencakup pula pemanfaatan tenaga air pada aliran air permukaan (aliran/terjunan air atau sarana irigasi) [2]. PLTMH menggunakan energi potensial dari jatuhnya air (*head*), semakin besar jarak ketinggian dari jatuhnya air maka energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik akan semakin besar [3].

PLTMH sangat bergantung pada tinggi jatuh (*head*) dan debit air, hal ini dapat mempengaruhi daya *output* turbin yang akan digunakan [4]. Daya *output* dan *head* mempengaruhi kecepatan putaran turbin. Apabila daya *output* dan *head* bernilai besar, maka kecepatan putar turbin akan semakin cepat begitupun sebaliknya. Kecepatan putar turbin akan mempengaruhi dimensi *runner* turbin dan sudu turbin. Oleh karena itu diperlukan penyesuaian bentuk turbin agar dapat menghasilkan energi yang efisien.

Permasalahan diatas diatasi dengan dilakukannya penelitian tentang pengaruh debit air dan diameter pipa pesat di Sungai Yeh Dikis Banjar Lebah Kabupaten Tabanan. Data tinggi jatuh (*head*), debit air dan potensi sungai diambil melalui pengamatan dan pengukuran secara langsung. Penelitian ini difokuskan pada variasi debit air yang mempengaruhi besar kecepatan putar turbin. Turbin yang dipilih untuk diterapkan pada PLTMH Sungai Yeh Dikis adalah turbin air tipe *crossflow*. Spesifikasi turbin sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin, termasuk

diameter dan lebar *runner* tergantung pada debit dan ketinggian air untuk mencapai efisiensi turbin yang optimal.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 PLTMH

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi hidrolik seperti saluran sungai, irigasi atau air terjun sebagai penggerakannya, dengan menggunakan ketinggian air terjun (*head*, dalam meter) dan jumlah debit air (m<sup>3</sup>/detik). Jika ketinggian air terjun besar maka tekanan hidrostatik akan lebih besar dan dapat diubah menjadi energi listrik [5]. Perangkat elektromekanis yang ada di PLTMH antara lain turbin, generator dan sistem kontrol (panel). [6].

### 2.2 Pipa Pesat

Pipa pesat digunakan untuk mengalirkan air dari tangki air atau bak penenang ke turbin. Data pendukung perancangan pipa pesat adalah penampang air yang keluar dari bak penenang sebelum masuk pipa pesat, dikumpulkan dari hasil survei dan pengukuran di lokasi penelitian [7].

Perencanaan pipa pesat menggunakan persamaan sebagai berikut.

#### 1. Diameter Pipa Pesat

Perhitungan diameter pipa pesat menggunakan Persamaan (1) [7]:

$$d = 0,72 \times Q^{0,5} \quad (1)$$

Keterangan:

d = Diameter pipa pesat (m)

Q = Debit (m<sup>3</sup>/s)

#### 2. Kecepatan Aliran Air Pipa Pesat

Kecepatan aliran air dalam pipa pesat dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) [7]:

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} \quad (2)$$

Keterangan:

v = Kecepatan aliran air pipa (m/s)

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

d = Diameter pipa pesat (m)

### 3. Tebal Pipa Pesat

Tebal pipa pesat dapat dihitung menggunakan Persamaan (3) [7].

$$t = \frac{(\rho \times g \times h)r}{\sigma} \quad (3)$$

Keterangan:

t = Tebal pipa pesat (mm)

ρ = Massa jenis air (ton/m<sup>3</sup>)

g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

h = Tinggi (m)

### 4. Rugi-Rugi Pipa Pesat

#### a) Rugi Gesek Pada Dinding Pipa

Rugi gesekan pada dinding pipa dapat dihitung menggunakan Persamaan (4) [7]:

$$h_{wall\ loss} = \frac{f \times L_{pipe} \times 0,08 \times Q^2}{d^5} \quad (4)$$

Keterangan :

H<sub>Wall loss</sub> = Rugi gesekan pada dinding pipa pesat (m)

f = Konstanta friksi (Diagram Moody)

L = Panjang pipa pesat (m)

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

d = Diameter *penstock* (m)

#### b) Rugi Turbulensi

Rugi turbulensi pada pipa pesat dapat dihitung menggunakan Persamaan (5) [7]:

$$H_{Turb\ loss} = \frac{v^2}{2 \times g} (K_{friksi}) \quad (5)$$

Keterangan:

H<sub>Turb loss</sub> = Rugi turbulensi pada pipa pesat (m)

V = Kecepatan aliran pipa pesat (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/s)

K<sub>friksi</sub> = Konstanta friksi

#### c) Rugi Friksi

Rugi friksi dapat dihitung menggunakan Persamaan (6) [7]:

$$h_{friction} = h_{Wall\ loss} + h_{Turb\ loss} \quad (6)$$

Keterangan:

h<sub>friction</sub> = Rugi friksi (m)

h<sub>Wall loss</sub> = Rugi gesekan pada pipa pesat (m)

h<sub>Turb loss</sub> = Rugi Turbulensi pada pipa pesat (m)

