

PENGARUH VARIASI SUDUT BUKAAN GUIDE VANE TERHADAP KINERJA PROTOTYPE PLTMH DENGAN TURBIN KAPLAN

I Nyoman Sudiatmika¹, I Wayan Arta Wijaya², I Made Suartika²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung-Bali

Email : mansoediatmika13@gmail.com¹, artawijaya@ee.unud.ac.id²,
madesuartika@unud.ac.id³

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan listrik di wilayah Indonesia semakin bertambah seiring dengan pertumbuhan penduduk. Disusul dengan menipisnya bahan bakar yang bersumber dari energi fosil. Berdasarkan kondisi geografis, Indonesia memiliki banyak sungai sehingga memiliki potensi menciptakan listrik dengan memanfaatkan aliran air yang disebut dengan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro). Dalam merealisasikan PLTMH tersebut dapat menggunakan jenis turbin Kaplan, dimana jenis tersebut bekerja pada keadaan debit yang besar dengan ketinggian minim atau rendah. Tujuan penelitian ini menganalisa performa *prototype guide vane* turbin berjenis Kaplan pada variasi sudut 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90° untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia. Setelah diteliti berdasarkan seluruh variasi yang diujikan, menghasilkan nilai kecepatan putar turbin maksimum pada bukaan 15° dengan nilai putaran yang didapatkan setelah dan sebelum dikopel generator sebesar 249,5 rpm dan 216,5 rpm. Putaran generator setelah dan sebelum dikopel beban 30 Watt bernilai, 1096,6 rpm dan 999 rpm. Tegangan, arus, dan menghasilkan daya sebesar 9,1 Volt, 0,68 Ampere, 6,18 Watt. Torsi yang dihasilkan sebesar 0,27 Nm. Efisiensi maksimum yang diperoleh pada variasi sudut bukaan *guide vane* sebesar 15° sebesar 2,62%.

Kata kunci : PLTMH, *Prototype*, Kaplan, *Guide vane*, Tegangan, Arus, Torsi.

ABSTRACT

The increase in the need for electrical energy in Indonesia is increasing along with population growth. Followed by the depletion of fuels originating from fossil energy. Based on geographic conditions, Indonesia has many rivers so that it has the potential to generate electricity by utilizing the flow of water which is called PLTMH (Microhydro Power Plant). In realizing this PLTMH, one type of water turbine can be used, namely the Kaplan turbine, where this type of turbine works at low head conditions with large discharge. The purpose of this research is to analyze the performance of the Kaplan type turbine guide vane prototype at angles of 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, and 90° to meet the electricity demand in Indonesia. After being examined based on all the variations tested, the maximum value of the turbine rotational speed at an opening of 15° with the rotation values obtained before and after coupled with the generator were 249.5 rpm and 216.5 rpm. The value of the generator rotation before and after the 30 Watt load coupling is 1096.6 rpm and 999 rpm. Voltage, current, and power produced are 9.1 Volts, 0.68 Amperes, and 6.18 Watts. The resulting torque of 0.27 Nm. The greatest efficiency was obtained at a combination of the opening angle of the guide vane of 15° at 2.62%.

Key Words: MHP, *prototype*, Kaplan, *Guide vane*, Voltage, Current, Torque.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan listrik masih belum merata ke seluruh kawasan Indonesia, terutama yang berada di pelosok daerah di berbagai provinsi di Indonesia. Kondisi ini diperparah dengan peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia seiring dengan penambahan penduduk. Disusul dengan menipisnya bahan bakar yang bersumber dari energi fosil. Program pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) ini salah satunya menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), yaitu memanfaatkan debit air dari, saluran irigasi, air terjun, dan aliran sungai [1]. Berdasarkan peraturan presiden No.22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada 2025, maka kapasitas penyediaan pembangkit listrik EBT pada 2025 harus sekitar 45,2 GW [2].

Dalam merealisasikan PLTMH tersebut dapat menggunakan jenis Kaplan, dimana jenis turbin tersebut bekerja pada keadaan debit yang besar dengan ketinggian yang minim. Turbin Kaplan memiliki efisiensi paling tinggi pada kondisi beban yang tidak penuh, disebabkan oleh fleksibilitas sudu-sudu turbin Kaplan yang dapat di-setting menyesuaikan dengan beban yang ada [3].

