

LAMPIRAN I
DATA PENELITIAN

Dari hasil penelitian Simulasi *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang diambil pada tanggal 20 Juni – 21 Juni 2017 di Laboratorium Energi Prodi Teknik Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Data-data tersebut terdiri dari bukaan *valve*, debit air (Liter/menit), putaran kincir, tegangan dan arus listrik yang dihasilkan. Waktu operasi yang digunakan selama penelitian adalah 60 menit.

Tabel 4. Data Penelitian dengan Jumlah Sudu 12

Bukaan Valve (%)	Debit Air (Liter/menit)	Putaran Kincir (rpm)	Tegangan Listrik (Volt)	Arus Listrik (Ampere)
20	1,6	0	0	0
40	14,4	0	0	0
60	25,3	214	150	0,6
80	30,2	297	155	0,6
100	31,8	315	160	0,6

Tabel 5. Data Penelitian dengan Jumlah Sudu 15

Bukaan Valve (%)	Debit Air (Liter/menit)	Putaran Kincir (rpm)	Tegangan Listrik (Volt)	Arus Listrik (Ampere)
20	1,6	0	0	0
40	14,5	0	0	0
60	25,3	222	160	0,6
80	30,2	305	165	0,6
100	31,8	322	170	0,6

Tabel 6. Data Penelitian dengan Jumlah Sudu 18

Bukaan Valve (%)	Debit Air (Liter/menit)	Putaran Kincir (rpm)	Tegangan Listrik (Volt)	Arus Listrik (Ampere)
20	1,6	0	0	0
40	14,5	60	0	0
60	25,4	228	180	0,7
80	30,3	312	190	0,7
100	31,9	337	200	0,7

LAMPIRAN II PERHITUNGAN

A. Perhitungan Aktual

1. Perhitungan Energi Listrik yang Dihasilkan untuk Jumlah Sudu 12

Perhitungan energi listrik yang dihasilkan untuk setiap bukaan *valve* secara aktual adalah sebagai berikut:

- a. Bukaan *Valve* 20%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 0$ volt

$$I = 0 \text{ ampere}$$

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 0 \times 0$$

$$= 0 \text{ watt}$$

- b. Bukaan *Valve* 40%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 0$ volt

$$I = 0 \text{ ampere}$$

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 0 \times 0$$

$$= 0 \text{ watt}$$

- c. Bukaan *Valve* 60%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 150$ volt

$$I = 0,6 \text{ ampere}$$

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 150 \text{ v} \times 0,6 \text{ A}$$

$$= 90 \text{ watt}$$

- d. Bukaannya *Valve* 80%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 155$ volt

$$I = 0,6 \text{ ampere}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \\ &= 155 \text{ v} \times 0,6 \text{ A} \\ &= 93 \text{ watt} \end{aligned}$$

- e. Bukaannya *Valve* 100%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 160$ volt

$$I = 0,6 \text{ ampere}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \\ &= 160 \text{ v} \times 0,6 \text{ A} \\ &= 96 \text{ watt} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Energi Listrik untuk Jumlah Sudu 15

Perhitungan energi listrik yang dihasilkan untuk setiap bukaan *valve* secara aktual adalah sebagai berikut:

- a. Bukaannya *Valve* 20%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 0$ volt

$$I = 0 \text{ ampere}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \\ &= 0 \times 0 \\ &= 0 \text{ watt} \end{aligned}$$

- b. Bukaannya *Valve* 40%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 0$ volt

$I = 0$ ampere

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 0 \times 0$$

$$= 0 \text{ watt}$$

c. Bukaan *Valve* 60%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 160$ volt

$I = 0,6$ ampere

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 150 \text{ v} \times 0,6 \text{ A}$$

$$= 96 \text{ watt}$$

d. Bukaan *Valve* 80%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 165$ volt

$I = 0,6$ ampere

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 155 \text{ v} \times 0,6 \text{ A}$$

$$= 99 \text{ watt}$$

e. Bukaan *Valve* 100%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 170$ volt

$I = 0,6$ ampere

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 170 \text{ v} \times 0,6 \text{ A}$$

$$= 102 \text{ watt}$$

3. Perhitungan Energi Listrik untuk Jumlah Sudu 18

Perhitungan energi listrik yang dihasilkan untuk setiap bukaan *valve* secara aktual adalah sebagai berikut:

