

PENGARUH PERUBAHAN JUMLAH SUDU TURBIN TURGO TERHADAP DAYA OUTPUT PADA *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Ida Bagus Made Pandwa Putra¹, I Wayan Arta Wijaya², I Gusti Ngurah Janardana³

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

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit, Jl Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80631

Email: pandawa2309@gmail.com¹

ABSTRAK

Kenaikan permintaan energi listrik di Indonesia menyebabkan berkurangnya cadangan bahan bakar konvensional. Keadaan ini memaksa manusia untuk mencari sumber energi alternatif atau biasa disebut energi baru dan terbarukan (EBT). Melihat keadaan geografis lingkungan di Indonesia yang sangat berpotensi untuk pengembangan energi listrik dengan memanfaatkan aliran air yang disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Dalam mengimplementasikan PLTMH dapat menggunakan salah satu jenis turbin impuls yaitu turbin Turgo. Pada penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu pada turbin turgo terhadap kecepatan putaran, torsi, tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh PLTMH menggunakan turbin Turgo, dengan variasi jumlah sudu yang digunakan yaitu 18,16,14,9,8, dan 7 buah sudu. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental kuantitatif, seluruh kombinasi parameter yang diujikan mendapatkan hasil yakni nilai karakteristik output tertinggi terjadi dengan menggunakan *runner* dengan jumlah sudu 18 sudu, di mana tegangan, arus, dan daya output yang sebesar 8,30 Volt, 0,88 Ampere, dan 7,27 Watt. Hasil putaran turbin tercepat sebesar 782,8 rpm sebelum dihubungkan dengan generator dan 565,4 rpm setelah dihubungkan dengan generator, sedangkan hasil putaran generator dihasilkan sebesar 1062,4 rpm. Torsi tertinggi yang dihasilkan sebesar 0,1Nm, Efisiensi maksimum yang diperoleh pada variasi sudu *runner* berjumlah 18 sudu yaitu 1,1 %.

Kata kunci : PLTMH, Turgo, Sudu, *Runner*, Arus, Tegangan, Torsi, *Prototype*

ABSTRACT

The increase in demand for electrical energy in Indonesia causes a reduction in conventional fuel reserves. This situation forces people to look for alternative energy sources or commonly called new and renewable energy (RE). Seeing the geographical condition of the environment in Indonesia which has the potential for the development of electrical energy by utilizing the flow of water, it is called a Micro Hydro Power Plant (PLTMH). In implementing MHP, one type of impulse turbine can be used, namely the Turgo turbine. This study focused on knowing the effect of variations in the number of blades on a turgo turbine on rotational speed, torque, voltage, current and power produced by PLTMH using a Turgo turbine, with variations in the number of blades used, namely 18,16,14,9,8, and 7 blades. The method used in this research is quantitative experimental, all combinations of parameters tested get the result that the highest output characteristic value occurs using a runner with a number of 18 blades, where the voltage, current, and output power are 8.30 Volts, 0, 88 Ampere, and 7.27 Watt. The fastest turbine rotation results are 782.8 rpm before being connected to a generator and 565.4 rpm after being connected to a generator, while the generator rotation results are 1062.4 rpm. The highest torque produced is 0.1Nm, the maximum efficiency obtained at the runner blade variation is 18 blades, which is 1.1%.

Key Words : MHP, Trugo, Blades, Runner, Current, Voltage, Torque, Prototype

1. PENDAHULUAN

Kenaikan permintaan energi listrik di Indonesia menyebabkan berkurangnya cadangan bahan bakar konvensional seperti minyak, gas dan batubara. Fenomena ini dikarenakan oleh pertumbuhan ekonomi yang semakin pesat, Tenaga Listrik PLN Tahun 2018 sampai 2027 mengalami pertumbuhan rata-rata sekitar 6,86% atau 56,024 MW, Indonesia saat ini memiliki kapasitas pembangkit terpasang sebesar 54.577,9 MW. Potensi energi terbarukan di Indonesia mencapai 443.208 MW, tetapi penggunaannya baru mencapai 1,9%. Dapat dilihat keadaan geografis Indonesia yang mempunyai banyak wilayah perairan, sehingga sangat berpotensi untuk pengembangan energi listrik memanfaatkan aliran air yang disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). [1]

