

LAMPIRAN I
DATA PENGAMATAN

Data Aktual Simulasi Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) turbin Pelton dengan pengujian selama 60 menit, sebagai berikut:

1. Pengaruh Bukaannya Katup nosel yang Menuju Turbin

Tabel 10. Data pengamatan simulasi prototipe PLTMH Turbin Pelton dengan pengaruh bukannya katup nosel secara aktual

Arah Aliran	Bukaan Katup Nosel (%)	Laju Aliran air (Gal/min)	Jumlah Putaran Rot/min (rpm)	V (Volt)	I (A)
Overshoot Horizontal	20	2	0	0	0
	40	4,1	515,4	175	0,07
	60	4,2	536,5	180	0,07
	80	4,3	563,5	190	0,07
	100	4,5	573,9	210	0,07
Overshoot Vertikal	20	2	0	0	0
	40	4,1	502,1	173	0,07
	60	4,25	519,7	180	0,07
	80	4,4	544,1	189	0,07
	100	4,5	562,2	208	0,07
Undershoot	20	2	0	0	0
	40	4,1	508,2	175	0,07
	60	4,2	513,7	178	0,07
	80	4,3	520,5	184	0,07
	100	4,5	542,5	200	0,07

2. Pengaruh Perubahan Laju Aliran Air Pada Rotameter

Tabel 11. Data pengamatan simulasi prototipe PLTMH Turbin Pelton dengan variasi Laju Aliran Air pada rotameter secara aktual

Laju Aliran air (Gal/min)	Arah Aliran	Jumlah Putaran (Rot/min)	Tekanan		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
			Psi	Bar		
4,5	Overshoot Horizontal	573,9	32	2,2	210	0,07
4		475,7	33	2,3	188	0,07
3,5		311,3	34	2,35	175	0,07
3		207,6	35	2,4	0	
4,5	Overshoot Vertikal	562,2	32	2,2	208	0,07
4		437,6	33	2,3	185	0,07
3,5		253,1	34	2,35	175	0,07
3		183,6	35	2,4	0	0
4,5	Undershoot	542,5	28	2	200	0,07
4		401,3	32	2,2	180	0,07
3,5		318,5	34	2,35	175	0,07
3		231,3	34	2,35	0	0

LAMPIRAN II PERHITUNGAN

A Dasar perhitungan analisa desain alat prototipe PLTMH Turbin Pelton

1. Menghitung unjuk kerja pompa

1.1. Menghitung daya air dari pompa (Ph)

$$P_h = \rho \times Q \times g \times H \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

Dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 1000,00 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 29 \text{ L/min} \quad (\text{Berdasarkan spesifikasi pompa air Panasonic})$$

$$= 29 \text{ L/min} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right| \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right| = 0,00048 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 27 \text{ m} \quad (\text{Berdasarkan spesifikasi pompa merk Panasonic})$$

maka, daya air yang dihasilkan pompa adalah

$$\begin{aligned} P_h &= 1000,00 \text{ kg/m}^3 \times 0,00048 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 27 \text{ m} \\ &= 128,02 \text{ Watt} \end{aligned}$$

1.2. Menghitung Efisiensi Pompa

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_{mk}} \times 100\% \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

dimana :

$$P_{mk} = 200,00 \text{ Watt}$$

$$P_h = 128,02 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi pompa yang digunakan

$$\eta_p = \frac{128,0 \text{ Watt}}{200 \text{ Watt}} \times 100\% = 64,01 \%$$

2. Perhitungan unjuk kerja turbin

2.1. Menghitung Jarak antara Sudu Turbin Pelton dengan jumlah 16 Buah

$$l = \frac{\pi d}{z} \quad (\text{Dandekar \& Sharma, 1991})$$

dimana:

$$z = 16$$

$$D = \text{diameter turbin} = 20,00 \text{ cm}$$

Maka,

$$l = \frac{3,14 \times 20,00 \text{ cm}}{16}$$
$$= 3,93 \text{ cm}$$

2.2. Menghitung daya yang dihasilkan turbin Pelton

2.2.1. Menghitung kecepatan aliran yang melewati nosel

$$Q = \frac{A_1 \times v_1}{v_2} = A_2 \times v_2 \quad (\text{Dakso Sriyono Fritz, 1993})$$

$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

dimana:

$$Q = 0,00048 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = \text{diamenter nosel} = 0,25 \text{ inch} \left| \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ icnh}} \right. = 0,00635 \text{ m}$$

maka

$$v = \frac{0,0005 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,0064 \text{ m})^2}$$
$$= 15,27 \text{ m/s}$$