Saat ini turbin Kaplan masih sangat sedikit digunakan di Indonesia khususnya di Bali. Sehingga untuk mendapatkan data spesifikasinya yang berkaitan dengan turbin Kaplan sulit didapatkan serta untuk melaksanakan pengukuran langsung di lapangan tidaklah memungkinkan, maka itu dibuatkanlah *prototype* dengan skala laboratorium. Penelitian ini membahas hubungan variasi bukaan *guide vane* pada turbin Kaplan yang dirancang penulis terhadap kecepatan putaran turbin sehingga menghasilkan daya *output* dan efisiensi maksimum. Variasi sudut bukaan *guide vane* yang digunakan yaitu 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90°. Turbin Kaplan yang akan diujikan memiliki jumlah sudu 5 buah dengan diameter luar *runner* 16 cm,

diameter leher 6 cm dan lebar *runner* sebesar 5 cm. Generator Dc digunakan pada *prototype* PLTMH yang dirancang pada penelitian ini dengan debit yang ditetapkan sebesar 0,012 m³/s.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Turbin Kaplan

Turbin Kaplan merupakan jenis turbin reaksi tipe *propeller* (baling-baling). Pada pemilihan turbin didasarkan pada kecepatan spesifik turbin. Turbin Kaplan beroperasi pada debit yang besar dengan keadaan ketinggian yang minim atau rendah. Prinsip kerja turbin Kaplan yaitu air mengalir dari *penstock* masuk ke rumah turbin (*housing*). Kemudian akibut bentuk *volute housing*, air bergerak secara tangensial memasuki *guide vane*. Setelah air bergerak keluar dari *guide vane* secara aksial yang dipengaruhi ruang pusar menuju *runner* turbin sehingga timbulnya putaran pada poros turbin. Komponen utama turbin Kaplan terdiri dari *penstock*, *housing*, *guide vane* (sudu pengarah), *runner* (sudu gerak), dan *draft tube* (saluran pembuangan) [4].

2.2 Guide vane (Sudu Pengarah)

Guide vane (sudu pengarah) adalah bagian turbin Kaplan yang berfungsi mengarahkan aliran air yang masuk secara tangensial. *Guide vane* adalah variabel yang mempengaruhi kinerja turbin Kaplan, dengan adanya komponen tersebut dapat meningkatkan putaran turbin. Sehingga dapat menghasilkan kinerja turbin yang optimal [5].

2.3 Perancangan Guide vane (Sudu Pengarah) Pada Turbin Kaplan

Berikut merupakan persamaan yang digunakan dalam perancangan *guide vane* pada turbin Kaplan.

Kecepatan Spesifik Berdasarkan Debit Aliran Air (*nq*) [3].

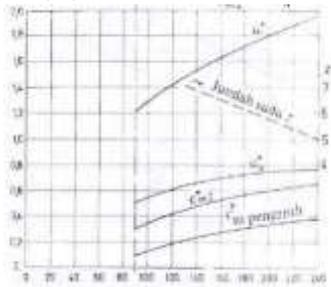
$$nq = n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

Q = Debit air (m³/detik)

H = Head (m)



Kecepatan spesifik berdasarkan debit aliran air (nq) →

Gambar 1. Harga Untuk Menentukan Ukuran–Ukuran Utama Turbin Kaplan.

Kecepatan Masuk Sudu Tangensial Pada Sisi Luar Sudu (u_1)

$$u_1 = u \cdot 1 \times \sqrt{2 \times g \times H} \dots\dots(2)$$

Keterangan :

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

H = Head (m)

Diameter Luar Runner (D_1)

$$D_1 = \frac{60 \times u_1}{\pi \times n} \dots\dots(3)$$

Keterangan :

u_1 = Kecepatan masuk sudu secara tangensial pada sisi luar sudu

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

Tinggi Guide vane (b)

$$b = D_1 \times \left(0,45 - \left(\frac{21,80}{nq} \right) \right) \dots\dots(4)$$

Keterangan :

D_1 = Diameter luar runner (m)

nq = Putaran spesifik (rpm)

Jumlah Sudu Guide vane (Z_{GV})

$$Z_{GV} = \left(\frac{1}{4} \sqrt{1000 D_1} + 4 \right) \dots\dots(5)$$

Keterangan :

D_1 = Diameter luar runner (m)