#### d) Head Efektif

Head efektif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (7) [7]:

$$Head_{Net} = H_{Gross} - h_{Friction} \quad (7)$$

Keterangan:

H<sub>Gross</sub> = Tinggi jatuh air kotor (m)

h<sub>friction</sub> = Rugi gesekan pada *penstock* (m)

#### e) Persentase Kehilangan Head

Persentase kehilangan *head* dapat dihitung menggunakan Persamaan (8) [7]:

$$\%Losses = \frac{h_{Friction}}{H_{Gross}} \times 100\% \quad (8)$$

#### f) Surge Pressure

Menghitung *Surge pressure* dapat menggunakan Persamaan (9) dan (10) [7]:

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,1 \times 10^9 \times d}{E \times t}\right)}} \quad (9)$$

Keterangan:

d = Diameter *penstock* (m)

t = Ketebalan dinding *penstock* (m)

E = Modulus *young's* elastisitas (N/m<sup>2</sup>)

$$h_{Surge} = \frac{a \times v}{g} \quad (10)$$

Keterangan :

v = Kecepatan aliran air dalam *penstock* (m/s)

a = Kecepatan rambat gelombang (m)

#### g) Rugi Total Pipa

Menghitung rugi total *penstock* dapat menggunakan Persamaan (11) [7]:

$$h_{Total} = H_{Gross} + h_{Surge} \quad (11)$$

h) *Safety Factor*

Untuk menentukan *safety factor* digunakan Persamaan (12) [7]:

$$SF = \frac{t \times s}{5 \times h_{Total} \times 10^3 \times d} \quad (12)$$

Keterangan:

- SF = *Safety factor*
- T = Ketebalan dinding *penstock* (m)
- S = Kekuatan bahan (N/m<sup>2</sup>)
- d = Diameter (m)
- h<sub>Total</sub> = Rugi-rugi total (m)

**2.3 Prinsip Kerja Turbin Air**

Turbin dapat dianggap sebagai penggerak utama di mana energi fluida kerja, yang dapat berupa air, uap, atau gas, secara langsung memutar roda turbin. Rotor (*runner* pada turbin *crossflow*) atau roda turbin adalah komponen turbin yang berputar, sedangkan stator atau rumah turbin adalah komponen yang tidak berputar. [8].

Air, fluida kerja, melewati ruang di antara bilah roda turbin, yang memungkinkannya berputar dan memberikan gaya pada bilah. Roda turbin memiliki bilah berbentuk struktur pelat dan penampang tertentu. Perubahan momentum fluida kerja, air yang mengalir di antara sudu, dapat menyebabkan gaya ini terwujud. Blade akan bekerja lebih baik jika didesain sedemikian rupa sehingga fluida kerja air dapat mengalami pergeseran gerak. [7].

**2.4 Turbin Crossflow**

Turbin *crossflow* ini memiliki aliran yang tegak lurus dengan sumbu turbin atau radial. Turbin ini memiliki alat pengarah, sehingga ada sedikit celah antara roda dan sudu. Tiga komponen utama terdiri dari turbin *crossflow*: roda jalan, alat pengarah, dan rumah turbin. Turbin *crossflow* dapat beroperasi dengan *head* antara 1m dan 200m dan debit air antara 20 liter/detik hingga 10.000 liter/detik. [9].

**2.5 Karakteristik Turbin Air**

Secara umum, karakteristik turbin air dapat dinyatakan dalam beberapa konstanta sebagai berikut:

a) Daya Keluaran Turbin

Hal yang menjadi penentu daya turbin air adalah besarnya debit air, massa jenis air, gravitasi, tinggi jatuh air (*head*), dan efisiensi turbin. Daya keluaran turbin dapat dihitung menggunakan Persamaan (13) [10]:

$$P_t = \rho \times Q \times H_{net} \times g \times \eta \quad (13)$$

Keterangan :

- P<sub>t</sub> = Daya turbin (Watt)
- ρ = Massa jenis air (1.000 kg/m<sup>3</sup>)
- H<sub>net</sub> = *Head net* (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- η = Efisiensi turbin (0,3 – 0,9)

b) Kecepatan Turbin

Kecepatan spesifik dapat dihitung dengan mengetahui nilai kecepatan putaran turbin dengan Persamaan (14) [10]:

$$N = 513,25 \frac{H_{Net}^{0,745}}{\sqrt{P_t}} \quad (14)$$

Kecepatan spesifik turbin dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (15) [10]:

$$N_s = \frac{N \sqrt{P_t}}{H_{Net}^{1,25}} \quad (15)$$

Keterangan:

- N = Kecepatan putaran turbin air (rpm)
- H<sub>n</sub> = *Head net* (m)
- P<sub>t</sub> = Daya turbin air (Watt)
- N<sub>s</sub> = Kecepatan putaran spesifik turbin air (rpm)