Terdapat banyak penelitian mengenai PLTMH yang telah dilakukan di Bali, seperti Penelitian mengenai desain struktur turbin untuk PLTMH berkapasitas 158 kW melalui simulasi CFD. [2] Penelitian tentang pengembangan PLTMH dengan memanfaatkan aliran air pada sungai dan mendistribusikan listrik yg dihasilkan kepada masyarakat seperti di Desa Sambangan. [3] Penelitian mengenai pulau Bali yang memerlukan adanya penambahan daya listrik berbasis energi terbarukan seperti PLTMH kedepannya menyesuaikan kebijakan energi nasional Indonesia. [4]

Pada PLTMH Terdapat dua jenis turbin yang dapat di aplikasikan yaitu turbin impuls dan turbin reaksi, salah satu jenis turbin impuls adalah turbin Turgo. Terdapat banyak penelitian yang membahas tentang turbin Turgo. Salah satunya penelitian mengenai pemodelan aliran dan optimisasi desain serta pengoperasian pada aliran besar. Penelitian tersebut mengatakan turbin Turgo lebih efisien dibandingkan turbin Pelton. [5]

Disimpulkan dari penelitian-penelitian sebelumnya bahwa Indonesia khususnya Bali memiliki kebutuhan energi listrik dimasa depan yang besar diiringi juga peluang besar dalam penggunaan PLTMH serta pada penelitian sebelumnya dikatakan turbin Turgo adalah turbin impuls yang menghasilkan output lebih baik dibandingkan dengan turbin Pelton, untuk mendukung pengembangan PLTMH di masa depan serta masih kurangnya referensi mengenai penelitian turbin Turgo di Indonesia maka hal tersebut mendorong dilakukannya penelitian ini. Pada penelitian ini akan dilakukannya penelitian

mengenai PLTMH menggunakan turbin Turgo, penelitian ini difokuskan pada hasil pengujian terhadap variasi jumlah sudu *runner* turbin Turgo.

Analisis unjuk kerja turbin Turgo variasi jumlah sudu, dengan menetapkan jumlah variasi sudu sebanyak 6 buah. Sudu sangat berpengaruh terhadap performa dari turbin, karena pada sudu timbulnya gaya tangensial dari air yang menyebabkan turbin dapat berputar., penelitian ini dilakukan dengan membuat prototype PLTMH skala laboratorium sebagai kegiatan pembelajaran di laboratorium agar dapat melakukan pengujian variasi jumlah sudu untuk memperoleh hasil output terbaik pada turbin turgo.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Turbin Air

Turbin air merupakan media penampang yang bertugas menerima pancaran laju air, secara garis besar struktur turbin terdiri dari poros dan sudu. Sudu permanen tidak berputar bersama poros dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar mengarahkan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. [6]

2.2 Turbin Turgo

Turbin Turgo adalah salah satu dari jenis turbin impuls sistem kerja dari turbin ini mirip seperti turbin Pelton. Turbin Turgo dapat diaplikasikan pada *head* sedang hingga tinggi. Seperti turbin Pelton, turbin Turgo memiliki kurva efisiensi yang luar biasa sehingga merupakan solusi terbaik untuk variasi laju aliran besar.

2.3 Perhitungan Desain *Runner* Turbin Turgo

Dua variabel pokok yang berkaitan dalam penghitungan ukuran yaitu kecepatan spesifik n_q dan ketinggian *head* yang diinginkan H_{maks} . Ukuran-ukuran utama turbin *Turgo* yaitu sebagai berikut:

Keterangan :

D = Diameter *Runner* (cm)

u = Kecepatan Tangensial (m/s)

n = Kecepatan Putaran Turbin (RPM)

d = Diameter nozzle

1) Diameter *Runner* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut : [7]

$$D = \frac{60.u}{\pi.n} \quad (1)$$

2) Perancangan Dimensi dan Jumlah Sudu Untuk menentukan dimensi atau ukuran

dari sudu dapat dihitung secara matematis menggunakan persamaan seperti berikut: [8]

$$\text{Panjang sudu} = 3,4 \times d \quad (2)$$

$$\text{Lebar sudu} = 2,34 \times d \quad (3)$$

$$\text{Kedalaman} = 0,585 \times d \quad (4)$$

Keterangan :

d = diameter nozzle

3) Perhitungan Jumlah Sudu

Untuk menentukan jumlah dari sudu dapat dihitung secara matematis dengan persamaan berikut :

$$Z = 5,4 \sqrt{\frac{D}{d}} \quad (5)$$

2.4 Persamaan Daya Hidrolis, Daya, Torsi dan Efisiensi

Berikut merupakan persamaan yang digunakan dalam menghitung daya hidrolis, daya, torsi dan efisiensi

1) Daya Hidrolis

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (6)$$

Keterangan :

