

BAB IV**PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN****4.1. Analisis Data**

Data Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru (PLTMH) Dusun Sumbergapung, Desa Andungbiru, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo:

A. Data Generator :

- *Type* : ADK, 164D26
- *Output* : 16 kW
- *Voltage* : 380 V
- *Arus* : 24,3 A
- *Frekuensi* : 50 Hz
- *Putaran* : 1500 Rpm
- *Nomor* : ADI1106120
- *Phase* : 3
- *Diameter pulley generator* : 12,7 cm

B. Data Turbin Air :

- *Tipe* : *Cross Flow*, C4 - 20
- *Diameter runner* : 20 cm
- *Panjang runner* : 30 cm
- *Diameter pulley turbin* : 35 cm

C. Data Adaptor :

- *Panjang* : 50 cm
- *Luasan sisi masuk nozzle* : 25 cm x 33 cm
- *Luasan sisi masuk pipa (Diameter)* : 33 cm

D. Data Pipa Pesat :

- *Panjang* : 175 m
- *Diameter* : 30 cm
- *Material* : PVC

E. *Head* Sistem :

- Tinggi *head* sistem (H_1) = 13,35 m
- Tinggi *head* sistem (H_2) = 13,55 m
- Tinggi *head* sistem (H_3) = 13,75 m

4.1.1. Data Hasil Pengujian

Terlampir

4.1.2. Contoh Perhitungan Data

Sebagai contoh perhitungan yang diambil dari data ketika kondisi PLTMH Andungbiru beroperasi :

Contoh perhitungan pada bukaan 80%, *head* sistem (H_2) = 13,55 m

A. Luasan Keluar Aliran Air dari Turbin

$$L = p \times l$$

$$L = 33 \text{ cm} \times 66 \text{ cm}$$

$$L = 2178 \text{ cm}^2 = 0.2178 \text{ m}^2$$

B. Luasan Pipa

$$D = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$r = 0,15 \text{ m}$$

$$L = \pi \times r^2$$

$$L = \frac{22}{7} \times 0,15^2 \text{ m}$$

$$L = 0,0707 \text{ m}^2$$

C. Luasan yang terbentuk pada *nozzle*

Lebar bagian atas = 51,36 mm

Lebar bagian bawah = 13,69 mm

Panjang = 281,70 mm

- Atas : $L_a = p \times l$
 $= 281,70 \text{ mm} \times 51,36 \text{ mm} = 0,0144 \text{ m}^2$
- Bawah : $L_b = p \times l$
 $= 281,70 \text{ mm} \times 13,69 \text{ mm} = 0,0038 \text{ m}^2$
- Total : $L_{total} = L_a + L_b$
 $= 0,0144 \text{ m}^2 + 0,0038 \text{ m}^2 = 0,0183 \text{ m}^2$

D. Kecepatan Aliran Air (v)

Kecepatan air pada tempat pengukuran

- Kiri : $v = (0,9 \text{ m/s} + 0,9 \text{ m/s} + 1 \text{ m/s}) / 3 = 0,933 \text{ m/s}$
- As : $v = (1,3 \text{ m/s} + 1,8 \text{ m/s} + 1,2 \text{ m/s}) / 3 = 1,433 \text{ m/s}$
- Kanan : $v = (1,5 \text{ m/s} + 1,6 \text{ m/s} + 1,2 \text{ m/s}) / 3 = 1,433 \text{ m/s}$
- V rata-rata = $(V \text{ kiri} + V \text{ as} + V \text{ kanan})/3$
 $= (0,933 \text{ m/s} + 1,433 \text{ m/s} + 1,433 \text{ m/s})/3$
 $= 1,2667 \text{ m/s}$

E. Debit air (Q)

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0,2178 \text{ m}^2 \times 1,2667 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,2758 \text{ m}^3/\text{s}$$

F. Kecepatan air pada pipa

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

$$V_2 = \frac{Q_1}{A_1}$$

$$V_2 = \frac{0,2758 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0707 \text{ m}^2}$$

$$V_p = V_2 = 3,9013 \text{ m/s}$$

G. Kecepatan pada nozzle

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

$$V_2 = \frac{Q_1}{A_1}$$

$$V_2 = \frac{0,2758 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0183 \text{ m}^2}$$

$$V_n = V_2 = 15,0505 \text{ m/s}$$

H. Daya generator (P)

- Jalur R : $P = V \times I \times \cos \varphi$
 $= 210 \text{ V} \times 9,5 \text{ A} \times 1 = 1995 \text{ Watt}$
- Jalur S : $P = V \times I \times \cos \varphi$
 $= 210 \text{ V} \times 9,5 \text{ A} \times 1 = 1995 \text{ Watt}$
- Jalur T : $P = V \times I \times \cos \varphi$
 $= 210 \text{ V} \times 9,5 \text{ A} \times 1 = 1995 \text{ Watt}$
- $P_{total} = P_R + P_S + P_T$
 $= 1995 \text{ Watt} + 1995 \text{ Watt} + 1995 \text{ Watt} = 5985 \text{ Watt}$