2.2.2. Menghitung kecepatan keliling turbin

$$U = \frac{1}{2} \times V \cos \alpha \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

dimana :

$$V = 15,27 \text{ m/s} ,$$

$$\alpha = 0^\circ \quad (\text{sudut aksial nosel terhadap sudu turbin})$$

maka nilai kecepatan keliling turbin

$$U = \frac{15,27 \text{ m/s}}{2} \times \cos 0^\circ$$

$$U = 7,63 \text{ m/s}$$

2.2.3. Menghitung jumlah puratan turbin

$$n = \frac{60 \times U}{\pi d} \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

dimana :

$$U = 7,63 \text{ m/s}$$

$$d = \text{diameter luar turbin} = 20 \text{ cm}$$

maka, jumlah putaran turbin

$$n = \frac{60 \times 7,63 \text{ m/s}}{3,14 \times 0,20 \text{ m}} = 729,44 \text{ rot/min}$$

2.2.4. Menghitung gaya tangensial pada turbin pelton

dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 1000,00 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,00048 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 15,27 \text{ m/s}$$

$$U = 7,63 \text{ m/s}$$

$$k = 0,8 \quad (\text{faktor gesek permukaan sudu})$$

$$\beta_2 = 165^\circ \quad (\text{sudut pancaran air keluar sudu})$$

maka,

$$\begin{aligned} F &= \rho_{\text{air}} \times Q \times (V - U)(1 - \cos\beta) && (\text{Kjartan Furnes, 2013}) \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,000483 \text{ m}^3/\text{s} \times (15,27 \text{ m/s} - 7,63 \text{ m/s}) \\ &\quad \times (1 - \cos 165^\circ) \\ &= 7,25 \text{ N} \end{aligned}$$

2.2.5. Mengitung Energi Mekanik turbin

$$P_{\text{mk}} = F \times U \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

Dimana,

$$F = 7,25 \text{ N}$$

$$U = 7,63 \text{ m/s}$$

maka, energi mekanik turbin yang dihasilkan

$$P_{\text{mk}} = 7,25 \text{ N} \times 7,63 \text{ m/s}$$

$$P_{\text{mk}} = 55,39 \text{ Watt}$$

2.3. Menghitung Efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{P_{mk}}{P_h} \times 100\% \quad (\text{Dandekar \& Sharma, 1991})$$

dimana :

$$P_{mk} = 55,39 \text{ Watt}$$

$$P_h = 128 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{55,39 \text{ Watt}}{128 \text{ Watt}} \times 100\% = 43,26 \%$$

3. Perhitungan Unjuk Kerja Generator

3.1. Menghitung Efisiensi generator

$$\eta_g = \frac{P_{mk}}{P_h} \times 100\% \quad (\text{Dandekar \& Sharma, 1991})$$

dimana :

$$P_{mk} = 55,39 \text{ Watt}$$

$$P_g = 12 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_g = \frac{12,00 \text{ Watt}}{55,39 \text{ Watt}} \times 100\% = 21,67 \%$$

4. Perhitungan unjuk kerja PLTMH turbin Pelton

4.1. Menghitung efisiensi keseluruhan pembangkit

$$\eta_{total} = \eta_p \times \eta_t \times \eta_g$$

dimana

$$\eta_p = 64,01 \%$$

$$\eta_t = 43,26 \%$$

$$\eta_g = 21,67 \%$$

maka, efisiensi keseluruhan PLTMH turbin Pelton adalah

$$\begin{aligned} \eta_{total} &= 64,01 \% \times 43,26 \% \times 21,67 \% \\ &= 6,00 \% \end{aligned}$$

B. Analisa Pengaruh Besar Bukaannya Katup Nosel Secara Desain

1. Menghitung unjuk kerja pompa

1.1. Menghitung daya air dari pompa (Ph)

$$P_h = \rho \times Q \times g \times H \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

Dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 1000,00 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 29 \text{ L/min} \quad (\text{Berdasarkan spesifikasi pompa air Panasonic})$$

karena bukaan katup 80 % maka

$$Q = 29,00 \text{ L/min} \times 80 \%$$

$$Q = 23,20 \text{ L/min} \quad \left| \begin{array}{c|c} 1,00 \text{ m}^3 & 1 \text{ m} \\ \hline 1000,00 & 60 \text{ s} \\ \text{L} & \end{array} \right| = 0,000387 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 27 \text{ m} \quad (\text{Berdasarkan spesifikasi pompa merk Panasonic})$$

maka, daya air yang dihasilkan pompa adalah

$$P_h = 1000,00 \text{ kg/m}^3 \times 0,00039 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 27 \text{ m}$$

$$= 102,42 \text{ Watt}$$

1.2. Menghitung Efisiensi Pompa

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_{mk}} \times 100\% \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

dimana :

$$P_{mk} = 200,00 \text{ Watt}$$

$$P_h = 102,42 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi pompa yang digunakan

$$\eta_p = \frac{102,4 \text{ Watt}}{200 \text{ Watt}} \times 100\% = 51,21 \%$$

2. Perhitungan unjuk kerja turbin

2.2. Menghitung daya yang dihasilkan turbin Pelton

2.2.1. Menghitung kecepatan aliran yang melewati nosel

$$Q = v_1 \times A_1 = A_2 \times v_2 \quad (\text{Dakso Sriyono Fritz, 1993})$$

$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

dimana:

$$Q = 0,00039 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = \text{diamenter nosel} = 0,25 \text{ inch} \left| \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ icnh}} \right. = 0,00635 \text{ m}$$

maka

$$v = \frac{0,0004 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,0064 \text{ m})^2}$$
$$= 12,22 \text{ m/s}$$

2.2.2. Menghitung kecepatan keliling turbin

$$U = 1/2 \times V \cos \alpha \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

dimana :

$$V = 12,22 \text{ m/s} \quad ,$$

$$\alpha = 0^\circ \quad (\text{sudut aksial nosel terhadap sudu turbin})$$

maka nilai kecepatan keliling turbin

$$U = \frac{12,22 \text{ m/s}}{2} \times \cos 0^\circ$$

$$U = 6,11 \text{ m/s}$$

2.2.3. Menghitung jumlah putaran turbin

$$n = \frac{60 \times U}{\pi d} \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

dimana :

$$U = 6,11 \text{ m/s}$$

$$d = \text{diameter luar turbin} = 20 \text{ cm}$$

maka, jumlah putaran turbin

$$n = \frac{60 \times 6,11 \text{ m/s}}{3,14 \times 0,20 \text{ m}} = 583,55 \text{ rot/min}$$

2.2.4. Menghitung gaya tangensial pada turbin pelton

dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 1000,00 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,00039 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 12,22 \text{ m/s}$$

$$U = 6,11 \text{ m/s}$$

$$k = 0,8 \quad (\text{faktor gesek permukaan sudu})$$

$$\beta_2 = 165^\circ \quad (\text{sudut pancaran air keluar sudu})$$

maka,

$$\begin{aligned} F &= \rho_{\text{air}} \times Q \times (V - U)(1 - \cos\beta) && (\text{Kjartan Furnes, 2013}) \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,000387 \text{ m}^3/\text{s} \times (12,22 \text{ m/s} - 6,11 \text{ m/s}) \\ &\quad \times (1 - \cos 165^\circ) \\ &= 4,64 \text{ N} \end{aligned}$$

2.2.5. Mengitung Energi Mekanik turbin

$$P_{\text{mk}} = F \times U \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

Dimana,

$$F = 4,64 \text{ N}$$

$$U = 6,11 \text{ m/s}$$

maka, energi mekanik turbin yang dihasilkan

$$P_{\text{mk}} = 4,64 \text{ N} \times 6,11 \text{ m/s}$$

$$P_{\text{mk}} = 28,36 \text{ Watt}$$

2.3. Menghitung Efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{P_{\text{mk}}}{P_h} \times 100\% \quad (\text{Dandekar \& Sharma, 1991})$$

dimana :

$$P_{\text{mk}} = 28,36 \text{ Watt}$$

$$P_h = 102 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{28,36 \text{ Watt}}{102 \text{ Watt}} \times 100\% = 27,69\%$$

3. Perhitungan Unjuk Kerja Generator

3.1. Menghitung Efisiensi generator

$$\eta_g = \frac{P_{mk}}{P_h} \times 100\% \quad (\text{Dandekar \& Sharma, 1991})$$

dimana :

$$P_{mk} = 28,36 \text{ Watt}$$

$$P_g = 12 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_g = \frac{12,00 \text{ Watt}}{28,36 \text{ Watt}} \times 100\% = 42,32 \%$$

4. Perhitungan unjuk kerja PLTMH turbin Pelton

4.1. Menghitung efisiensi keseluruhan pembangkit

$$\eta_{total} = \eta_p \times \eta_t \times \eta_g$$

dimana

$$\eta_p = 51,21 \%$$

$$\eta_t = 27,69 \%$$

$$\eta_g = 42,32 \%$$

maka, efisiensi keseluruhan PLTMH turbin Pelton adalah

$$\begin{aligned} \eta_{total} &= 51,21 \% \times 27,69 \% \times 42,32 \% \\ &= 6,00 \% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, daya untuk bukaan katup 100%, 60%, 40% dan 20% dapat dilihat pada tabel 12

