

PENGARUH SUDUT BUKAAN *GUIDE VANE* DAN TEKANAN AIR TERHADAP KECEPATAN PUTAR DAN DAYA *OUTPUT* PADA *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DENGAN TURBIN *CROSSFLOW*

I Made Dwi Mertadiyasa¹, I Wayan Arta Wijaya², I Made Suartika³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email : [dwimertadiyasa@student.unud.ac.id](mailto:dwymertadiyasa@student.unud.ac.id)¹, artawijaya@ee.unud.ac.id²,
madesuartika@unud.ac.id³

Abstrak

Pola pengembangan pembangkitan kelistrikan Indonesia masih cenderung mengandalkan ketersediaan bahan bakar berdasarkan energi fosil. Di lain pihak, manusia dihadapkan pada situasi menipisnya cadangan sumber energi fosil dan meningkatnya kerusakan lingkungan akibat penggunaan energi fosil. Pengembangan Energi Baru Terbarukan dapat menjadi solusi untuk permasalahan tersebut. Salah satunya yaitu pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Dalam merealisasikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Indonesia dapat menggunakan salah satu jenis turbin air yaitu jenis turbin *crossflow* yang merupakan jenis turbin impuls dengan karakteristik baik pada *head* yang rendah untuk kapasitas pembangkitan skala mikro. Penelitian ini meneliti tentang pengaruh bukaan *guide vane* dan tekanan air terhadap putaran dan daya *output* pada turbin *crossflow*. Sudut bukaan *guide vane* yang diteliti sebesar 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90° pada masing - masing kondisi tekanan air 4 psi, 8,5 psi, dan 13psi. Pengujian dilakukan dengan simulasi pengukuran secara langsung pada *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang telah dibangun. Dari seluruh kombinasi parameter yang diujikan, nilai maksimum dari kecepatan putar dan daya output diperoleh pada kondisi sudut bukaan *guide vane* sebesar 30° dan tekanan air 13 psi. Adapun nilai putaran turbin sebelum dan sesudah dikopel generator yaitu 591,9 rpm dan 522,7 rpm. Nilai putaran generator sebelum dan sesudah dikopel beban yaitu 3490 rpm dan 2368 rpm. Dan nilai daya yang dihasilkan generator sebesar 11,8 Watt.

Kata Kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, *Crossflow*, *Guide vane*, Tekanan Air, *Prototype*.

Abstract

The pattern of power plants development in Indonesia is still relying on the availability of fossil fuels based energy sources. Meanwhile, Human are faced with a situation of depleting reserves of fossil energy sources and increasing environmental damage due to the use of fossil fuels based energy sources. Renewable Energy development can be a solution to these problems. One of them is the development of a Micro Hydro Power Plant. In the realization of Micro Hydro Power Plant in Indonesia, the crossflow water turbine type can be used. It is a type of impulse turbine with a good characteristic at a low head for micro-scale generator capacity. This study analyzes the effect of guide vane opening angle and water pressure on rotation and output power of crossflow turbine. The opening angle of the guide vane studied was 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, and 90° in each water pressure condition of 4 psi, 8.5 psi and 13 psi. The test is carried out by simulating direct measurements on the prototype of the Micro-hydro Power Plant that has been built. Every combination of parameters tested, the maximum value of rotational speed and output power is obtained at the guide vane opening angle of 30° and water pressure of 13 psi. Turbine rotation values generated before and after coupled with a generator are 591.9 rpm and 522.7 rpm. The values of the generator rotation before and after the load coupled are at 3490 rpm and 2368 rpm. And the power value generated by the generator is 11.8 Watts.

Keywords: *Microhydro Power Plant*, *Crossflow*, *Guide vane*, *Water Pressure*, *Prototype*.