- a. Bukaan *Valve* 20%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 0$ volt

$$I = 0 \text{ ampere}$$

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 0 \times 0$$

$$= 0 \text{ watt}$$

- b. Bukaan *Valve* 40%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 0$ volt

$$I = 0 \text{ ampere}$$

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 0 \times 0$$

$$= 0 \text{ watt}$$

- c. Bukaan *Valve* 60%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 180$ volt

$$I = 0,7 \text{ ampere}$$

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 180 \text{ v} \times 0,7 \text{ A}$$

$$= 126 \text{ watt}$$

- d. Bukaan *Valve* 80%

$$P = V \cdot I$$

Dimana:

$$V = 190 \text{ volt}$$

$$I = 0,7 \text{ ampere}$$

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 190 \text{ v} \times 0,7 \text{ A}$$

$$= 133 \text{ watt}$$

e. Bukaan *Valve* 100%

$$P = V \cdot I$$

Dimana: $V = 200 \text{ volt}$

$$I = 0,7 \text{ ampere}$$

Maka,

$$P = V \cdot I$$

$$= 200 \text{ v} \times 0,7 \text{ A}$$

$$= 140 \text{ watt}$$

B Perhitungan Desain

1. Menghitung *Head Effective* dari Aliran Air dengan Daya 300 Watt

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

Dimana :

$$P = 300 \text{ Watt}$$

$$\rho_{\text{air}} = 995,70 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Q = 36 \text{ L/min}$$

$$= 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

maka, nilai *Head Effective* adalah

$$\begin{aligned} H &= \frac{P}{\rho \times g \times Q} \\ &= \frac{300 \text{ Watt}}{995,70 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}} \\ &= 51,19 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Perencanaan *Nozzle*

2.1 Menghitung Kecepatan Aliran Air Setelah Melewati *Nozzle*

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

dimana :

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H = 51,19 \text{ m}$$

$$K_v = \text{Koefisien Kecepatan Nozzle} = 0,98$$

maka, kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* adalah

$$\begin{aligned} v &= K_v \sqrt{2gH} \\ &= 0,98 \times \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 51,19 \text{ m}} \\ &= 0,98 \times \sqrt{1004,32} \\ &= 31,06 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2.2. Menghitung Diameter *Nozzle*

$$\begin{aligned} d_n &= \sqrt{\frac{Q}{\frac{1}{4} \pi v}} \\ &= \sqrt{\frac{0,0006 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times 31,06 \text{ m/s}}} \\ &= 0,005 \text{ m} \\ &= 5 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Perencanaan Kincir Sudu Rata

3.1 Kincir Sudu Rata dengan Jumlah 18 Sudu

3.1.1 Menghitung Jarak Antar Sudu

$$l = \frac{\pi D_{in}}{n_{sd}}$$

dimana:

$$n_{sd} = 18$$

$$D_{in} = 16 \text{ inch}$$

$$= 40,64 \text{ cm}$$

maka, jarak antar sudu untuk jumlah 18 sudu adalah

$$l = \frac{3,14 \times 40,64 \text{ cm}}{18}$$

$$= 7,09 \text{ cm}$$

3.1.2 Menghitung Daya yang Dihasilkan dengan Bukaannya 100 %

3.1.2.1 Menghitung Kecepatan Aliran Air Setelah Melewati Nozzle

$$v = \frac{100\% Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

dimana:

$$Q = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = 0,006 \text{ m}$$

maka, kecepatan aliran air setelah melewati nozzle adalah

$$v = \frac{100\% Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

$$= \frac{100\% \times 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,006 \text{ m})^2}$$

$$= 25,27 \text{ m/s}$$

3.1.2.2 Menghitung Kecepatan Tangensial Kincir

$$U = \frac{v \cos \alpha}{2}$$

dimana:

$$v = 25,27 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 8^\circ$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{25,27 \text{ m/s} \times \cos 8^\circ}{2} \\
 &= 12,51 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

3.1.2.3 Menghitung Jumlah Putaran Kincir

$$n = \frac{60 U}{\pi D_{out}}$$

dimana:

$$U = 12,51 \text{ m/s}$$

$$D_{out} = 54 \text{ cm}$$

$$= 0,54 \text{ m}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{60 U}{\pi D_{out}} \\
 &= \frac{60 \text{ s/min} \times 12,51 \text{ m/s}}{3,14 \times 0,54 \text{ m}} \\
 &= 442,70 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