Tabel 12. Daya yang Dihasilkan oleh PLTMH Turbin Pelton dengan Pengaruh Bukaan katup nosel secara desain

Bukaan Katup (%)	Laju Alir (L/min)	Laju Alir (G/min)	Efisiensi Pompa (%)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi Generator (%)	Efisiensi Pembangkit (%)
20	5,80	1,28	12,80	1,73	-	-
40	11,60	2,55	25,60	6,92	-	-

60	17,40	3,83	38,41	15,58	-	-
80	23,20	5,10	51,21	27,69	42,32	6,00
100	29,00	6,38	64,01	43,26	21,67	6,00

B. Pengaruh Besar Buka-an Katup Nosel Secara Desain

1. Menghitung unjuk kerja pompa

1.1. Menghitung daya air dari pompa (Ph)

$$P_h = \rho \times Q \times g \times H \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

Dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 1000,00 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 4,50 \text{ G/min}$$

Q	=	4,50 G/min	4,55	1,00 m ³	1 m
			L/min		
Q	=	4,50 G/min	1,0	1000,00 L	60 s
			G/min		

$$= 0,000341 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 27 \text{ m} \quad (\text{Berdasarkan spesifikasi pompa merk Panasonic})$$

maka, daya air yang dihasilkan pompa adalah

$$P_h = 1000,00 \text{ kg/m}^3 \times 0,0003 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 27 \text{ m}$$

$$= 90,31 \text{ Watt}$$

1.2. Menghitung Efisiensi Pompa

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_{mk}} \times 100\% \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

dimana :

$$P_{mk} = 200,00 \text{ Watt}$$

$$P_h = 90,31 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi pompa yang digunakan

$$\eta_p = \frac{90,31 \text{ Watt}}{200 \text{ Watt}} \times 100\% = 45,15 \%$$

2. Perhitungan unjuk kerja turbin

2.2. Menghitung daya yang dihasilkan turbin Pelton

2.2.1. Menghitung kecepatan aliran yang melewati nosel

$$Q = v_1 \times A_1 = A_2 \times v_2 \quad (\text{Dakso Sriyono Fritz, 1993})$$

$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

dimana:

$$Q = 0,00034 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = \text{diamenter nosel} = 0,25 \text{ inch} \left| \frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ inch}} \right| = 0,00635 \text{ m}$$

maka

$$\begin{aligned} v &= \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,0064 \text{ m})^2} \\ &= 10,77 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2.2.2. Menghitung kecepatan keliling turbin

$$U = \frac{1}{2} \times V \cos \alpha \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

dimana :

$$V = 10,77 \text{ m/s} ,$$

$$\alpha = 0^\circ \quad (\text{sudut aksial nosel terhadap sudu turbin})$$

maka nilai kecepatan keliling turbin

$$U = \frac{10,77 \text{ m/s}}{2} \times \cos 0^\circ$$

$$U = 5,39 \text{ m/s}$$

2.2.3. Menghitung jumlah puratan turbin

$$n = \frac{60 \times U}{\pi d} \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

dimana :

$$U = 5,39 \text{ m/s}$$

$$d = \text{diameter luar turbin} = 20 \text{ cm}$$

maka, jumlah putaran turbin

$$n = \frac{60 \times 5,39 \text{ m/s}}{3,14 \times 0,20 \text{ m}} = 514,57 \text{ rot/min}$$

2.2.4. Menghitung gaya tangensial pada turbin pelton

dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 1000,00 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,00034 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 10,77 \text{ m/s}$$

$$U = 5,39 \text{ m/s}$$

$$\beta_2 = 165^\circ \quad (\text{sudut pancaran air keluar sudu})$$

maka,

$$\begin{aligned} F &= \rho_{\text{air}} \times Q \times (V - U)(1 - \cos\beta) && \text{(Kjartan Furnes, 2013)} \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,000341 \text{ m}^3/\text{s} \times (10,77 \text{ m/s} - 5,39 \text{ m/s}) \\ &\quad \times (1 - \cos 165^\circ) \\ &= 3,61 \text{ N} \end{aligned}$$