1. PENDAHULUAN

Pola pengembangan pembangkitan kelistrikan Indonesia masih cenderung mengandalkan ketersediaan bahan bakar berbasis energi fosil. Menipisnya ketersediaan energi fosil memicu pengembangan pembangkitan berbasis energi non fosil. Salah satu segmen energi bauran adalah energi air dengan tingkat kecukupan kapasitas tidak terbatas di Indonesia[1]. Kapasitas PLTMH yang terpasang di Indonesia saat ini baru mencapai 197,4 MW atau sekitar 1,0 % dari potensi kapasitas yang mampu dibangkitkan [2]. Turbin *Crossflow* merupakan salah satu jenis turbin yang dipergunakan untuk PLTMH yang mempunyai keunggulan dibandingkan turbin jenis lainnya yaitu lebih cocok untuk daerah yang memiliki debit yang besar dan tinggi jatuh air yang relatif rendah serta proses produksi turbin *crossflow* yang mudah dan murah sehingga sangat cocok untuk diterapkan di daerah terpencil [3]. Permasalahan yang ada pada turbin air dengan jenis *crossflow* adalah selama ini sudut pengarah turbin *crossflow* yang tidak sesuai dengan hasil yang diharapkan masyarakat [4].

Saat ini turbin *Crossflow* masih sangat langka digunakan di Indonesia khususnya di Bali. Sehingga untuk melaksanakan pengukuran di lapangan sangatlah sulit, oleh sebab itu perlu dibuatkan *prototype* skala laboratorium. Pada penelitian ini akan meneliti tentang pengaruh bukaan *guide vane* dan tekanan air pada turbin *crossflow* sehingga dapat dilihat kombinasi bukaan *guide vane* dan tekanan air yang menghasilkan nilai putaran dan daya maksimum. Tekanan air yang dipakai yaitu 4 psi, 8,5 psi, 13 psi. Sudut bukaan *guide vane* yang dipakai yaitu 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90°. Turbin *crossflow* yang diujikan memiliki jumlah sudu *runner* sebanyak 18 buah dengan diameter luar *runner* 0,15m dengan lebar sudu 0,1m. 6. *Prototype* PLTMH yang dirancang pada penelitian ini menggunakan generator dengan jenis generator DC.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Turbin *Crossflow*

Turbin *Crossflow* termasuk turbin impuls. Pancaran air dari *nozzel* masuk ke turbin melalui sudu jalan sehingga terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi mekanis. Turbin mengambil energi air dua

kali yaitu melalui sudu atas dan sudu bawah. Pada bagian atas turbin mengambil energi sebesar 72 % dan pada bagian bawah turbin mengambil energi sebesar 28% [5].

2.2 Konstruksi Turbin *Crossflow*

Adapun konstruksi dari turbin *crossflow* adalah sebagai berikut.

1. Rumah Turbin
2. *Guide vane*
3. *Runner*
4. *Casing*
5. Katup Udara
6. *Draft Tube*

2.3 Fluida dan Tekanan

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir. Istilah fluida mencakup zat cair dan gas karena dapat mengalir [6]. Debit merupakan besar volume aliran suatu fluida dalam satuan waktu. Debit dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [7].

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

Q = Debit (m³/s)

V = Volume tempat penampungan (m³)

T = waktu (s)

Secara matematis, persamaan tekanan air dengan *head* sebagai berikut [7].

$$P = \rho \times h \times g \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

ρ = massa jenis air (1000 Kg/m³)

h = *head*/tinggi jatuh air (m²)

g = gaya gravitasi (9,8 m/s²)

Penerapan hukum *Bernoulli* pada pipa mendatar sebagai berikut. Karena mendatar, maka $h_1 = h_2$ dan dapat dirumuskan sebagai berikut [7].

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 \dots \dots (3)$$

Karena $A_1 > A_2 \rightarrow v_1 < v_2$, Maka $P_1 > P_2$

Hal itu memperlihatkan bahwa di tempat-tempat yang sempit fluida memiliki kecepatan besar, tekanannya kecil. Begitu pula sebaliknya [7].

2.4 Daya dan Torsi

Daya output elektrik merupakan daya keluaran dari generator yang didapatkan menggunakan persamaan berikut [9].

$$P_G = V \times I \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

P_G = Daya Generator (watt)

V = Tegangan (volt)
I = Arus (ampere)

Besar torsi yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan berikut [8].

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- T = Torsi (Nm)
- P = Daya Listrik (Watt)
- N = Banyaknya Putaran Mesin (rpm)

3. METODE PENELITIAN

Tahap penelitian pertama yaitu tahap perancangan yang terdiri dari pemodelan hingga perealisasi *prototype*. Tahap kedua merupakan tahap pengujian *prototype* PLTMH terkait perubahan bukaan sudut *guide vane* dan tekanan air terhadap daya output turbin.