3.1.2.4 Menghitung Gaya pada Kincir

$$F = \rho Q v$$

dimana:

$$\rho = 995,7 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 25,27 \text{ m/s}$$

maka,

$$\begin{aligned}
 F &= \rho Q v \\
 &= 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 0,0006 \text{ m}^3/\text{s} \times 25,27 \text{ m/s} \\
 &= 15,10 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3.1.2.5 Menghitung Daya Mekanik Kincir

$$P_{mk} = F \times U$$

Dimana:

$$F = 15,10 \text{ N}$$

$$u = 12,51 \text{ m/s}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P_{mk} &= 15,10 \text{ N} \times 12,51 \text{ m/s} \\ &= 188,85 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3.1.2.6 Menghitung Daya yang Dihasilkan Generator

$$P_{generator} = P_{mk} \times \eta_g$$

Asumsi efisiensi generator yang digunakan adalah 80%

$$P_{mk} = 188,85 \text{ Watt}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P_{generator} &= P_{mk} \times \eta_g \\ &= 188,85 \text{ Watt} \times 80\% \\ &= 151,08 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, daya untuk bukaan katup 20%, 40%, 60% dan 80% dapat dilihat pada tabel 7

Tabel 7. Daya yang Dihasilkan oleh Kincir Sudu Rata 18 Sudu dengan Pengaruh Bukaan Nozzle

Bukaan Katup (%)	Daya (Watt)
20	10,21
40	78,56
60	130,65
80	138,89
100	151,08

3.2 Kincir Sudu Rata dengan Jumlah 15 Sudu

3.2.1 Menghitung Jarak Antar Sudu

$$l = \frac{\pi D_{in}}{n_{sd}}$$

dimana:

$$n_{sd} = 15$$

$$\begin{aligned} D_{in} &= 16 \text{ inch} \\ &= 40,64 \text{ cm} \end{aligned}$$

maka, jarak antar sudu untuk jumlah 15 sudu adalah

$$\begin{aligned} l &= \frac{3,14 \times 40,64 \text{ cm}}{15} \\ &= 8,51 \text{ cm} \end{aligned}$$

3.2.2 Menghitung Daya yang Dihasilkan dengan Bukaannya 100 %

3.2.2.1 Menghitung Kecepatan Aliran Air Setelah Melewati *Nozzle*

$$v = \frac{100\% Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

dimana:

$$Q = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = 0,006 \text{ m}$$

maka, kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* adalah

$$\begin{aligned} v &= \frac{100\% Q}{\frac{1}{4} \pi d^2} \\ &= \frac{100\% \times 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,006 \text{ m})^2} \\ &= 25,27 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3.2.2.2 Menghitung Kecepatan Tangensial Kincir

$$U = \frac{v \cos \alpha}{2}$$

dimana:

$$v = 25,27 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 8^\circ$$

Maka,

$$\begin{aligned} U &= \frac{25,27 \text{ m/s} \times \cos 8^\circ}{2} \\ &= 12,51 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3.2.2.3 Menghitung Jumlah Putaran Kincir

$$n = \frac{60 U}{\pi D_{out}}$$

dimana:

$$U = 12,51 \text{ m/s}$$

$$D_{out} = 54 \text{ cm}$$

$$= 0,54 \text{ m}$$

Maka,

$$n = \frac{60 U}{\pi D_{out}}$$

$$= \frac{60 \text{ s/min} \times 12,51 \text{ m/s}}{3,14 \times 0,54 \text{ m}}$$

$$= 442,70 \text{ rpm}$$

3.2.2.4 Menghitung Gaya pada Kincir

$$F = \rho Q v$$

dimana:

$$\rho = 995,7 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 25,27 \text{ m/s}$$

maka,

$$F = \rho Q v$$

$$= 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 0,0006 \text{ m}^3/\text{s} \times 25,27 \text{ m/s}$$

$$= 15,10 \text{ N}$$

3.2.2.5 Menghitung Daya Mekanik Kincir

$$P_{mk} = F \times U$$

Dimana:

$$F = 15,10 \text{ N}$$

$$u = 12,51 \text{ m/s}$$

Maka,

$$P_{mk} = 15,10 \text{ N} \times 12,51 \text{ m/s}$$

$$= 188,85 \text{ Watt}$$

3.2.2.6 Menghitung Daya yang Dihasilkan Generator

$$P_{generator} = P_{mk} \times \eta_g$$

Asumsi efisiensi generator yang digunakan adalah 80%

$$P_{mk} = 188,85 \text{ Watt}$$

Maka,

$$P_{generator} = P_{mk} \times \eta_g$$

$$= 188,85 \text{ Watt} \times 80\%$$

$$= 151,08 \text{ watt}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, daya untuk bukaan katup 20%, 40%, 60% dan 80% dapat dilihat pada tabel 8