2.2.5. Mengitung Energi Mekanik turbin

$$P_{\text{mk}} = F \times U \quad \text{(Kjartan Furnes, 2013)}$$

Dimana,

$$F = 3,61 \text{ N}$$

$$U = 5,39 \text{ m/s}$$

maka, energi mekanik turbin yang dihasilkan

$$P_{\text{mk}} = 3,61 \text{ N} \times 5,39 \text{ m/s}$$

$$P_{\text{mk}} = 19,44 \text{ Watt}$$

2.3. Menghitung Efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{P_{\text{mk}}}{P_h} \times 100\% \quad \text{(Dandekar \& Sharma, 1991)}$$

dimana :

$$P_{mk} = 19,44 \text{ Watt}$$

$$P_h = 90 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{19,44 \text{ Watt}}{90 \text{ Watt}} \times 100\% = 21,53 \%$$

3. Perhitungan Unjuk Kerja Generator

3.4. Menghitung Efisiensi generator

$$\eta_g = \frac{P_{mk}}{P_h} \times 100\% \quad (\text{Dandekar \& Sharma, 1991})$$

dimana :

$$P_{mk} = 19,44 \text{ Watt}$$

$$P_g = 12 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_g = \frac{12,00 \text{ Watt}}{19,44 \text{ Watt}} \times 100\% = 61,72 \%$$

4. Perhitungan unjuk kerja PLTMH turbin Pelton

4.1. Menghitung efisiensi keseluruhan pembangkit

$$\eta_{total} = \eta_p \times \eta_t \times \eta_g$$

dimana

$$\eta_p = 45,15 \%$$

$$\eta_t = 21,53 \%$$

$$\eta_g = 61,72 \%$$

maka, efisiensi keseluruhan PLTMH turbin Pelton adalah

$$\begin{aligned} \eta_{total} &= 45,15 \% \times 21,53 \% \times 61,72 \% \\ &= 6,00 \% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, daya untuk Laju Alir Air pada rotameter, 4 G/min, 3,5 G/min dan 3 G/min dapat dilihat pada tabel 13

Tabel 13. Daya yang Dihasilkan oleh PLTMH Turbin Pelton dengan Pengaruh Laju Alir Air Rotameter secara desain

Laju Alir (L/min)	Laju Alir (G/min)	Efisiensi Pompa (%)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi Generator (%)	Efisiensi Pembangkit (%)
11,60	3,00	30,10	9,57	-	-
17,40	3,50	35,12	13,02	-	-
23,20	4,00	40,14	17,01	87,88	6,00
20,46	4,50	45,15	21,53	61,72	6,00

D. Analisa Pengaruh Besar Bukaannya Katup Nosel Secara Aktual

1. Menghitung unjuk kerja pompa

1.1

menghitung kecepatan aliran yang melewati nosel

$$Q = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad (\text{Dakso Sriyono Fritz, 1993})$$

$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

dimana

:

$$Q = 4,50 \text{ G/min}$$

$$Q = 4,50 \text{ G/min} \quad \left| \begin{array}{c|c|c} 4,55 & & \\ \hline \text{L/min} & 1,00 \text{ m}^3 & 1 \text{ m} \\ \hline 1,0 & 1000,00 & \\ \hline \text{G/min} & \text{L} & 60 \text{ s} \end{array} \right.$$

$$= 0,000341 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = \text{diamenter nosel} = 0,25 \text{ inch} \quad \left| \begin{array}{c|c} 0,0254 & \\ \hline \text{m} & \\ \hline 1 \text{ inch} & \end{array} \right. = 0,00635 \text{ m}$$

maka

$$v = \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,0064 \text{ m})^2} = 10,77 \text{ m/s}$$

1.2. Menghitung *Head* aliran

$$v = kv \sqrt{2gH} \quad (\text{V/kv})$$

$$H = \frac{v^2}{2g}$$

dimana :

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$V = 10,77 \text{ m/s}$$

$$kv = \text{konstanta kecepatan} = 0,98$$

maka, besar *Head* yang ditimbulkan aliran

$$H = \frac{(10,77 \text{ m/s}^2 / 0,98)^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H = 6,16 \text{ m}$$

1.3. Menghitung daya air dari pompa (Ph)

(Ing A. Nouwern, 1981)

$$P_h = \rho \times Q \times g \times H$$

Dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 992,23 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 0,000341 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 6 \text{ m}$$

maka, daya air yang dihasilkan pompa adalah

$$P_h = 992,23 \text{ kg/m}^3 \times 0,000341 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m} = 20,46 \text{ Watt}$$