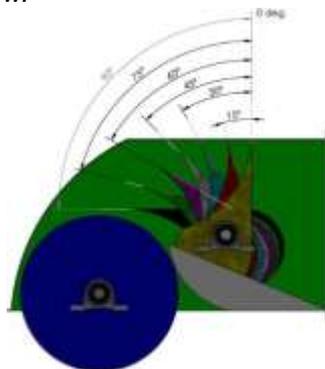
3.1 Perencanaan dimensi *Prototype* PLTMH

Perencanaan dimensi dari *prototype* turbin *crossflow* dan desain menggunakan *software* 3D. Berikut merupakan tabel dimensi tiap komponen yang akan dibangun.

Tabel 1. Dimensi Perencanaan Turbin

Nama	Parameter	Besaran
Runner	Diameter Luar	0,15 meter
	Diameter Dalam	0,1 meter
	Jumlah Sudu	18 buah
Guide vane	Lebar	0,11 meter
	Panjang	0,10 meter
	Sudut Posisi	0° - 90°
Housing	Tinggi	0,12 meter
	Lebar <i>Housing</i>	0,11 meter
	Panjang	0,3 meter

Berikut merupakan gambar pemodelan sudut bukaan *guide vane* yang akan diteliti pada *prototype* PLTMH dengan turbin *crossflow*.



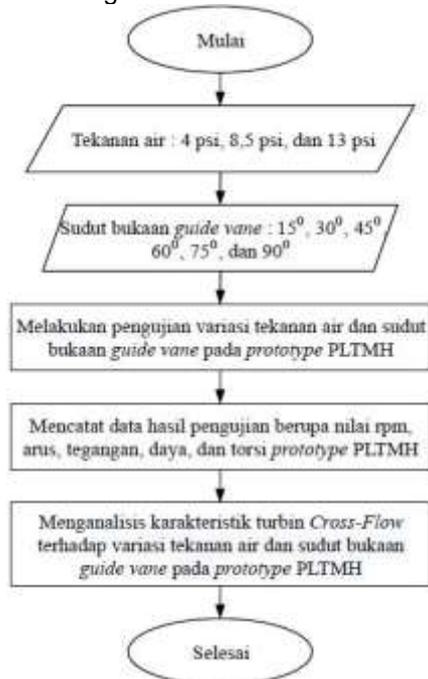
Gambar 1. Pemodelan Sudut Bukaan *Guide vane*

3.2 Pembangunan *Prototype* PLTMH

Tahap ini diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan. Kemudian membangun beberapa komponen dari PLTMH antara lain *runner*, *guide vane*, dan *housing*. Selanjutnya mempersiapkan komponen penunjang dan alat ukur sebagai instrumen pengujian. Beberapa komponen tersebut antara lain *pulley*, *belt*, generator, pompa air, bak penampungan, *avometer digital*, *tachometer digital*, dan *manometer*.

3.3 Pengujian *Prototype* PLTMH

Berikut tahap pengujian dari *prototype* PLTMH dengan turbin *crossflow*



Gambar 2. Diagram Alir Pengujian *Prototype* PLTMH

Tahap pengujian dari pengaruh bukaan sudut *guide vane* dan tekanan air terhadap putaran dan daya output PLTMH dengan turbin *crossflow* sebagai berikut:

- A. Menentukan tekanan pada pompa sebesar 4psi, 8,5psi, dan 13psi.
- B. Menentukan sudut bukaan *guide vane* sesuai dengan variasi yang digunakan yaitu 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90°.
- C. Mencatat nilai putaran turbin, putaran generator, arus, tegangan, daya, dan torsi pada generator.
- D. Melakukan analisis terkait perubahan bukaan sudut *guide vane* dan tekanan air terhadap putaran dan daya output turbin.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi *Prototype* PLTMH dengan Turbin *Crossflow*

Realisasi pemodelan PLTMH dengan turbin *crossflow* ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3. Realisasi Pemodelan PLTMH dengan Turbin *Crossflow*

4.2 Data Hasil Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh bukaan sudut *guide vane* dan tekanan air pada turbin

crossflow terhadap putaran dan daya output yang dihasilkan oleh PLTMH.