Diameter Inlet Guide vane (F_1)

$$F_1 = \left(1,45 + \frac{72,17}{nq} \right) D_1 \dots\dots(6)$$

Keterangan :

D_1 = Diameter luar runner (m)

nq = Putaran spesifik (rpm)

Diameter Outlet Guide vane (G_1)

$$G_1 = \left(1,29 + \frac{41,63}{nq} \right) D_1 \dots\dots(7)$$

Keterangan :

D_1 = Diameter luar runner (m)

nq = Putaran spesifik (rpm)

2.4 Daya, Torsi dan Efisiensi

Daya keluaran dari generator atau daya output listrik didapatkan dari persamaan berikut [3].

$$P_G = V \times I \dots\dots(8)$$

Keterangan :

P_G = Daya yang dihasilkan generator (watt)

I = Arus (ampere)

V = Tegangan (volt)

Menghasilkan nilai torsi yang dapat dicari menggunakan persamaan seperti berikut [3].

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}} \dots\dots(9)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

P = Daya Listrik (Watt)

N = Jumlah Putaran yang Dihasilkan Mesin (rpm)

Daya hidrolis adalah sebuah daya yang disebabkan oleh pergerakan air yang mengalir dari suatu ketinggian tertentu.

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \dots\dots(10)$$

Keterangan :

P_H = Daya Hidrolis (Watt)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)

g = Percepatan Gravitasi ($9,8 m/s^2$)

Q = Debit Air (m^3/s)

h = Tinggi Jatuh Air (m)

Kemampuan yang dimiliki peralatan pembangkit untuk mengubah energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi listrik disebut efisiensi sistem (η PLTMH) dapat dicari menggunakan persamaan berikut [6].

$$\eta \text{ PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \cdot 100\% \dots\dots(11)$$

Keterangan :

ηT = Efisiensi Turbin

ηG = Efisiensi Generator

$\eta \text{ PLTMH}$ = Efisiensi sistem PLTMH

P_T = Daya Turbin

P_G = Daya Generator

P_H = Daya Hidrolis

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran. Penelitian ini terdiri dari dua tahapan yaitu :

- A. Tahapan pertama yaitu perancangan yang terdiri dari pemodelan hingga realisasi *prototype* turbin Kaplan.
- B. Tahapan kedua yaitu pengujian kinerja *prototype* turbin Kaplan yang terkait pengaruh variasi bukaan sudut *guide vane* terhadap daya *output* dan efisiensi.

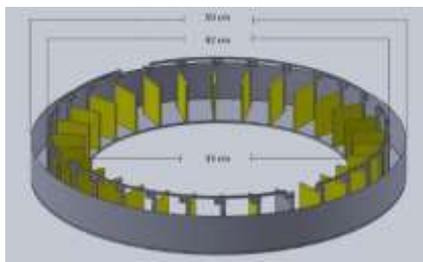
3.1 Perencanaan Pemodelan *Guide vane* Turbin Kaplan

Pada tahap perencanaan dilakukan penetapan variabel tetap yang terdiri dari nilai *head* 2 m, nilai debit 0,012 m^3/s , dan jumlah sudu *runner* yang digunakan sebanyak 5 buah.

Tabel 1. Data Perencanaan *Guide vane* Turbin Kaplan

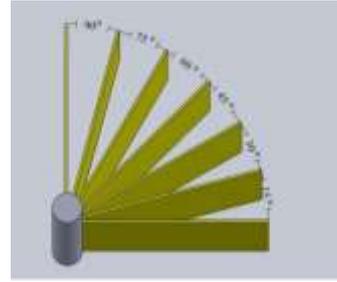
No	Parameter	Nilai
1	Tinggi <i>Guide vane</i>	5 cm
2	Jumlah Sudu <i>Guide vane</i>	30 buah
3	Diameter Outlet <i>Guide vane</i>	42 cm
4	Diameter Inlet <i>Guide vane</i>	33 cm

Berikut merupakan Gambar hasil pemodelan *prototype guide vane* dengan salah satu variasi yang diteliti yaitu bukaan 90°.