1.4. Menghitung Efisiensi Pompa

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_{mk}} \times 100\% \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

dimana :

$$P_{mk} = 200,00 \text{ Watt}$$

$$P_h = 20,46 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi pompa yang digunakan

$$\eta_p = \frac{20,46 \text{ Watt}}{200 \text{ Watt}} \times 100\% = 10,23 \%$$

2. Perhitungan unjuk kerja turbin

2.2. Menghitung daya yang dihasilkan turbin Pelton

2.2.1 menghitung kecepatan keliling turbin

$$n = \frac{60 \times U}{\pi d}$$

$$U = \frac{\pi \times d \times n}{60}$$

60

dimana :

$$n = 573,90 \text{ rpm}$$
$$d = \frac{\text{diameter luar turbin}}{100} = \frac{20 \text{ cm}}{100} = 0,20 \text{ m}$$

maka,

$$U = \frac{3,14 \times 0,20 \text{ m} \times 573,90 \text{ rpm}}{60} = 6,01 \text{ m/s}$$

2.2.2. Menghitung gaya tangensial pada turbin pelton

dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 992,23 \text{ kg/m}^3$$
$$Q = 0,00034 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$v = 10,77 \text{ m/s}$$
$$U = 6,01 \text{ m/s}$$
$$\beta_2 = 165^\circ \quad (\text{sudut pancaran air keluar sudu})$$

maka,

$$F = \rho_{\text{air}} \times Q \times (V - U)(1 - \cos\beta) \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$
$$= 992 \text{ kg/m}^3 \times 0,000341 \text{ m}^3/\text{s} \times (10,77 \text{ m/s} - 6,01 \text{ m/s}) \times (1 - \cos 165^\circ)$$
$$= 3,17 \text{ N}$$

2.2.3. Mengitung Energi Mekanik turbin

$$P_{\text{mk}} = F \times U \quad (\text{Kjartan Furnes, 2013})$$

Dimana,

$$F = 3,17 \text{ N}$$
$$U = 6,01 \text{ m/s}$$

maka, energi mekanik turbin yang dihasilkan

$$P_{mk} = 3,17 \text{ N} \times 6,01 \text{ m/s}$$

$$P_{mk} = 19,04 \text{ Watt}$$

2.3. Menghitung Efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{P_{mk}}{P_h} \times 100\% \quad (\text{Dandekar \& Sharma, 1991})$$

dimana :

$$P_{mk} = 19,04 \text{ Watt}$$

$$P_h = 20 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{19,04 \text{ Watt}}{20 \text{ Watt}} \times 100\% = 93,05 \%$$

3. Perhitungan Unjuk Kerja Generator

3.1. Menghitung Efisiensi generator

$$\eta_g = \frac{P_{mk}}{P_h} \times 100\% \quad (\text{Dandekar \& Sharma, 1991})$$

dimana :

$$P_{mk} = 19,04 \text{ Watt}$$

$$P_g = 15 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_g = \frac{14,70 \text{ Watt}}{19,04 \text{ Watt}} \times 100\% = 77,22 \%$$

4. Perhitungan unjuk kerja PLTMH turbin Pelton

4.1. Menghitung efisiensi keseluruhan pembangkit

$$\eta_{total} = \eta_p \times \eta_t \times \eta_g$$

dimana

$$\eta_p = 10,23 \%$$

$$\eta_t = 93,05 \%$$

$$\eta_g = 77,22 \%$$

maka, efisiensi keseluruhan PLTMH turbin Pelton adalah

$$\begin{aligned}\eta_{total} &= 10,23 \% \times 93,05 \% \times 77,22 \% \\ &= 7,35 \%\end{aligned}$$

E. Analisa Pengaruh Besar Laju Aliran Air pada Rotameter

1. Menghitung unjuk kerja pompa

1.1

menghitung kecepatan aliran yang melewati nosel

$$Q = v_1 \times A_1 = v_2 \times A_2 \quad (\text{Dakso Sriyono Fritz, 1993})$$

$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

dimana

:

$$Q = 4,50 \text{ G/min}$$

$$Q = 4,50 \text{ G/min} \quad \left| \begin{array}{c|c|c} 4,55 & & \\ \hline \text{L/min} & 1,00 \text{ m}^3 & 1 \text{ m} \\ \hline 1,0 & 1000,00 & \\ \hline \text{G/min} & \text{L} & 60 \text{ s} \end{array} \right.$$

$$= 0,000341 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = \text{diamenter nosel} = 0,25 \text{ inch} \quad \left| \begin{array}{c|c} 0,0254 & \\ \hline \text{m} & \\ \hline 1 \text{ inch} & \end{array} \right. = 0,00635 \text{ m}$$

maka

$$v = \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,0064 \text{ m})^2} = 10,77 \text{ m/s}$$