**2.6 Perencanaan Runner Turbin Crossflow**

Parameter turbin *crossflow* dapat direncanakan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini.

a) Diameter Luar *Runner*

Diameter luar *runner* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (16) [10]:

$$D_0 = 40 \sqrt{\frac{H_{Net}}{N}} \quad (16)$$

Keterangan:

$D_0$  = Diameter luar *runner* (m)

$H_n$  = *Head net* (m)

$H_{gross}$  = *Head gross*, merupakan jarak antara permukaan air masuk ke turbin (m)

$h_f$  = Rugi friksi, merupakan jumlah *losses* pada *penstock* (m)

$N$  = Kecepatan putaran turbin (rpm)

b) Diameter Dalam *Runner*

Diameter dalam *runner* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (17) [10]:

$$D_1 = \frac{2}{3} \times D_0 \quad (17)$$

Keterangan:

$D_1$  = Diameter dalam *runner* (m)

$D_0$  = Diameter luar *runner* (m)

c) Jarak Antar Sudu

Jarak antar sudu dapat dihitung dengan mengetahui nilai sudut kecepatan air yang masuk dan ketebalan sudu. Untuk menghitung ketebalan sudu digunakan Persamaan (18) [11]:

$$s_1 = k \times D_0 \quad (18)$$

Jarak antar sudu dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (19) [11]:

$$t = \frac{s_1}{\sin \beta_1} \quad (19)$$

Keterangan :

$S_1$  = Ketebalan sudu (cm)

$k$  = Konstanta (0,0087)

$D_0$  = Diameter luar *runner* (cm)

$t$  = Jarak antar sudu pada turbin air (cm)

$\beta_1$  = Sudut kecepatan air masuk

d) Lebar Sudu

Lebar sudu pada turbin air dapat dihitung dengan Persamaan (20) [12]:

$$a = 0,17 \times D_0 \quad (20)$$

Keterangan :

$a$  = Lebar sudu (cm)

$D_0$  = Diameter luar *runner* (cm)

e) Jumlah Sudu

Jumlah sudu turbin air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (21) [13]:

$$n = \frac{\pi \times D_0}{t} \quad (21)$$

Keterangan :

$n$  = Jumlah sudu pada turbin air

$D_0$  = Diameter luar *runner* (cm)

$t$  = Jarak antar sudu pada turbin air (cm)

f) Panjang Sudu

Panjang sudu turbin air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (22) [12]:

$$L = \frac{Q \times N}{50 \times H_n} \quad (22)$$

Keterangan:

$L$  = Panjang sudu (m)

$Q$  = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

$N$  = Kecepatan putaran turbin (rpm)

$H_n$  = *Head net* (m)

g) Jari-Jari Kelengkungan Sudu

Jari-jari kelengkungan sudu pada turbin air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (23) [14]:

$$r_c = 0,163 \times D_0 \quad (23)$$

Keterangan:

$R_c$  = Jari-jari kelengkungan sudu

$D_0$  = Diameter luar *runner* (cm)

h) Torsi

Torsi pada turbin air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (24) [15]:

$$T = \frac{P_t}{2\pi \times \frac{N}{60}} \quad (24)$$

Keterangan:

$T$  = Torsi (Nm)

$P_t$  = Daya turbin (Watt)

$N$  = Kecepatan putaran turbin air (rpm)

### 3. METODE PENELITIAN

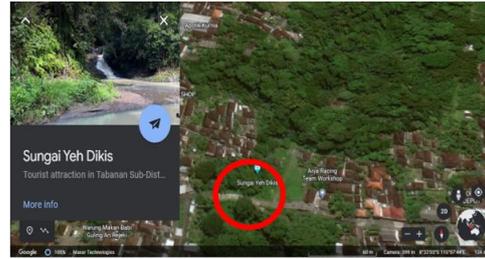
Berikut ini merupakan langkah-langkah kegiatan penelitian:

- a. Penelitian diawali dengan meninjau lokasi penelitian yang terletak di Sungai Yeh Dikis, Banjar Lebah, Kabupaten Tabanan.
- b. Pengambilan Data Tinggi Jatuh Air, Luas Penampang dan Kecepatan Aliran Air. Data tinggi jatuh air dan debit air berdasarkan data pengukuran, dimana diperoleh data 4 debit air yang berbeda saat musim basah hingga musim kering.
- c. Perhitungan Pipa Pesat. Langkah ini diawali dengan menghitung dimensi pipa sesuai dengan lokasi penelitian, kemudian ditentukan dimensi pipa untuk perencanaan PLTMH.
- d. Menentukan Jenis Turbin. Karakteristik dan spesifikasi turbin air ditentukan dengan melakukan perhitungan dimensi *runner* turbin, serta kecepatan putaran turbin pada keempat debit air dari musim basah hingga musim kering. Dengan demikian dapat diketahui korelasi antara debit air satu dengan lainnya. Kemudian dipilih jenis turbin air yang akan digunakan untuk perencana PLTMH sesuai dengan data perhitungan karakteristik dan spesifikasi turbin air.
- e. Mendesain Turbin. Membuat desain turbin sesuai dengan karakteristik dan dimensi *runner* turbin air dan spesifikasi turbin air.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Profil Sungai Yeh Dikis