P_H = Daya Hidrolis (Watt)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)

g = Percepatan Gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Q = Debit Air (m^3/s)

h = Tinggi Jatuh Air (m)

2) Daya

$$P_{out} = I \times V \quad (7)$$

Keterangan :

P_{out} = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

3) Torsi

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} \quad (8)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

P = Daya (Watt)

n = Kecepatan Putaran (rpm)

π = phi (3,14)

4) Efisiensi sistem PLTMH [9]

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \cdot 100\% \quad (9)$$

Keterangan :

η_{PLTMH} = Efisiensi sistem PLTMH

P_T = Daya Turbin

P_G = Daya Generator

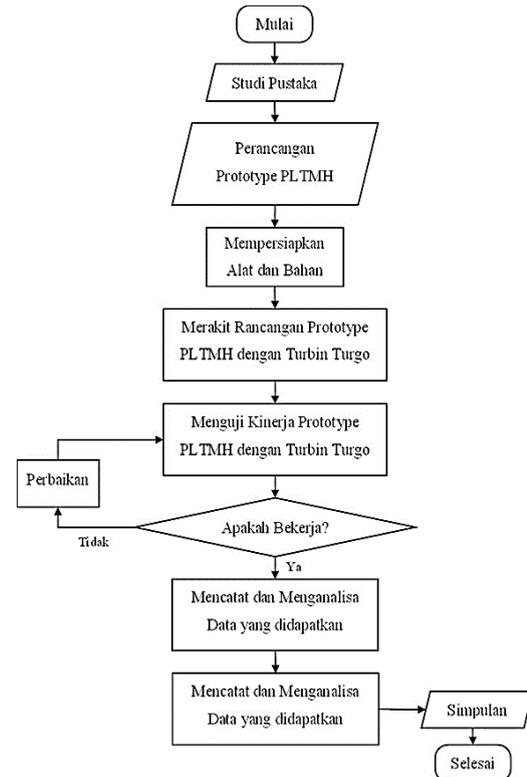
P_H = Daya Hidrolis

3. METODE DAN PERANCANGAN

SISTEM

3.1 Flowchart Penelitian

Tahap Penelitian Secara sistematis dilaksanakan dalam dua tahapan yaitu perancangan *prototype* PLTMH skala laboratorium dengan menggunakan jenis turbin Turgo, dan pengujian variasi jumlah sudu terhadap karakteristik dari turbin Turgo pada perancangan PLTMH skala laboratorium. Adapun tahap perancangan *prototype* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3.2 Perencanaan Sistem

Dengan menetapkan variable tetap dari nilai *head*, debit, sudut bukaan air masuk, serta diameter dan panjang pipa yang digunakan , data perencanaan system *prototype* PLTMH disajikan dalam Tabel 1. sebagai berikut :

Tabel 1. Data Perencanaan Sistem

No	Parameter	Nilai
1	Volume Box	0,045 m ³ atau 45 L
2	Head	Setara 15 meter
3	Diameter Pipa	1 dim
4	Debit	0,045 m ³ /s atau 45 L/s

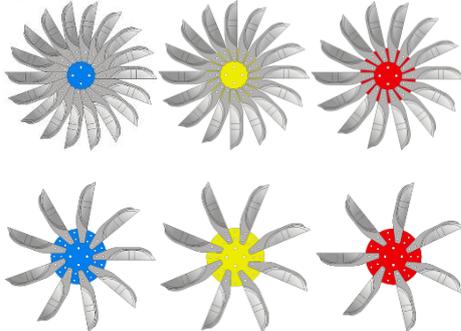
Tabel 2. Perhitungan Dimensi Turbin dan Sudu

No	Parameter	Nilai
1	Runner	22 cm
2	Panjang Sudu	6,8 cm
3	Lebar Sudu	4,68 cm

4	Tinggi Sudu	1,17 cm
5	Jumlah Maksimal Sudu	18 buah

3.3 Desain *Runner* Turbin Turgo dengan variasi jumlah sudu

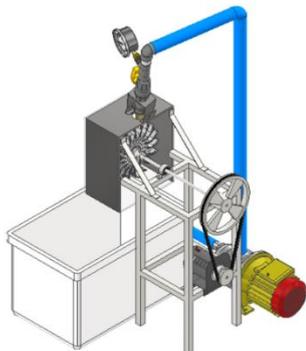
Dari perhitungan jumlah sudu optimal yang akan digunakan PLTMH ini didapatkan 18 sudu. Variasi jumlah sudu yang diaplikasikan pada penelitian ini yaitu : 18 sudu, 16 sudu, 14 sudu, 9 sudu, 8 sudu, 7sudu yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Desain *Runner* Turbin Turgo dengan variasi jumlah sudu