1.2. Menghitung *Head* aliran

$$v = kv \sqrt{2gH}$$

$$H = \frac{(V/kv)^2}{2g}$$

dimana :

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$V = 10,77 \text{ m/s}$$

$$kv = \text{konstanta kecepatan} = 0,98$$

maka, besar *Head* yang ditimbulkan aliran

$$H = \frac{(10,77 \text{ m/s} / 0,98)^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 6,16 \text{ m}$$

1.3. Menghitung daya air dari pompa (Ph)

$$P_h = \rho \times Q \times g \times H \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

Dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 992,23 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 0,000341 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 6 \text{ m}$$

maka, daya air yang dihasilkan pompa adalah

$$\begin{aligned} P_h &= 992,23 \text{ kg/m}^3 \times 0,000341 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m} \\ &= 20,46 \text{ Watt} \end{aligned}$$

1.4. Menghitung Efisiensi Pompa

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_{mk}} \times 100\% \quad (\text{Ing A. Nouwern, 1981})$$

dimana :

$$P_{mk} = 200,00 \text{ Watt}$$

$$P_h = 20,46 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi pompa yang digunakan

$$\eta_p = \frac{20,46 \text{ Watt}}{200 \text{ Watt}} \times 100\% = 10,23 \%$$

2. Perhitungan unjuk kerja turbin

Menghitung daya yang dihasilkan turbin

2.2. Pelton

2.2.1 menghitung kecepatan keliling turbin

$$n = \frac{60 \times U}{\pi d}$$

$$U = \frac{\pi \times d \times n}{60}$$

dimana :

$$n = 573,90 \text{ rpm}$$

$$d = \frac{\text{diameter luar turbin}}{100} = \frac{20}{100} = 0,20 \text{ m}$$

maka,

$$U = \frac{3,14 \times 0,20 \text{ m} \times 573,90 \text{ rpm}}{60} = 6,01 \text{ m/s}$$

2.2.2. Menghitung gaya tangensial pada turbin pelton

dimana :

$$\rho_{\text{air}} = 992,23 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,00034 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 10,77 \text{ m/s}$$

$$U = 6,01 \text{ m/s}$$

$$\beta_2 = 165^\circ \quad (\text{sudut pancaran air keluar sudu})$$

maka,

$$\begin{aligned} F &= \rho_{\text{air}} \times Q \times (v - U)(1 - \cos\beta) && \text{(Kjartan Furnes, 2013)} \\ &= 992 \text{ kg/m}^3 \times 0,000341 \text{ m}^3/\text{s} \times (10,77 \text{ m/s} - 6,01 \text{ m/s}) \\ &\quad \times (1 - \cos 165^\circ) \\ &= 3,17 \text{ N} \end{aligned}$$

2.2.3. Mengitung Energi Mekanik turbin

$$P_{\text{mk}} = F \times U \quad \text{(Kjartan Furnes, 2013)}$$

Dimana,

$$F = 3,17 \text{ N}$$

$$U = 6,01 \text{ m/s}$$

maka, energi mekanik turbin yang dihasilkan

$$P_{\text{mk}} = 3,17 \text{ N} \times 6,01 \text{ m/s}$$

$$P_{\text{mk}} = 19,04 \text{ Watt}$$

2.3. Menghitung Efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{P_{\text{mk}}}{P_{\text{hidro}}} \times 100\%$$

$$P_h$$

(Dandekar & Sharma,
1991)

dimana :

$$P_{mk} = 19,04 \text{ Watt}$$

$$P_h = 20 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{19,04 \text{ Watt}}{20 \text{ Watt}} \times 100\% = 93,05 \%$$

3. Perhitungan Unjuk Kerja Generator

3.4. Menghitung Efisiensi generator

$$\eta_g = \frac{P_{mk}}{P_h} \times 100\%$$

(Dandekar & Sharma,
1991)

dimana :

$$P_{mk} = 19,04 \text{ Watt}$$

$$P_g = 15 \text{ Watt}$$

maka, efisiensi turbin

$$\eta_g = \frac{14,70 \text{ Watt}}{19,04 \text{ Watt}} \times 100\% = 77,22 \%$$