Rencana lokasi PLTMH Sungai Yeh Dikis terletak di Banjar Lebah Kabupaten Tabanan tepatnya pada koordinat 008° 33' 04" S - 115° 07' 40" E. Aliran sungai yang dekat dengan pusat kota Tabanan ini berpotensi menjadikannya sebagai tempat wisata, baik wisata kuliner ataupun *camping ground*.



Gambar 1. Lokasi PLTMH Sungai Yeh Dikis

Langkah awal untuk merencanakan pembangunan PLTMH adalah mengukur potensi aliran sungai. Dari hasil pengukuran diketahui nilai *head* adalah 8,2 meter. Untuk nilai debit air didapatkan 4 nilai berbeda dari debit air terbesar hingga debit air terkecil. Besarnya debit air yang diukur berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan Debit Air Lokasi

No.	Tanggal	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )	Kecepatan Pelampung (m/s)	Debit (m <sup>3</sup> /s)
I	13/04/22	1,514	0,398	0,602
II	7/05/22	1,479	0,387	0,572
III	2/07/22	1,420	0,348	0,494
IV	23/07/22	1,273	0,300	0,380

Setelah mengetahui debit air, dilakukan perhitungan dimensi pipa pesat menggunakan data debit air terkecil.

#### 4.2 Perhitungan Pipa Pesat

Diameter pipa pesat untuk debit air terkecil dihitung dengan:

$$d = 0,72 \times Q^{0,5}$$

$$d = 0,72 \times 0,381^{0,5}$$

$$d = 0,44 \text{ meter}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Diameter Pipa

Debit	Diameter Pipa (cm)
I	55
II	54
III	50
IV	44

Tebal pipa pesat untuk debit air terkecil adalah:

$$t = \frac{(\rho \times g \times h) r \times 1000}{\sigma}$$

$$t = \frac{(0,997 \times 9,8 \times 8,2) 0,22}{3512,639}$$

$$t = \frac{(80,11)0,22}{3512,639}$$

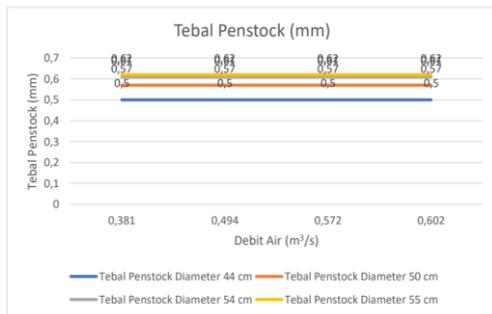
$$t = \frac{17,62}{3512,639}$$

$$t = 0,005 \text{ m}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

Tabel 3. Tebal Penstock Keempat Debit

Debit (m <sup>3</sup> /s)	Tebal Penstock (mm) Diameter 55	Tebal Penstock (mm) Diameter 54	Tebal Penstock (mm) Diameter 50	Tebal Penstock (mm) Diameter 44
	cm	cm	cm	cm
0,602	6,2	6,1	5,7	5
0,572	6,2	6,1	5,7	5
0,494	6,2	6,1	5,7	5
0,381	6,2	6,1	5,7	5



Gambar 2. Ketebalan pipa pesat

Kecepatan aliran air dalam pipa pesat untuk debit terkecil adalah:

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2}$$

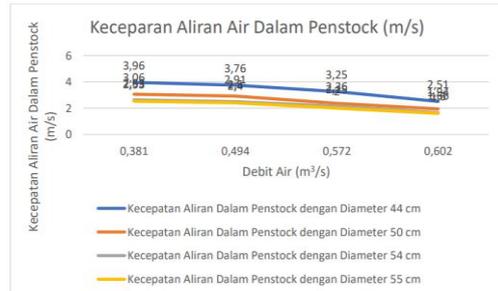
$$v = \frac{4 \times 0,381}{3,14 \times 0,44^2}$$

$$v = \frac{1,524}{0,607}$$

$$v = 2,51 \text{ m/s}$$

Tabel 4. Kecepatan aliran air dalam pipa pesat

Debit (m <sup>3</sup> /s)	Kecepatan Aliran Air Dalam Penstock			
	(m/s) Diameter 55	(m/s) Diameter 54	(m/s) Diameter 50	(m/s) Diameter 44
	cm	cm	cm	cm
0,602	2,53	2,63	3,06	3,96
0,572	2,4	2,5	2,91	3,76
0,494	2	2,15	2,36	3,25
0,381	1,6	1,66	1,94	2,51



Gambar 3. Kecepatan aliran air dalam pipa pesat

Hasil perhitungan pipa pesat secara keseluruhan sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa jika diameter pipa pesat berukuran kecil serta debit air yang digunakan rendah, maka aliran air pada pipa pesat juga bernilai kecil.