I. Bilangan *Reynolds*

Pada suhu 20° C kekentalan kinematis dapat diketahui melalui tabel viskositas dan kerapatan air pada lampiran 4, sehingga ν diketahui sebesar $1,005 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\begin{aligned} Re &= V \times D / \nu \\ &= (3,9013 \text{ m/s} \times 0,3 \text{ m}) / 1,005 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}. \\ &= 1164577 \end{aligned}$$

J. *Head Losses* karena gesekan air dengan dinding pipa.

Material pipa dengan $\epsilon = 0,0015 \text{ mm}$ dan $D_p = 300 \text{ mm}$

$$\frac{\epsilon}{D_p} = \frac{0,0015}{300} = 0,000005$$

Sedangkan nilai f dapat diketahui dengan dari diagram Moody pada lampiran 5, dimana menggunakan bilangan *Reynolds* (Re) dan dipotongkan dengan garis $\frac{\epsilon}{D_p}$ dan ditarik ke kiri sehingga dapat diketahui nilai $f = 0,0103$.

$$\begin{aligned} Hl_1 &= f \times \frac{L}{D_p} \times \frac{v^2}{2 \cdot g} \\ &= 0,0103 \times \left(\frac{175 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} \right) \times \left(\frac{(3,9013 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \right) \\ &= 4,6610 \text{ m} \end{aligned}$$

K. *Head Losses* karena adanya belokan dengan radius $r = 2 \text{ m}$, sehingga nilai k dapat diketahui melalui diagram pada lampiran 6.

$$\begin{aligned} Hl_2 &= k \times \frac{v^2}{2 \cdot g} \\ &= 0,1 \times \left(\frac{15,2204 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19,62 \text{ m/s}^2} \right) \\ &= 0,0776 \text{ m} \end{aligned}$$

L. Kecepatan teoritis

$$\begin{aligned} V_{teoritis} &= \sqrt{2 \times g \times (H_{sistem} - Hl_1 - Hl_2)} \\ &= \sqrt{2 \times 9,81 \frac{m}{s} \times (13,55 \text{ m} - 4,6610 \text{ m} - 0,0776 \text{ m})} \\ &= 13,1484 \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

M. Koefisien Kecepatan Aliran Air (C_v)

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Kecepatan (} C_v \text{)} &= \frac{V_n}{V_{teoritis}} \\ &= \frac{15,0505 \text{ m}^2/\text{s}}{13,1484 \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 1,14467 \end{aligned}$$

N. *Head Loss* karena *nozzle*, dapat dilihat melalui tabel pada lampiran 6.

$$\begin{aligned} Hl_3 &= \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \times \frac{v^2}{2 \cdot g} \\ &= -0,2368 \times \left(\frac{15,2481 \text{ m}^2/\text{s}^2}{18,36 \text{ m}/\text{s}^2} \right) \\ &= -0,1837 \text{ m} \end{aligned}$$

O. *Head Turbin*.

$$\begin{aligned} \text{Head turbin} &= \text{Head sistem} - (Hl_1 + Hl_2 + Hl_3) \\ &= 13,75 \text{ m} - 4,5549 \\ &= 8,9951 \text{ m} \end{aligned}$$

P. Water Horse Power (WHP)

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \gamma \times Q \times H \\ &= \rho \times g \times Q \times H \\ &= 998 \times 9,81 \times 0,27588 \text{ m}^3/\text{s} \times 8,9951 \text{ m} \\ &= 24295,5 \text{ Watt} \\ &= 24,2955 \text{ kWatt} \end{aligned}$$

Q. Brake Horse Power (BHP)

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{P_G}{(\eta_G \times \eta_{transmisi})} \\ &= 2985 \text{ Watt} / (0,8 \times 0,98) = 7633,9 \text{ Watt} = 7,6339 \text{ kWatt} \end{aligned}$$

R. Efisiensi Turbin

$$\begin{aligned}\eta_{\text{turbin}} &= \left(\frac{BHP}{WHP} \right) \times 100\% \\ &= (7,6339 \text{ kWatt} / 24,2955 \text{ kWatt}) \times 100 \% \\ &= 31,42 \%\end{aligned}$$