Gambar 2. Desain *Guide vane* dengan Bukaan *Guide vane* 90°

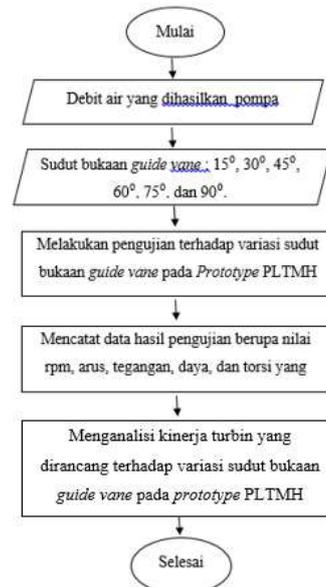
Berikut adalah Gambar pemodelan bukaan sudu *guide vane* yang akan diuji.



Gambar 3. Desain Bukaan Sudu Sudu *Guide vane* yang Diuji

3.2 Pengujian Variasi Bukaan Sudu *Guide vane* pada Turbin Kaplan

Berikut tahap pengujian dari variasi sudut bukaan *guide vane* pada turbin Kaplan.



Gambar 4. Diagram Alir Variasi Sudu Bukaan *Guide vane*

Tahap pengujian variasi bukaan sudut *guide vane* terhadap kecepatan putar turbin dan daya *output* pada *prototype* PLTMH dengan turbin Kaplan sebagai berikut :

- A. Mengatur debit yang telah ditetapkan pada pompa senilai 0,012 m^3/s .
- B. Mengatur sudut bukaan *guide vane* agar sesuai dengan variasi diujikan yaitu 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90°.
- C. Melakukan pengujian terhadap setiap variasi bukaan *guide vane*.
- D. Mencatat nilai arus, tegangan, daya, dan torsi pada generator serta nilai putaran turbin dan putaran generator.

- E. Melaksanakan analisis terkait pengaruh sudut bukaan *guide vane* terhadap daya *output* dan kecepatan putar turbin yang dihasilkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Realisasi *Prototype* PLTMH dengan Turbin Kaplan

Realisasi pemodelan PLTMH dengan menggunakan turbin Kaplan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Realisasi Pemodelan PLTMH dengan Turbin Kaplan

Pengujian yang dilakukan bertujuan mengetahui hubungan dari perubahan variasi bukaan sudut *guide vane* terhadap kecepatan putaran turbin dan daya *output* yang dihasilkan oleh PLTMH dengan turbin Kaplan menggunakan alat ukur tachometer untuk mengukur kecepatan putar dan multimeter untuk mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan oleh turbin.

Data hasil yang didapat dari pengukuran kinerja PLTMH dengan menggunakan turbin Kaplan meliputi nilai kecepatan putaran turbin dan generator, arus, tegangan dan daya *output* yang dihasilkan. Pengukuran tersebut dilakukan pada setiap variasi bukaan *guide vane* yang sudah ditentukan yaitu 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90° dengan kondisi debit yang sudah ditetapkan sebesar 0,012 m³/s, dan jumlah sudu *runner* yang digunakan sebanyak 5 buah. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap variasi yang bertujuan mendapatkan hasil yang lebih akurat.

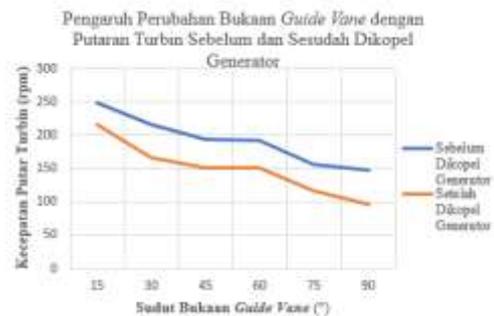
4.2.1 Hubungan Putaran Turbin Akibat Bukaan Sudut *Guide Vane*

Berikut merupakan tabel data hasil pengujian nilai putaran turbin yang dihasilkan dari hubungan dengan variasi sudut bukaan *guide vane*.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Nilai Putaran Turbin

No	Variasi Sudut Bukaan <i>Guide vane</i>	Putaran Turbin (rpm)	
		Sebelum Dikopel Generator	Sesudah Dikopel Generator
1	15	249,5	216,5
2	30	216,7	166,5
3	45	194,4	151,7
4	60	192,7	150,9
5	75	156,3	166,6
6	90	148,2	96,1

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel diatas didapatkan hubungan antara sudut bukaan *guide vane* terhadap kecepatan putaran turbin sebelum dan sesudah dikopel dengan generator dapat dilihat pada grafik dibawah.