1. Rugi-rugi Pada Pipa

a) Rugi Gesekan Pada Dinding Pipa

$$h_{wall \text{ loss}} = \frac{f \times L_{pipe} \times 0,08 \times Q^2}{d^5}$$

$$h_{wall \text{ loss}} = \frac{0,04 \times 20 \times 0,08 \times 0,381^2}{0,44^5}$$

$$h_{wall \text{ loss}} = \frac{0,009}{0,016}$$

$$h_{wall \text{ loss}} = 0,58 \text{ m}$$

b) Rugi Turbulensi Pada Pipa

$$h_{turb \text{ loss}} = \frac{v^2}{2 \times g} (K_{frikksi})$$

$$h_{turb \text{ loss}} = \frac{2,51^2}{2 \times 9,8} (0,457)$$

$$h_{turb \text{ loss}} = \frac{6,3001}{19,6} (0,457)$$

$$h_{turb \text{ loss}} = 0,32 (0,457)$$

$$h_{turb \text{ loss}} = 0,14 \text{ m}$$

c) Rugi Gesekan Pada Pipa

$$h_{friction} = h_{wall \text{ loss}} + h_{turb \text{ loss}}$$

$$h_{friction} = 0,58 + 0,14$$

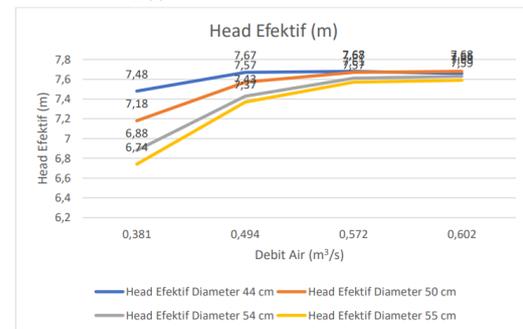
$$h_{friction} = 0,72 \text{ m}$$

2. Head Efektif (m) Debit IV

$$Head_{Net} = Head_{gross} - H_{friction}$$

$$Head_{Net} = 8,2 - 0,72$$

$$Head_{Net} = 7,48 \text{ m}$$



Gambar 4. Grafik Head Efektif Keempat Debit

Gambar 4. menunjukkan grafik hasil head efektif dari keempat debit air.

Persentase kehilangan *Head* ditentukan dengan

$$\%Losses = \frac{h_{friction}}{Head_{gross}} \times 100\%$$

$$\%Losses = \frac{0,72}{8,2} \times 100\%$$

$$\%Losses = 0,087 \times 100\%$$

$$\%Losses = 8,7\%$$

3. Menentukan *Surge Pressure*

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,1 \times 10^9 \times d}{E \times t}\right)}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,1 \times 10^9 \times 0,44}{200 \times 0,5}\right)}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{1 + \left(\frac{924000000}{0,1}\right)}}$$

$$a = \frac{1400}{\sqrt{9240000001}}$$

$$a = \frac{1400}{96124,9}$$

$$a = 0,014 \text{ m}$$

Menghitung nilai rugi pipa pesat dapat dilakukan dengan:

$$h_{surge} = \frac{a \times v}{g}$$

$$h_{surge} = \frac{0,014 \times 2,51}{9,8}$$

$$h_{surge} = 0,003 \text{ m}$$

4. Menghitung Rugi-Rugi Total Pipa

$$h_{total} = H_{gross} + h_{surge}$$

$$h_{total} = 8,2 + 0,003$$

$$h_{total} = 8,203 \text{ m}$$

5. Menentukan *Safety Factor*

$$SF = \frac{t \times s}{5 \times h_{total} \times 10^3 \times d}$$

$$SF = \frac{0,5 \times 350000000}{5 \times 8,203 \times 10^3 \times 0,44}$$

$$SF = \frac{175}{180,2}$$

$$SF = 1$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Perencanaan *Penstock* Pada Debit Ke IV

No	Uraian Perencanaan	Hasil
1	Bahan <i>Penstock</i>	<i>Mild Steel Galvanized</i>
2	Diameter <i>Penstock</i>	44 cm
3	Tebal <i>Penstock</i>	5 mm
4	Kecepatan Aliran Air Dalam <i>Penstock</i>	2,51 m/s
5	Rugi Pada Dinding <i>Penstock</i>	0,58 m
6	Rugi Pada Aliran Turbulensi	0,14 m
7	Rugi Gesekan	0,72 m
8	Rugi Total	8,203 meter
9	<i>Safety Factor</i>	1