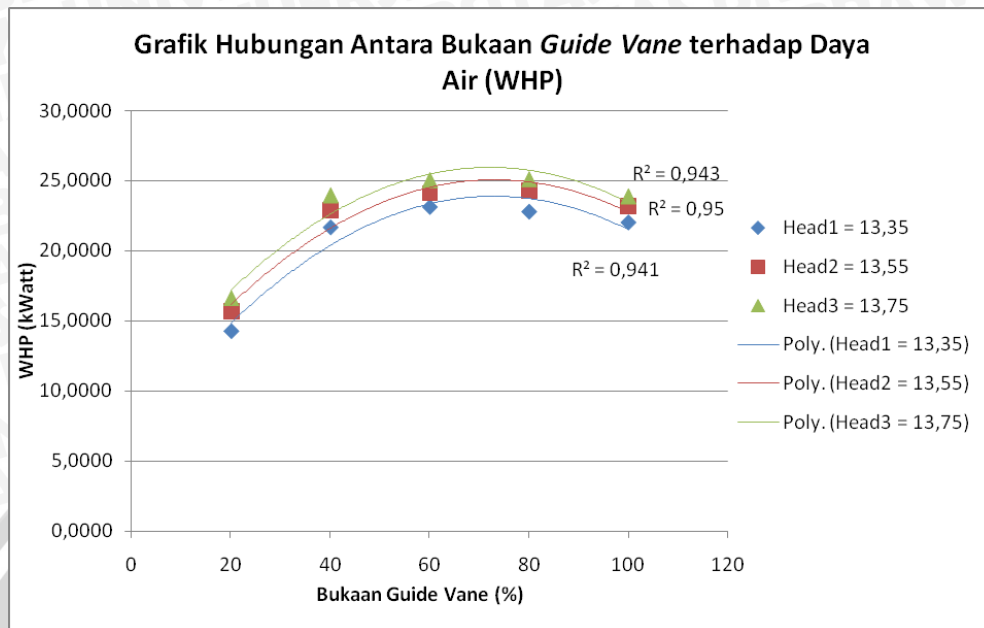
4.1.3. Data Hasil Perhitungan

Tabel 4.1. Data hasil perhitungan

Head sistem (m)	Bukaan GV (%)	Qair (m ³ /s)	Pg (Watt)	WHP (kWatt)	BHP (kWatt)	η Turbin (%)
Head ₁ = 13,25 m	20	0,1186	2100	14,2478	2,6786	18,80
	40	0,2105	3885	21,6527	4,9554	22,89
	60	0,2493	5040	23,1088	6,4286	27,82
	80	0,2614	5565	22,7718	7,0982	31,17
	100	0,2783	5355	22,0054	6,8304	31,04
Head ₂ = 13,55 m	20	0,1283	2520	15,6476	3,2143	20,54
	40	0,2202	4410	22,8853	5,6250	24,58
	60	0,2565	5460	24,1075	6,9643	28,89
	80	0,2759	5985	24,2955	7,6339	31,42
	100	0,2880	5523	23,1752	7,0446	30,40
Head ₃ = 13,75 m	20	0,1355	2730	16,6504	3,4821	20,91
	40	0,2323	4620	23,9520	5,8929	24,60
	60	0,2662	5733	25,0284	7,3125	29,22
	80	0,2880	6090	25,0957	7,7679	30,95
	100	0,2977	5670	23,8757	7,2321	30,29

4.2. Pembahasan Grafik

4.2.1. Grafik Hubungan antara Bukaannya *Guide Vane* terhadap Daya Air (WHP)



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Bukaannya *Guide Vane* terhadap Daya Air (WHP)

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pada bukannya *guide vane* yang sama, grafik *head* sistem yang tinggi memiliki WHP yang lebih besar dari pada grafik *head* sistem yang rendah. Hal ini dikarenakan WHP berbanding lurus dengan *head* turbin (H). *Head* turbin merupakan *head* sistem setelah dikurangi oleh *head losses* yang terjadi. Sehingga semakin tinggi *head* sistem, maka debit (Q) yang mengalir semakin besar. Seperti pada rumus dibawah apabila dilihat pada γ yang tetap maka kenaikan pada H dan Q akan menyebabkan kenaikan pada WHP.