Gambar 6. Grafik Hubungan Kecepatan Putaran Turbin yang Dipengaruhi Oleh Bukaan Sudut *Guide Vane* Setelah dan Sebelum Dikopel Generator

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, bahwa nilai kecepatan putaran turbin maksimum terjadi pada bukaan sudut *guide vane* 15° dan ketika sudut bukaan *guide vane* melebihi 15° pada setiap variasi *guide vane* yang diuji, kecepatan putaran turbin mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan berkaitan dengan hukum *Bernoulli* dalam teori *Hidrodinamika*, Mengatakan bahwa ketika fluida mengalir melalui pipa yang datar, dengan menyempitnya luas penampang dari pipa,

maka akan memiliki kecepatan besar. Sebaliknya, apabila luas penampang dari pipa membesar, fluida memiliki kecepatan yang kecil. Maka, semakin kecil bukaan sudut *guide vane*, kecepatan air yang menuju turbin akan semakin meningkat, sehingga energi kinetik air yang diterima oleh sudu turbin juga semakin besar.

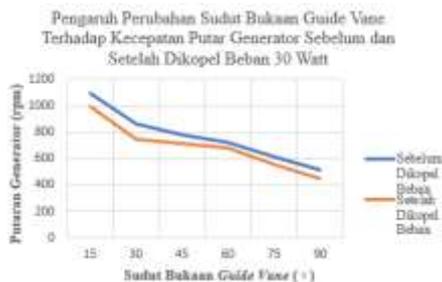
4.2.2 Hubungan Nilai Hasil Putaran Generator Akibat Variasi Bukaan Sudut *Guide vane*

Berikut merupakan tabel data hasil dari pengujian nilai putaran generator yang dihasilkan akibat variasi bukaan sudut *guide vane*.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Nilai Putaran Generator

No	Variasi Sudut Bukaan <i>Guide Vane</i>	Putaran Generator	
		Sebelum Dikopel Beban	Setelah Dikopel Beban
1	15	1096,9	999
2	30	865,9	749,6
3	45	777,5	714,2
4	60	726,7	685,3
5	75	619,3	558,7
6	90	513,1	449,3

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel diatas didapatkan hubungan antara sudut bukaan *guide vane* terhadap kecepatan putaran generator sebelum dan sesudah dikopel dengan beban dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan Putaran Generator yang Dipengaruhi Oleh Variasi Bukaan Sudut *Guide Vane* Setelah dan Sebelum Dikopel Beban Lampu LED 30 Watt

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, dapat disimpulkan bahwa kecepatan

putaran maksimum pada generator terjadi pada variasi bukaan sudut *guide vane* 15°. Hal ini terjadi karena putaran dari generator berbanding lurus dengan putaran dari turbin baik setelah dan sebelum dikopel dengan beban.

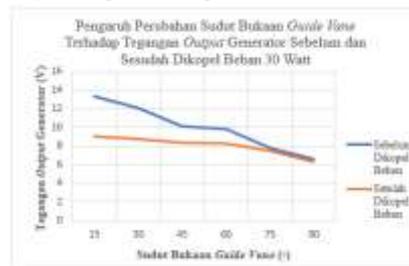
4.2.3 Hubungan Nilai Hasil Tegangan Output Akibat Variasi Bukaan Sudut *Guide Vane*

Berikut merupakan tabel data hasil pengujian pengaruh perubahan variasi sudut bukaan *guide vane* terhadap nilai tegangan *output* generator.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Nilai Tegangan *Output* Generator

No	Variasi Sudut Bukaan <i>Guide Vane</i>	Tegangan <i>Output</i> Generator (V)	
		Sebelum Dikopel Beban	Setelah Dikopel Beban
1	15	13,38	9,1
2	30	12,07	8,79
3	45	10,1	8,34
4	60	9,82	8,3
5	75	7,79	7,48
6	90	6,59	6,33

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel diatas didapatkan hubungan antara sudut bukaan *guide vane* terhadap tegangan *output* generator sebelum dan sesudah dikopel dengan beban dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini.



Gambar 8. Grafik Hubungan Tegangan *Output* Generator yang Dipengaruhi Oleh Bukaan Sudut *Guide Vane* Setelah dan Sebelum Dikopel Beban Lampu LED 30 Watt

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai tegangan *output* generator terbesar terjadi pada turbin

dengan sudut bukaan *guide vane* 15°. Akan tetapi ketika sudut bukaan *guide vane* melebihi 15° pada setiap variasi sudut bukaan *guide vane*, tegangan *output* generator mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena nilai tegangan *output* berbanding lurus terhadap kecepatan putaran yang generator hasilkan.