4.3 Perhitungan Spesifikasi Turbin Air

1. Menghitung Daya Tersedia Turbin Pada Debit IV

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H_{net}$$

$$P_h = 1000 \times 9,8 \times 0,381 \times 7,48$$

$$P_h = 27928,824 \text{ Watt}$$

$$P_h = 27,92 \text{ kW}$$

2. Menghitung Daya Keluaran Turbin Pada Debit IV

$$P_t = \rho \times g \times Q \times H_n \times \eta$$

$$P_t = P_h \times 0,65$$

$$P_t = 18153,7356 \text{ Watt}$$

$$P_t = 18,15 \text{ kW}$$

3. Menghitung Kecepatan Putaran Turbin

$$N = 513,25 \frac{H_{net}^{0,745}}{\sqrt{P_t}}$$

$$N = 513,25 \frac{7,48^{0,745}}{\sqrt{18,15}}$$

$$N = 513,25 \times 1,05$$

$$N = 539 \text{ rpm}$$

Untuk menghitung kecepatan spesifik turbin dapat menggunakan Persamaan (15) sebagai berikut:

$$N_s = N \times \frac{P_t^{0,5}}{H_n^{1,25}}$$

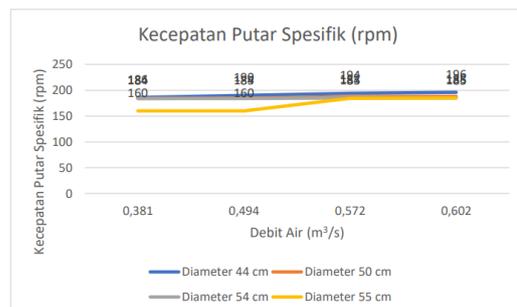
$$N_s = 539 \times \frac{18,15^{0,5}}{7,48^{1,25}}$$

$$N_s = 539 \times 0,34$$

$$N_s = 186 \text{ rpm}$$

Tabel 6. Kecepatan Putar Spesifik Turbin Keempat Debit

Debit (m <sup>3</sup> /s)	Kecepatan Spesifik (rpm) Diameter 55 cm	Kecepatan Spesifik (rpm) Diameter 54 cm	Kecepatan Spesifik (rpm) Diameter 50 cm	Kecepatan Spesifik (rpm) Diameter 44 cm
0,602	185	184	160	160
0,572	185	185	184	184
0,494	188	187	185	184
0,381	196	194	190	186



Gambar 5. Grafik Kecepatan Putar Spesifik

Diameter pipa pesat 44 cm memberikan kecepatan air spesifik yang stabil. Hal ini terjadi karena nilai *head* efektif pada masing masing debit berbeda. Semakin rendah nilai *head* efektif, maka turbin akan menghasilkan kecepatan yang rendah. Setelah mengetahui spesifikasi turbin dan menentukan jenis turbin yang akan dipakai, dilanjutkan dengan melakukan perhitungan karakteristik *runner* turbin.

#### 4.4 Karakteristik Turbin Air

1. Menghitung Diameter Luar *Runner* Turbin Pada Debit IV

$$D_0 = 40 \frac{\sqrt{H_{net}}}{N}$$

$$D_0 = 40 \frac{\sqrt{7,48}}{539}$$

$$D_0 = 40 \times 0,005$$

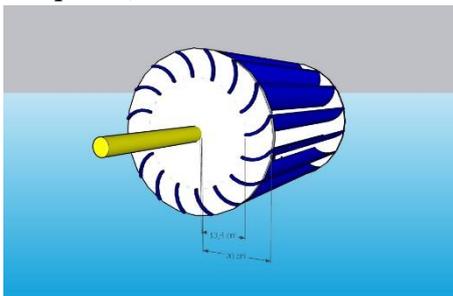
$$D_0 = 0,2 \text{ m atau } 20 \text{ cm}$$

2. Menghitung Diameter Dalam *Runner* Turbin Pada Debit IV

$$D_1 = \frac{2}{3} \times D_0$$

$$D_1 = \frac{2}{3} \times 20$$

$$D_1 = 13,4 \text{ cm}$$



Gambar 6. Desain Turbin dengan Diameter Luar 20 cm dan Diameter Dalam 13,4 cm

Gambar 6 menunjukkan bahwa ukuran diameter luar dan diameter dalam berturut-turut adalah sebesar 20 cm dan 13,4 cm. Ukuran diameter tersebut didapatkan dari perhitungan debit air dan *head* efektif pada aliran Sungai Yeh Dikis.