4. Perhitungan unjuk kerja PLTMH turbin Pelton

4.1. Menghitung efisiensi keseluruhan pembangkit

$$\eta_{total} = \frac{\eta_p \times \eta_t \times \eta_g}{\eta_g}$$

dimana

$$\eta_p = 10,23 \%$$

$$\eta_t = 93,05 \%$$

$$\eta_g = 77,22 \%$$

maka, efisiensi keseluruhan PLTMH turbin Pelton adalah

$$\begin{aligned} \eta_{total} &= 10,23 \% \times 93,05 \% \times 77,22 \% \\ &= 7,35 \% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, daya untuk Laju Alir Air pada rotameter, 4 G/min, 3,5 G/min dan 3 G/min dapat dilihat pada tabel 15

Tabel 15. Daya yang Dihasilkan oleh PLTMH Turbin Pelton dengan Pengaruh Besar Laju Aliran Air pada Rotameter

Arah Aliran	Laju Alir (G/min)	Efisiensi Pompa (%)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi Generator (%)	Efisiensi Pembangkit (%)
Overshoot Horizontal	3,00	3,08	79,61	-	-
	3,50	4,81	89,65	-	-
	4,00	7,18	94,16	97,28	6,58
	4,50	10,23	93,05	77,22	7,35
Overshoot Vertikal	3,00	3,08	73,93	-	-
	3,50	4,81	81,56	-	-
	4,00	7,18	94,13	90,58	6,13
	4,50	10,23	94,23	75,53	7,28
Undershoot	3,00	3,08	84,30	-	-
	3,50	4,81	90,38	-	-
	4,00	7,18	92,89	94,41	6,30
	4,50	10,23	94,03	72,78	7,00

LAMPIRAN III
GAMBAR



Gambar 13. Alat Simulasi PLTMH Turbin Pelton



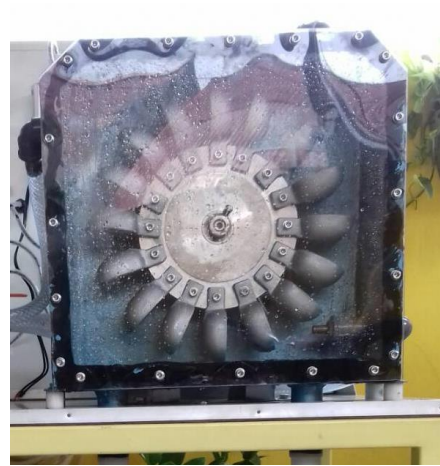
(a)



(b)



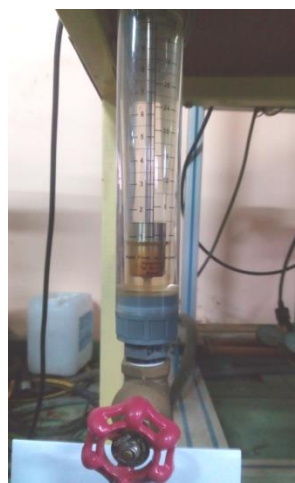
(c)



(d)



(e)



(f)

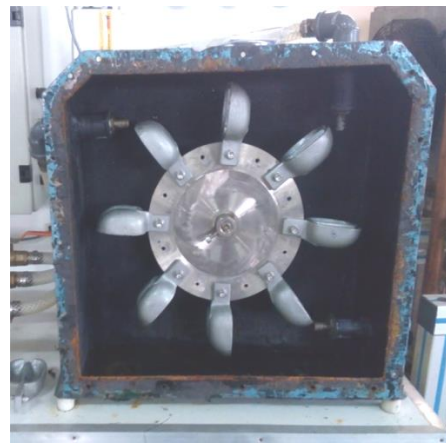


(g)

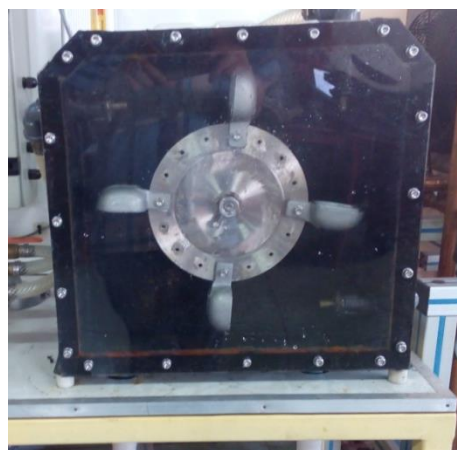
Gambar 14. Komponen Pada Simulasi PLTMH Turbin Pelton (a) Tangki Penampung, (b) Pompa Sentrifugal, (c) Generator, (d) Turbin Pelton, (e) Inverter 300 Watt, (f) Flowmeter



(a)



(b)



(c)

Gambar 15. Penggunaan Variasi Jumlah Sudu Pelton (a) 16 buah, (b) 8 buah, (c) 4 buah