4.2.4 Hubungan Nilai Hasil Arus Output Generator Akibat Variasi Bukaan Sudut Guide Vane

Berikut merupakan tabel data hasil pengujian pengaruh perubahan variasi sudut bukaan *guide vane* terhadap nilai arus *output* generator.

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Nilai Arus Output Generator

No	Variasi Sudut Bukaan Guide Vane	Arus Output Generator (A)	
		Sebelum Dikopel Beban	Setelah Dikopel Beban
1	15	0,0	0,68
2	30	0,0	0,4
3	45	0,0	0,31
4	60	0,0	0,26
5	75	0,0	0,19
6	90	0,0	0,11

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel diatas didapatkan hubungan antara sudut bukaan *guide vane* terhadap arus *output* generator sesudah dikopel dengan beban dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 9. Grafik Hubungan Arus Output yang Dipengaruhi oleh Variasi Bukaan Sudut Guide vane Sesudah Dikopel Beban Lampu LED 30 Watt

Berdasarkan Gambar 9, dapat disimpulkan nilai arus *output* maksimum generator terjadi pada variasi bukaan sudut bukaan *guide vane* 15°. Akan tetapi ketika sudut bukaan *guide vane* melebihi 15° pada setiap variasi sudut bukaan *guide vane*, nilai arus generator mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena nilai arus *output* berbanding lurus dengan putaran yang generator hasilkan.

4.2.5 Hubungan Nilai Hasil Daya Output Generator Akibat Variasi Bukaan Sudut Guide Vane

Nilai daya *output* pada penelitian ini didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 8. Hasil perhitungan daya *output* pada penelitian dapat diperhatikan pada tabel berikut .

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai Daya Output Generator

No	Variasi Sudut Guide Vane (°)	Tegangan Rata-Rata (Volt)	Arus Rata-Rata (Ampere)	Daya Output Generator (Watt)
1	15	9,1	0,68	6,18
2	30	8,79	0,4	3,51
3	45	8,34	0,31	2,58
4	60	8,3	0,26	2,15
5	75	7,48	0,19	1,42
6	90	6,33	0,11	0,69

Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel diatas didapatkan hubungan antara sudut bukaan *guide vane* terhadap daya *output* generator sesudah dikopel dengan beban dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 10. Grafik Hubungan Daya Output Generator yang Dipengaruhi Oleh Variasi Bukaan Sudut Guide Vane saat Dibebani Lampu LED 30 Watt

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai daya *output* maksimum generator terjadi pada turbin dengan sudut bukaan *guide vane* 15°. Akan tetapi ketika sudut bukaan *guide vane* melebihi 15° pada setiap variasi sudut bukaan, nilai daya *output* generator mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena nilai daya *output* berbanding lurus dengan nilai tegangan *output* dan arus *output* yang dihasilkan oleh generator.

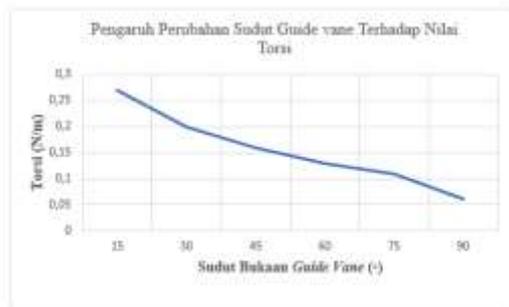
4.2.6 Hubungan Nilai Data Hasil Torsi Akibat Variasi Bukaan Sudut Guide Vane

Data hasil nilai torsi pada penelitian ini didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 9. Hasil perhitungan torsi pada penelitian dapat diperhatikan pada tabel berikut.

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Nilai Torsi

No	Variasi Sudut Guide vane (°)	Putaran Turbin Dikopel Generator (rpm)	Daya Output Generator (Watt)	Torsi (Nm)
1	15	216,5	6,18	0,27
2	30	166,5	3,51	0,2
3	45	151,7	2,58	0,16
4	60	150,9	2,15	0,13
5	75	116,6	1,42	0,11
6	90	96,1	0,69	0,06

Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel diatas didapatkan hubungan antara nilai torsi yang dipengaruhi oleh variasi bukaan sudut *guide vane* yang dapat dibuatkan grafik seperti berikut.