Tahapan pengujian diawali dengan menentukan tekanan pada pompa sesuai dengan variasi yang digunakan yaitu 4psi, 8,5psi, dan 13psi. Nilai tekanan air pada pompa dilihat dari alat ukur manometer yang terpasang pada pipa pesat turbin. Kemudian menentukan sudut bukaan *guide vane* sesuai dengan variasi yang digunakan yaitu 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90°. Pengujian perubahan sudut dilakukan pada masing-masing tekanan yang divariasikan.

Pengukuran putaran turbin dan putaran generator dilakukan menggunakan alat ukur *tachometer digital*. Pengukuran terhadap arus dan tegangan keluaran generator dilakukan pada dua kondisi yaitu berbeban dan tidak berbeban menggunakan alat ukur *avometer digital*. Nilai daya dan torsi keluaran generator didapat melalui perhitungan.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran pada Kondisi Tekanan Air 4 psi

NO	Sudut Bukaan <i>Guide vane</i> (derajat)	Putaran Turbin (rpm)		Putaran Generator (rpm)		Tegangan Tanpa Beban (V)	Kondisi Berbeban		
		Sebelum Dikopel Generator	Setelah Dikopel Generator	Tanpa Beban	Berbeban		V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)
1	15	473,2	357,7	2358	1975	28,0	21,0	0,30	6,3
2	30	513,0	390,1	2547	2133	29,4	22,1	0,32	7,1
3	45	431,7	347,4	2205	1864	25,1	20,1	0,25	5,0
4	60	335,5	316,0	2076	1869	24,2	19,9	0,24	4,8
5	75	316,3	280,4	1853	1677	20,1	18,6	0,16	3,0
6	90	265,9	245,7	1651	1555	18,0	17,1	0,11	1,8

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran pada Kondisi Tekanan Air 8,5 psi

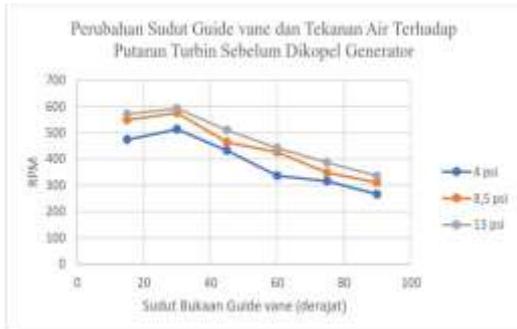
NO	Sudut Bukaan <i>Guide vane</i> (derajat)	Putaran Turbin (rpm)		Putaran Generator (rpm)		Tegangan Tanpa Beban (V)	Kondisi Berbeban		
		Sebelum Dikopel Generator	Setelah Dikopel Generator	Tanpa Beban	Berbeban		V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)
1	15	549,1	441,7	2979	2175	31,2	23,0	0,36	8,2
2	30	575,3	497,0	3281	2309	36,6	25,0	0,42	10,5
3	45	463,8	400,4	2687	2033	29,6	21,6	0,31	6,8
4	60	425,5	386,8	2358	1975	28,0	21,0	0,29	6,1
5	75	347,6	324,4	2205	1864	25,1	20,1	0,25	5,0
6	90	309,7	279,6	1856	1699	20,1	18,6	0,16	3,0

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran pada Kondisi Tekanan Air 13 psi

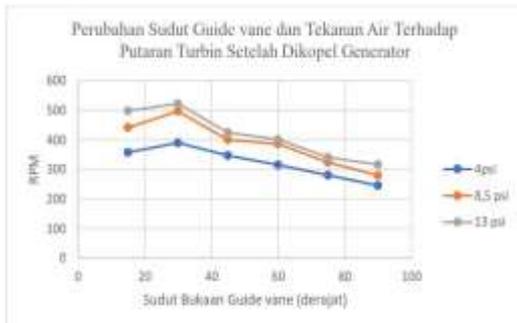
NO	Sudut Bukaan <i>Guide vane</i> (derajat)	Putaran Turbin (rpm)		Putaran Generator (rpm)		Tegangan Tanpa Beban (V)	Kondisi Berbeban		
		Sebelum Dikopel Generator	Setelah Dikopel Generator	Tanpa Beban	Berbeban		V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)
1	15	570,0	497,9	3035	2209	32,4	23,0	0,37	8,5
2	30	591,9	522,7	3490	2368	38,2	25,1	0,47	11,8
3	45	509,1	424,6	2984	2181	31,2	22,7	0,33	7,5
4	60	441,4	401,5	2687	2033	29,7	21,6	0,31	6,7
5	75	386,8	341,1	2358	1975	27,9	21,0	0,29	6,2
6	90	335,3	316,3	2076	1867	24,2	19,9	0,24	4,8