Tabel 8. Daya yang Dihasilkan oleh Kincir Sudu Rata 15 Sudu dengan Pengaruh Bukaannya *Nozzle*

Bukaan Katup (%)	Daya (Watt)
20	10,21
40	78,56
60	130,65
80	138,89
100	151,08

3.3 Kincir Sudu Rata dengan Jumlah 12 Sudu

3.3.1 Menghitung Jarak Antar Sudu

$$l = \frac{\pi D_{in}}{n_{sd}}$$

dimana:

$$n_{sd} = 12$$

$$D_{in} = 16 \text{ inch}$$

$$= 40,64 \text{ cm}$$

maka, jarak antar sudu untuk jumlah 15 sudu adalah

$$l = \frac{3,14 \times 40,64 \text{ cm}}{12}$$

$$= 10,63 \text{ cm}$$

3.3.2 Menghitung Daya yang Dihasilkan dengan Bukaannya Katup 100 %

3.3.2.1 Menghitung Kecepatan Aliran Air Setelah Melewati *Nozzle*

$$v = \frac{100\% Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

dimana:

$$Q = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = 0,006 \text{ m}$$

maka, kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* adalah

$$v = \frac{100\% Q}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

$$= \frac{100\% \times 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 3,14 \times (0,006 \text{ m})^2}$$

$$= 25,27 \text{ m/s}$$

3.3.2.2 Menghitung Kecepatan Tangensial Kincir

$$U = \frac{v \cos \alpha}{2}$$

dimana:

$$v = 25,27 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 8^\circ$$

Maka,

$$\begin{aligned} U &= \frac{25,27 \text{ m/s} \times \cos 8^\circ}{2} \\ &= 12,51 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3.3.2.3 Menghitung Jumlah Putaran Kincir

$$n = \frac{60 U}{\pi D_{out}}$$

dimana:

$$U = 12,51 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} D_{out} &= 54 \text{ cm} \\ &= 0,54 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} n &= \frac{60 U}{\pi D_{out}} \\ &= \frac{60 \text{ s/min} \times 12,51 \text{ m/s}}{3,14 \times 0,54 \text{ m}} \\ &= 442,70 \text{ rpm} \end{aligned}$$

3.3.2.4 Menghitung Gaya pada Kincir

$$F = \rho Q v$$

dimana:

$$\rho = 995,7 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 25,27 \text{ m/s}$$

maka,

$$\begin{aligned} F &= \rho Q v \\ &= 995,7 \text{ kg/m}^3 \times 0,0006 \text{ m}^3/\text{s} \times 25,27 \text{ m/s} \\ &= 15,10 \text{ N} \end{aligned}$$

3.3.2.5 Menghitung Daya Mekanik Kincir

$$P_{mk} = F \times U$$

Dimana:

$$F = 15,10 \text{ N}$$

$$u = 12,51 \text{ m/s}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P_{mk} &= 15,10 \text{ N} \times 12,51 \text{ m/s} \\ &= 188,85 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3.3.2.6 Menghitung Daya yang Dihasilkan Generator

$$P_{generator} = P_{mk} \times \eta_g$$

Asumsi efisiensi generator yang digunakan adalah 80%

$$P_{mk} = 188,85 \text{ Watt}$$

Maka,

$$\begin{aligned} P_{generator} &= P_{mk} \times \eta_g \\ &= 188,85 \text{ Watt} \times 80\% \\ &= 151,08 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, daya untuk bukaan katup 20%, 40%, 60% dan 80% dapat dilihat pada tabel 9

Tabel 9. Daya yang Dihasilkan oleh Kincir Sudu Rata 12 Sudu dengan Pengaruh Bukaan *Nozzle*

Bukaan Katup (%)	Daya (Watt)
20	10,21
40	78,56
60	130,65
80	138,89
100	151,08

LAMPIRAN III
GAMBAR ALAT



Gambar 29. Keseluruhan Simulasi *Prototype* PLTMH



Gambar 30. Tangki Air



Gambar 31. Rangkaian Pompa Seri dan Paralel (Pompa Sentrifugal)



Gambar 32. *Jet Pump*



(a)



(b)

Gambar 33. Kincir Sudu Plat Datar dengan (a) jumlah sudu 12, (b) jumlah sudu 15



(a)



(b)

Gambar 34. (a) Kincir Sudu Plat Datar dengan jumlah sudu 18, (b) Kincir Sudu Mangkok dengan jumlah sudu 12



Gambar 35. *Pulley Generator*



Gambar 36. Inverter



Gambar 37. Panel Pengukur RPM, Arus, dan Tegangan Listrik Digital