Gambar 11. Grafik Hubungan Nilai Torsi yang Dipengaruhi Oleh Variasi Bukaan Sudut Guide Vane

Berdasarkan Gambar 11 dapat dilihat bahwa pada bukaan sudut *guide vane* 15° adalah kondisi paling ideal dari segi arahjatuh air dan kecepatan laju air yang mengenai sudu turbin sehingga dapat memaksimalkan energi kinetik air yang dapat diserap oleh *runner* turbin.

4.2.7 Pengaruh Perubahan Sudut Bukaan Guide Vane Terhadap Efisiensi PLTMH

Nilai efisiensi pada penelitian ini didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 11. Hasil perhitungan efisiensi pada penelitian dapat diperhatikan pada tabel berikut.

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Sistem PLTMH

No	Sudut Bukaan Guide vane (°)	Daya Input (Watt)	Daya Output (Watt)	Efisiensi Sistem PLTMH (%)
1	15	235,2	6,18	2,62
2	30	235,2	3,51	1,49
3	45	235,2	2,58	1,09
4	60	235,2	2,15	0,91
5	75	235,2	1,42	0,6
6	90	235,2	0,69	0,29

Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel diatas didapatkan hubungan antara pengaruh perubahan sudut bukaan *guide vane* terhadap nilai efisiensi PLTMH dapat dbuatkan grafik seperti berikut.



Gambar 12. Grafik Hubungan Nilai Efisiensi PLTMH yang Dipengaruhi Variasi Bukaan Sudut Guide Vane

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa kondisi bukaan sudut *guide vane* 15° memberikan nilai efisiensi sistem PLTMH paling besar. Karena pada kondisi ini perbandingan nilai daya *input* dan daya *output* menghasilkan nilai perbandingan yang paling besar.

5. SIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil berdasarkan dari hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Putaran tertinggi dari turbin didapat pada sudut bukaan *guide vane* 15° dengan putaran 249,5 rpm sebelum dikopel generator dan 216,5 rpm setelah dikopel dengan generator. Setelah dikopel dengan generator, putaran generator tertinggi didapat 1096,6 rpm sebelum dibebani dan 999 rpm setelah dibebani dengan menghasilkan daya 6,18 Watt. Kondisi sudut bukaan *guide vane* 15° mendapatkan nilai daya *output* tertinggi, hal ini menunjukkan sudut bukaan *guide vane* 15° merupakan kondisi paling ideal dari segi arah jatuh air dan kecepatan gerak air mengenai punggung sudu atau *runner* pada turbin sehingga energi kinetik air yang dapat diserap oleh *runner* turbin menjadi lebih maksimal.
2. Efisiensi terbesar yang diperoleh pada pengujian pemodelan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) menggunakan turbin Kaplan adalah 2,62% pada keadaan variasi bukaan sudut *guide vane* 15°. Hal ini diakibatkan karena pada kondisi ini menghasilkan nilai perbandingan daya *output* dan daya *input* paling besar. Hal ini juga dapat menunjukkan bahwa karakter dari turbin Kaplan efektif diaplikasikan pada kondisi *head* yang rendah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sitompul, R. 2011. Teknologi Energi Terbarukan Yang Tepat Untuk Aplikasi

Di Masyarakat Perdesaan. Jakarta : PNPM Mandiri.

- [2] Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional*. Lembar Negara RI Tahun 2017, No. 43. Sekretariat Negara. Jakarta., 2017.
- [3] Sugiyanto D. , Tugimin. 2016. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Kaplan Dengan Variasi Debit Air. Jakarta : Universitas 17 Agustus 1945, Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [4] Mafruddin dan Marsuki, "Pengaruh Bukaan *Guide Vane* Terhadap Kinerja Turbin Pikohidro Tipe Cross-Flow," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, hal. 31–37, 2017.
- [5] Maidangkay, Adrian, Rudy Soenoko dan Slamet Wahyudi. 2014. Pengaruh Sudut Pengarah Aliran dan Jumlah Sudu Radius Berengsel Luar Roda Tunggal terhadap Kinerja Turbin Kinetik. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.5, No.2: 149-156.
- [6] I. P. Juliana, A. I. Weking, dan L. Jasa, "Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir Terhadap Daya Putar Turbin Ulir Dan Daya *Output* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, hal. 393, 2018.