3. Menghitung Jarak Antar Sudu

Jarak antar sudu dapat ditentukan dengan menghitung sudut kecepatan air masuk dan ketebalan sudu. Besar sudut

kecepatan air masuk ( $\beta_1$ ) diperoleh dari kemiringan pipa pesat yaitu sebesar  $25^\circ$ , maka ketebalan sudu dapat dihitung melalui Persamaan (18) sebagai berikut:

$$s_1 = k \times D_0$$

$$s_1 = 0,087 \times 20$$

$$s_1 = 1,74 \text{ cm}$$

Maka jarak antar sudu dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (19) sebagai berikut:

$$t = \frac{s_1}{\sin \beta_1}$$

$$t = \frac{1,74}{\sin 25^\circ}$$

$$t = \frac{1,74}{0,42}$$

$$t = 4,14 \text{ cm}$$

4. Menghitung Lebar Sudu *Runner* Turbin Pada Debit IV

$$a = 0,17 \times D_0$$

$$a = 0,17 \times 20$$

$$a = 3,4 \text{ cm}$$

5. Menghitung Jumlah Sudu *Runner* Turbin Pada Debit IV

$$n = \frac{\pi \times D_0}{t}$$

$$n = \frac{3,14 \times 0,2}{0,42}$$

$$n = \frac{0,628}{0,42}$$

$$n = 15 \text{ sudu}$$

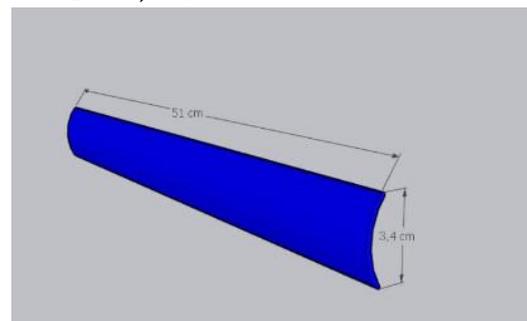
6. Menghitung Panjang Sudu *Runner* Turbin Pada Debit IV

$$L = \frac{Q \times N}{50 \times H_n}$$

$$L = \frac{0,381 \times 539}{50 \times 7,48}$$

$$L = \frac{205,359}{374}$$

$$L = 0,55 \text{ m}$$



Gambar 7. Desain Sudu Turbin *Crossflow*

Gambar 7 merupakan desain sudu turbin dengan ukuran lebar sebesar 3,4 cm dan panjang sebesar 55 cm.

7. Menghitung Jari-Jari Kelengkungan Sudu Runner Turbin Pada Debit IV

$$r_c = 0,163 \times D_0$$

$$r_c = 0,163 \times 20$$

$$r_c = 3,26 \text{ cm}$$

8. Menghitung Torsi Turbin Pada Debit IV

$$T = \frac{P_t}{2\pi \frac{N}{60}}$$

$$T = \frac{18153,7356 \text{ Watt}}{2 \times 3,14 \times \frac{539}{60}}$$

$$T = \frac{18153,7356}{6,28 \times 8,98}$$

$$T = \frac{18153,7356}{56,3944}$$

$$T = 321,81 \text{ Nm}$$

Tabel 7. Spesifikasi Turbin Crossflow

Spesifikasi Turbin Crossflow	
Daya Turbin	18,15 kW
Putaran Turbin	539 rpm
Kecepatan Putaran Spesifik	186 rpm
Head Net	7,48 m
Debit Aliran	0,381 m <sup>3</sup> /s
Effisiensi Turbin	65%
Posisi Poros	Horizontal
Sudut Serang	25°
Torsi Turbin	321,81 Nm

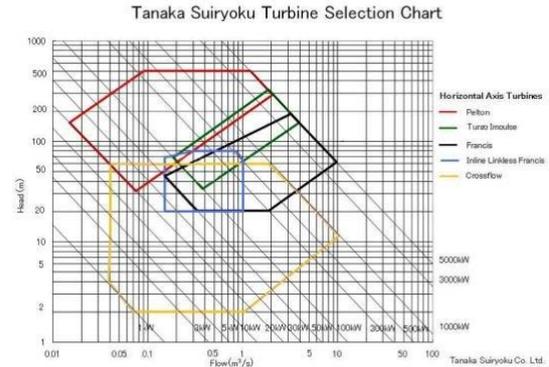
Tabel 8. Karakteristik Runner Turbin Crossflow

Karakterisasi Runner Turbin Crossflow	
Diameter Luar	20 cm
Diameter Dalam	13,4 cm
Jumlah Sudu	15 sudu
Jarak Antar Sudu	4,14 cm
Lebar Sudu	3,4 cm
Panjang Sudu	55 cm
Jari-Jari Kelengkungan Sudu	3,26 cm

4.3 Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dipengaruhi oleh tinggi jatuh air (*head* efektif), debit air serta potensi sungai yang dihasilkan. Data debit air yang terpakai adalah 0,381 m<sup>3</sup>/s sedangkan *head* efektif sebesar 7,48 meter. Berdasarkan data debit dan *head* efektif