$$\text{WHP} = \gamma \times Q \times H$$

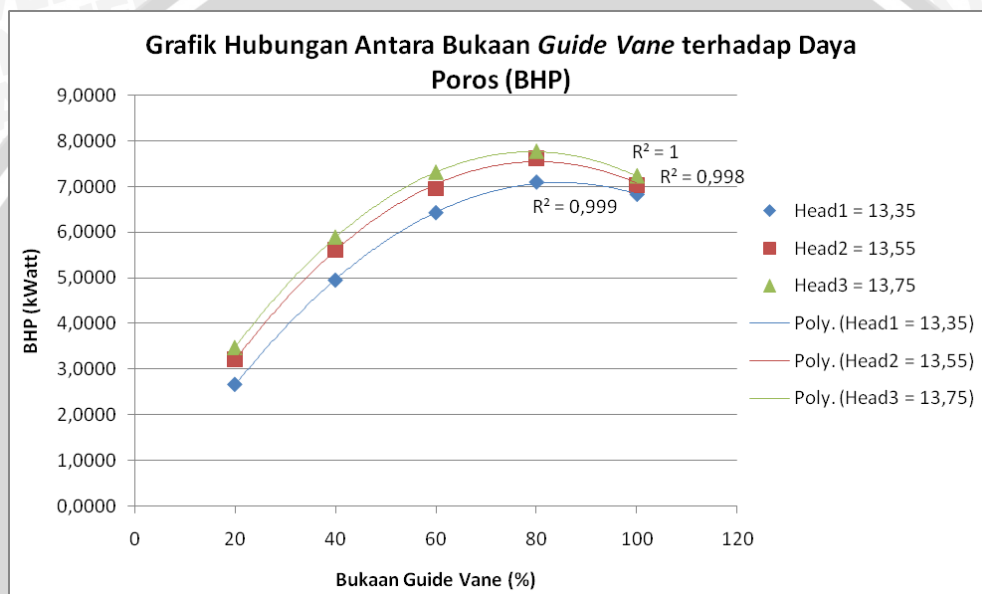
$$Q = A \times V$$

$$V = \sqrt{2 \times g \times H}$$

Untuk semua variasi *head* tampak bahwa, semakin besar bukannya *guide vane* maka daya air yang dihasilkan akan naik sampai bukannya 80% dan kemudian turun. WHP meningkat dari bukannya *guide vane* 20% - 80%, hal ini disebabkan karena semakin besar bukannya *guide vane* maka luasan *nozzle* yang terbentuk pada turbin semakin besar sehingga debit air (Q) yang mengalir semakin besar. Karena semakin besar debit yang mengalir dengan penampang pipa yang tetap, maka akan mengakibatkan kecepatan air yang meningkat, kecepatan air yang tinggi menyebabkan *head losses* yang besar yang nantinya akan mengurangi *head* sistem untuk mendapatkan *head* turbin. WHP

berbanding lurus dengan debit air (Q) serta *head* turbin (H), apabila pertambahan debit lebih besar dari *head losses* yang terjadi akan menyebabkan WHP yang semakin meningkat. Sedangkan penurunan terjadi mulai dari bukaan *guide vane* 80% sampai 100%, hal ini disebabkan. Pertambahan debit (Q) lebih kecil dari pada *head losses* yang terjadi, sehingga menyebabkan *head* turbin berkurang meskipun terjadi kenaikan debit dan akan menyebabkan WHP turun, karena WHP berbanding lurus dengan *head* turbin dan debit seperti pada rumus diatas.

4.2.2. Grafik Hubungan antara Bukaan *Guide Vane* terhadap Daya Poros (BHP)



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Bukaan *Guide Vane* terhadap Daya Poros (BHP)

Dari gambar 4.2 diketahui bahwa untuk semua variasi *head*, dengan meningkatnya bukaan *guide vane*, dari 20%-80% menyebabkan daya poros turbin juga semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin besar bukaan *guide vane* maka debit yang dihasilkan akan semakin besar. Debit yang besar dengan kecepatan yang aliran yang besar dan menyebabkan *head losses* yang nantinya mengurangi *head* sistem untuk mendapatkan *head* turbin. Pada hal ini pertambahan debit lebih besar dari pada *head losses* yang terjadi sehingga menyebabkan BHP semakin meningkat karena BHP berbanding lurus dengan debit (Q) dan *head*. Sedangkan pada bukaan 80%-100% (terbuka penuh) terjadi penurunan yang disebabkan semakin besar debit yang mengalir menyebabkan *head losses* yang semakin besar, dan perbandingan kenaikan debit lebih