4.2.1 Perubahan Bukaannya *Guide vane* dan Tekanan Air Terhadap Putaran Turbin

Berdasarkan pengujian pengaruh perubahan bukaan sudut *guide vane* dan tekanan air terhadap putaran turbin didapatkan grafik perubahan sudut *guide vane* dan tekanan air terhadap putaran turbin sebelum dikopel generator dan setelah dikopel dengan generator sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Perubahan Sudut *Guide vane* dan Tekanan Air Terhadap Putaran Turbin Sebelum Dikopel Generator



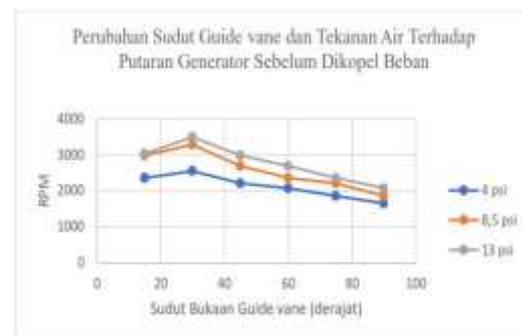
Gambar 5. Grafik Perubahan Sudut *Guide vane* dan Tekanan Air Terhadap Putaran Turbin Setelah Dikopel Generator

Berdasarkan gambar 4 dan gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai kecepatan putaran turbin maksimum pada sudut bukaan *guide vane* 30° pada setiap variasi tekanan air. Hal ini dapat terjadi berkaitan dengan hukum *Bernoulli* dalam teori Hidrodinamika, menyebutkan bahwa saat fluida mengalir melalui pipa mendatar, apabila luas penampang dari pipa menyempit, maka akan memiliki kecepatan besar. Sehingga, semakin kecil sudut bukaan *guide vane* maka kecepatan air menuju turbin akan semakin besar. Namun pada saat sudut *guide vane* sebesar 15°, arah distribusi air tidak tepat mengenai punggung dari sudu bagian dalam, sehingga energi kinetik air tidak maksimal diserap oleh sudu turbin.

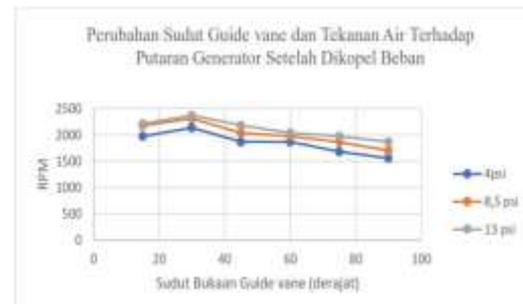
Semakin bertambah nilai tekanan yang diberikan, maka semakin besar pula nilai putaran dari turbin. Hal ini disebabkan oleh seiring peningkatan tekanan air semakin besar gaya dorong aliran air yang keluar dari pipa pesat yang kemudian mengenai turbin.

4.2.2 Perubahan Bukaannya *Guide vane* dan Tekanan Air Terhadap Putaran Generator

Pengaruh perubahan bukaan sudut *guide vane* dan tekanan air terhadap putaran generator didapatkan grafik hubungan sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik Perubahan Sudut *Guide vane* dan Tekanan Air Terhadap Putaran Generator Sebelum Dikopel Beban

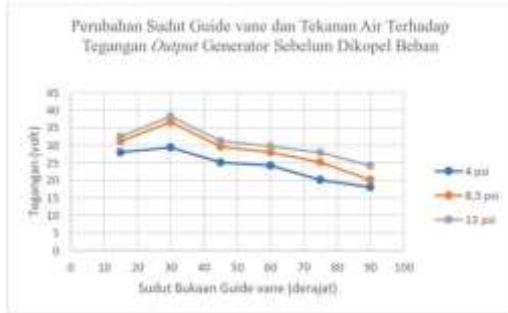


Gambar 7. Grafik Perubahan Sudut *Guide vane* dan Tekanan Air Terhadap Putaran Generator Setelah Dikopel Beban