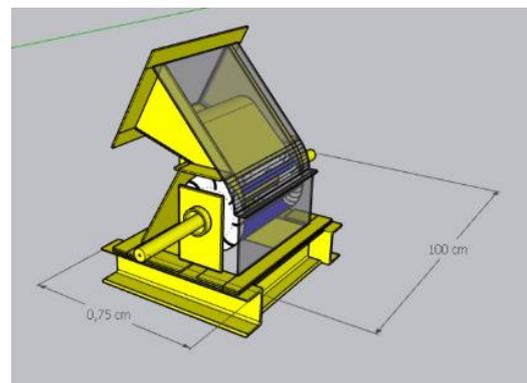
yang didapat, maka besar nilai *output* turbin sebesar 18,15 kW. Jenis turbin air dapat ditentukan melalui grafik efisiensi jenis turbin air seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Karakteristik Turbin Air [15]

Garis berwarna kuning pada grafik menjelaskan garis temu antara *head* efektif, debit air dan potensi yang terpakai. Berdasarkan Gambar 8, jenis turbin air yang akan digunakan pada PLTMH adalah Turbin Crossflow. Hasil perhitungan spesifikasi dengan diameter pipa pesat 44 cm debit air 0,381m<sup>3</sup>/s menunjukkan bahwa kecepatan spesifik turbin adalah stabil. Hal ini terjadi karena kecepatan spesifik turbin dipengaruhi oleh besarnya daya *output* turbin dan *head* efektif.

Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi 3D dari desain turbin yang telah ditentukan. Gambar 9 menunjukkan desain turbin *crossflow* secara keseluruhan. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa panjang turbin adalah 100 cm dan lebar turbin sebesar 0,75 cm.



Gambar 9. Desain Turbin Crossflow

## 5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan mengenai karakteristik turbin *crossflow* maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan diameter pipa pesat dengan pada debit air IV sebesar 44 cm. Dengan besar nilai kecepatan air bernilai 2,51 m/s. Daya yang dihasilkan turbin sebesar 18,15 kW dengan kecepatan putar spesifik turbin sebesar 186 rpm. sesuai dengan grafik pemilihan jenis turbin, maka dipilih jenis turbin *crossflow* untuk perencanaan PLTMH.
2. Hasil perhitungan spesifikasi dan karakteristik *runner* turbin *crossflow* dengan debit air 0,381 m<sup>3</sup>/s sebagai berikut : daya hidrolik turbin 27,92 kW, daya keluaran turbin 18,15 kW, kecepatan putar spesifik turbin 186 rpm dan torsi 321,81 Nm.
3. Hasil perhitungan pada debit ke IV sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa semakin kecil diameter pipa pesat maka kecepatan aliran air dalam pipa akan semakin tinggi. Jika kecepatan aliran air dalam pipa tinggi, maka kecepatan putaran spesifik turbin juga akan menjadi tinggi.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2008. Manual Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. IBEKA-JICA. Jakarta.
- [2] PERGUB BALI. 2019. Peraturan Gubernur Bali No. 45 Tahun 2019 Tentang Bali Energi Bersih. Denpasar.
- [3] Anonim. 2003. Pedoman Pengelolaan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTMH Leuwi Kiara, Kabupaten Tasikmalaya. Dinas Pertambangan dan Energi. Bandung.
- [4] Very, D., Dyah. I. K., dan Subuh. T. (2016). *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus : Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)*. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*. Universitas Lampung.
- [5] Saputra, I. W. B., Weking, A. I., & Jasa, L. (2017). *Rancang bangun pemodelan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh) menggunakan kincir overshoot wheel*. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 16(2), 48.
- [6] Suparyawan, D P D, I N S Kumara dan W G Ariastina. (2013). *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali*. *Teknologi Elektro*, 12(2).
- [7] Arismunandar, Wiranto. *Penggerak Mula Turbin*. ITB. Bandung: 2004.
- [8] Dietzel, Fritz. 1996. *Turbine, Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.
- [9] Mafrudin dan Dwi, I. (2014). *Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-flow Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Bumi Nabung Timur*. *Jurnal Program Teknik Mesin*, 9(2).
- [10] Layman's Guidebooks. *On How To Develop a Small Hydro Site*. *Journal Of Energy Saving*. Vol. 1, No. 4, pp 67-150. 1998.
- [11] Haimerl L. *The Crossflow Turbine*. *Water Power*, 1960, Volume 22, issue number 1, pp: 5-13.
- [12] Alo, K. dan Erfita, A. Z. *Analisa Teori : Performa Turbin Cross Flow Sudu Bambu 5 Sebagai Penggerak Mula Generator Induksi 3 fasa*, "Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III, 2015, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- [13] C152.2014.Ossbergerturbine. <http://www.ossberger.de/cms/en/hydro/the>. Diakses 13 Desember 2022.
- [14] Buyung, (2018). *Analisis Perbandingan Daya dan Torsi Pada Alat Pemotong Rumput Elektrik (Apre)(Jurnal)*. *Politeknik Katolik Saint Paul Sorong*.
- [15] F. Odi dan Warto. (2020). *Kajian Analisis Efisiensi Turbin dan Generator Simulator Pembangkit Listrik Piko Hidro di Laboratorium Konversi Energi*. *Suara Teknik Jurnal Ilmiah*, 11(1):38.