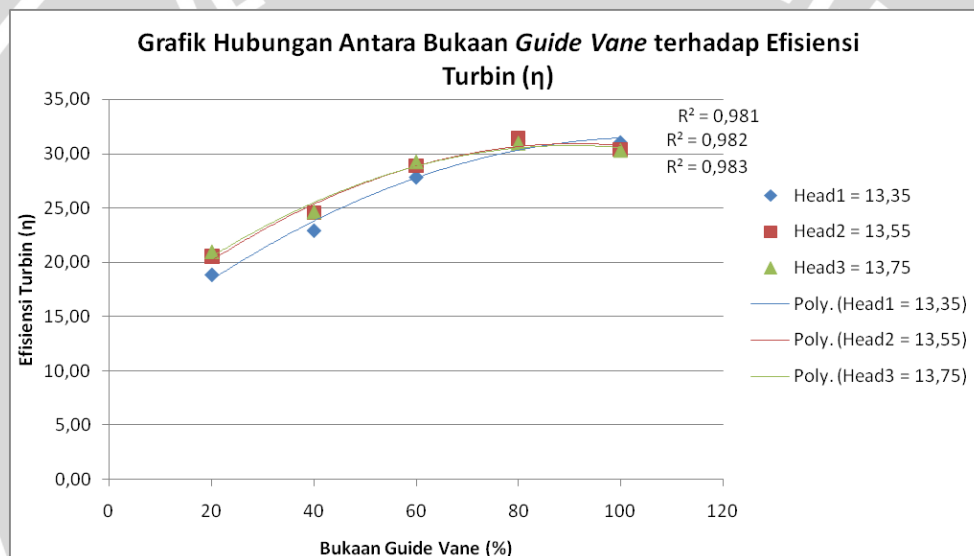
kecil dari *head losses* yang terbentuk sehingga menyebabkan daya yang dihasilkan generator berkurang. Sesuai dengan rumus berikut:

$$P_t = \frac{P_G}{\eta_G \times \eta_{transmisi}} \text{ (kW)} \quad \text{atau} \quad P_G = \eta_G \times BHP_{Turbin} \times \eta_{transmisi}$$

$$= \eta_G \times \eta_t \times H \times Q \times \gamma \times \eta_{transmisi}$$

Pada bukaan *guide vane* yang sama dengan *head* sistem yang berbeda dapat diketahui bahwa BHP yang dihasilkan oleh *head* sistem yang tinggi lebih besar dari pada *head* sistem yang rendah. Berdasarkan rumusan diatas daya yang dihasilkan generator berbanding lurus dengan *head*, garis *head* sistem yang tinggi diatas garis *head* sistem yang rendah.

4.2.3. Grafik Hubungan antara Bukaan *Guide Vane* terhadap Efisiensi Turbin



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Bukaan *Guide Vane* terhadap Efisiensi Turbin

Dari gambar diatas dapat ketahui bahwa semakin besar bukaan *guide vane*, maka efisiensi turbin akan semakin meningkat. Efisiensi turbin merupakan perbandingan antara BHP dengan WHP. Untuk mendapatkan BHP dapat diketahui dengan rumus:

$$BHP = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T$$

Namun karena daya yang dihasilkan generator akan sebanding dengan daya yang dihasilkan turbin, maka BHP juga dapat dirumuskan :

$$BHP = \frac{P_G}{\eta_G \times \eta_{transmisi}}$$

Daya yang dihasilkan generator dapat diketahui arus listrik dengan tegangan listrik yang dapat dilihat pada panel kontrol, serta dikalikan dengan $\cos \phi$ agar

didapatkan daya aktif dengan satuan Watt. Dengan $\cos \phi$ dan tegangan yang tetap maka daya yang dihasilkan generator sangat dipengaruhi oleh arus listrik seperti pada rumus dibawah ini.

$$P_G = V \times I \times \cos \phi$$

Sedangkan untuk nilai WHP dapat diperoleh dari rumus :

$$WHP = \gamma \cdot Q \cdot H$$

Nilai WHP dipengaruhi oleh debit air (Q) dan *head* (H), peningkatan nilai Q akan diikuti juga oleh penurunan *head* turbin sehingga WHP menurun. Namun demikian perkalian antar keduanya menghasilkan nilai efisiensi yang relatif semakin naik dengan semakin besarnya bukaan *guide vane* sampai dengan bukaan 80% dan kemudian tetap atau bahkan cenderung turun. Sehingga besar kecilnya efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh BHP dan WHP.

Pada *head* sistem yang berbeda, *head* sistem 13,55 m dan 13,75 m memiliki kecenderungan efisiensi yang sama sedangkan untuk *head* sistem 13,35 berada dibawah pada saat bukaan *guide vane* rendah, hal ini dikarena WHP yang cenderung terlalu besar sehingga efisiensinya sedikit dibawah garis yang lain.

Secara keseluruhan efisiensi dari turbin ini didapatkan efisiensi akan naik sampai dengan bukaan *guide vane* sebesar 80% dan selanjutnya cenderung tetap dan sedikit mengalami penurunan.