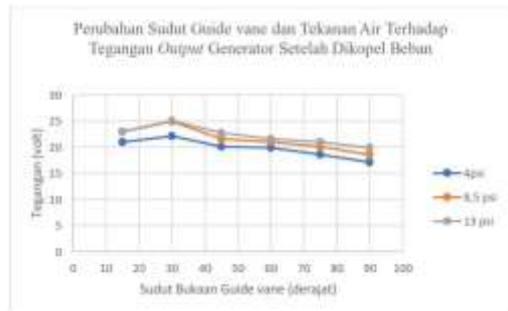
Berdasarkan gambar 6 dan gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai putaran generator maksimum berbanding lurus dengan putaran turbin baik sebelum dikopel beban maupun setelah dikopel dengan beban.

4.2.3 Perubahan Bukaannya *Guide vane* dan Tekanan Air Terhadap Tegangan Keluaran Generator

Pengaruh perubahan bukaan sudut *guide vane* dan tekanan air terhadap tegangan keluaran generator didapatkan grafik hubungan sebagai berikut.



Gambar 8. Grafik Perubahan Sudut Guide vane dan Tekanan Air Terhadap Tegangan Sebelum Dikopel Beban

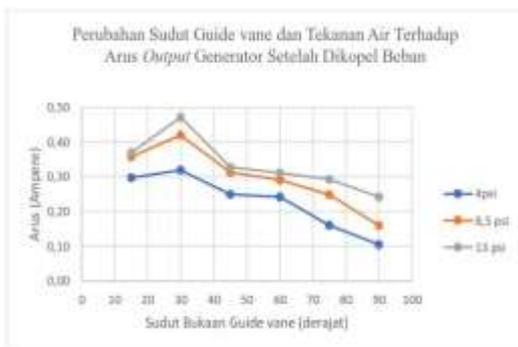


Gambar 9. Grafik Perubahan Sudut Guide vane dan Tekanan Air Terhadap Tegangan Setelah Dikopel Beban

Berdasarkan gambar 8 dan gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai tegangan berbanding lurus dengan putaran yang dihasilkan oleh generator.

4.2.4 Perubahan Bukaannya Guide vane dan Tekanan Air Terhadap Arus Keluaran Generator

Perubahan bukaan sudut guide vane dan tekanan air terhadap arus didapatkan grafik hubungan sebagai berikut.

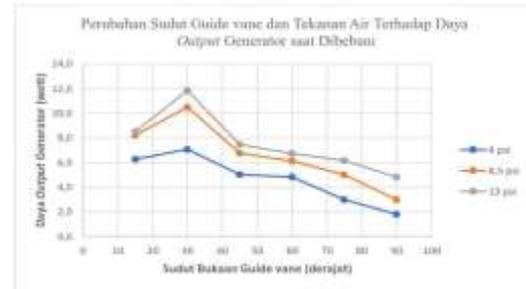


Gambar 10. Grafik Perubahan Sudut Guide vane dan Tekanan Air Terhadap Arus Setelah Dikopel Beban

Berdasarkan gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai arus maksimum berbanding lurus dengan putaran yang dihasilkan oleh generator.

4.2.5 Perubahan Bukaannya Guide vane dan Tekanan Air Terhadap Daya Keluaran Generator

Pengaruh perubahan bukaan sudut guide vane dan tekanan air terhadap daya keluaran generator didapatkan grafik hubungan sebagai berikut.



Gambar 11. Grafik Perubahan Sudut Guide vane dan Tekanan Air Terhadap Daya Keluaran

Berdasarkan gambar 11 dapat dilihat bahwa nilai daya berbanding lurus dengan tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan oleh generator.

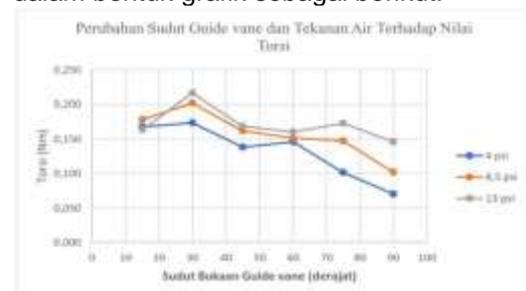
4.2.6 Perubahan Bukaannya Guide vane dan Tekanan Air Terhadap Torsi

Nilai torsi pada penelitian ini didapat melalui perhitungan menggunakan persamaan 5. Hasil perhitungan torsi pada penelitian ini ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Torsi

No	Bukaan Guide vane (derajat)	Torsi (Nm)		
		4 psi	8,5 psi	13 psi
1	15	0,17	0,18	0,16
2	30	0,17	0,20	0,22
3	45	0,14	0,16	0,17
4	60	0,15	0,15	0,16
5	75	0,10	0,15	0,17
6	90	0,07	0,10	0,15

Berdasarkan tabel 5 didapatkan hubungan perubahan bukaan sudut guide vane dan tekanan air terhadap nilai torsi dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 12. Grafik Perubahan Sudut Guide vane dan Tekanan Air Terhadap Torsi

Berdasarkan gambar 12, nilai torsi maksimum didapat pada kondisi sudut bukaan *guide vane* 30° dengan tekanan air 13 psi. Kondisi sudut bukaan *guide vane* 30° merupakan kondisi paling ideal dari segi kecepatan laju air dan arah jatuh air mengenai punggung sudu turbin sehingga dapat memaksimalkan energi kinetik air yang dapat diserap oleh runner turbin.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengaruh dari bukaan sudut *guide vane* terhadap putaran turbin yaitu semakin kecil sudut bukaan *guide vane* maka kecepatan air menuju turbin akan semakin besar sehingga putaran turbin akan semakin tinggi. Pengaruh dari bukaan sudut *guide vane* terhadap daya keluaran generator yaitu berbanding lurus dengan nilai putaran turbin yang dihasilkan. Namun pada saat sudut *guide vane* sebesar 15°, arah distribusi air tidak tepat mengenai punggung dari sudu bagian dalam, sehingga energi kinetik air tidak maksimal diserap oleh sudu turbin.
2. Pengaruh dari tekanan air terhadap putaran turbin yaitu semakin bertambah nilai tekanan yang diberikan, maka semakin besar pula nilai putaran dari turbin. Begitu pula dengan nilai daya yang berbanding lurus dengan nilai putaran turbin yaitu semakin besar tekanan yang diberikan, maka nilai daya yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini disebabkan oleh seiring peningkatan tekanan air semakin besar gaya dorong aliran air yang keluar dari pipa pesat yang kemudian mengenai turbin.
3. Nilai putaran dan daya maksimum diperoleh pada turbin dengan kondisi sudut bukaan *guide vane* 30° pada tekanan air 13 psi. Adapun nilai yang dihasilkan pada putaran turbin sebesar 591,9 rpm sebelum dikopel generator dan 522,7 rpm setelah dikopel generator. Nilai putaran generator didapatkan sebesar 3490 rpm sebelum dikopel beban dan 2368 rpm setelah dibebani. Dan nilai daya yang dihasilkan generator sebesar 11,8 Watt.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Saleh, Y. Apriani, F. Ardianto, dan R. Purwanto, "Analisis Karakteristik Turbin Crossflow Kapasitas 5 kW," *J. Surya Energy*, vol. 3, no. 2, hal. 255, 2019.
- [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] A. Nurhuda, Hasanuddin, dan A. K, "Perancangan Turbin Crossflow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bukit Biobio," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, 2016.
- [4] A. Nashrullah dan P. H. Adiwibowo, "Pengaruh Sudut Pengarah Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi Crossflow Poros Vertikal," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, 2019.
- [5] R. Soenoko, Purnami, dan F. G. Utami Dewi, "Second Stage Cross Flow Turbine Performance," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 6, hal. 1772–1779, 2017.
- [6] B. Yulianto dan Darjati, *Fisika Lingkungan*. 2017.
- [7] Suhendra, *Konsep Dasar dan Aplikasi Mekanika Fluida Bidang Teknik Mesin*. Ponorogo: Uwais Inspirasi Indonesia, 2019.
- [8] 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.
- [9] 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.