3.4 Desain *Prototype* PLTMH dengan menggunakan Turbin Turgo

Berikut merupakan desain protoype Pembangkit Listrik Tenaga MicroHidro (PLTMH) dengan menggunakan turbin Turgo yang digambar pada software *Autodesk inventor* :



Gambar 3. Desain *Prototype* PLTMH tampak atas

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi *Runner* Turbin Turgo dengan Variasi Jumlah Sudu

1.) *Runner* Turbin Turgo memiliki diameter keseluruhan 22 cm, berbentuk bulat dan terdiri dari sudu-sudu yang mengelilingi *disk*. Realisasi *runner* yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Realisasi *Runner* Turbin Turgo dengan Variasi Jumlah Sudu

4.2 Realisasi *Prototype* PLTMH dengan Menggunakan Turbin Turgo

Realisasi *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro menggunakan turbin Turgo dapat dilihat pada gambar 5.



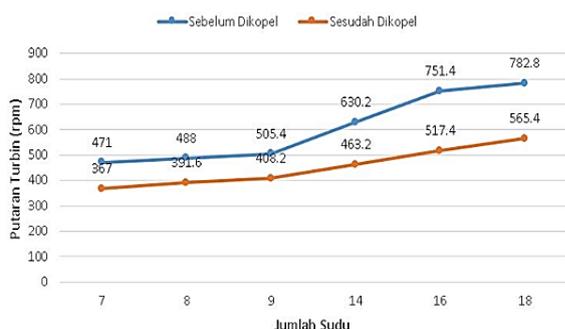
Gambar 5. Realisasi *Prototype* PLTMH dengan Menggunakan Turbin Turgo

4.3 Pengukuran *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan Menggunakan Turbin Turgo

Dalam melakukan pengukuran pada *prototype* diperlukan nilai tekanan dan debit air yang akan digunakan. Tekanan air yang dipergunakan dalam penelitian variasi jumlah sudu tubin pada *prototype* ini ditentukan pada angka 21 psi yang didapat dari perhitungan mencari tekanan yang setara dengan *head* 15 meter, dan besar derajat yang digunakan sebesar 70°

4.4 Pengukuran Putaran Turbin

Berikut merupakan hasil pengukuran perubahan jumlah sudu terhadap putaran turbin yang ditampilkan melalui grafik dapat dilihat pada gambar 6.

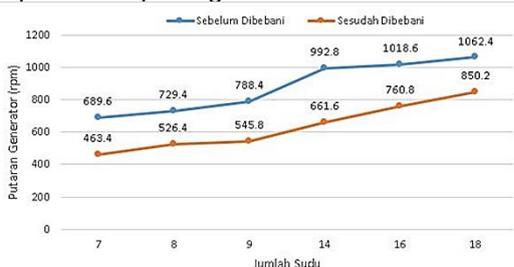


Gambar 6. Grafik perubahan sudu terhadap putaran turbin sebelum dan sesudah dikopel

Berdasarkan gambar 6 mengenai grafik perubahan sudu terhadap putaran turbin sebelum dikopel dan sesudah dikopel terlihat perubahan jumlah sudu yang semakin banyak mengakibatkan putaran turbin semakin cepat. Saat poros turbin dihubungkan dengan generator kecepatan putaran turbin jadi menurun, hal ini terjadi karena poros turbin memperoleh beban kerja untuk memutar generator. Sebelum dihubungkan dengan generator, kecepatan putaran turbin tertinggi terjadi ketika runner dipasang 18 buah sudu yaitu sebesar 782,8 dan ketika setelah dihubungkan dengan generator, kecepatan putaran turbin tertinggi terjadi ketika runner dipasang 18 buah sudu yaitu sebesar 565,4 rpm.

4.5 Putaran Generator

Berikut merupakan hasil pengukuran perubahan jumlah sudu terhadap putaran generator yang ditampilkan melalui grafik dapat dilihat pada gambar 7.



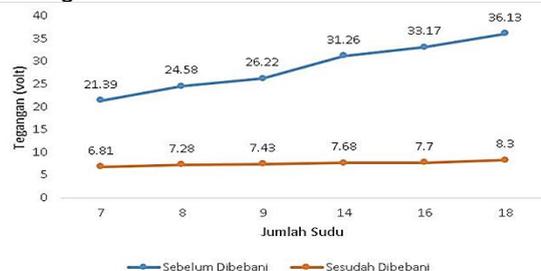
Gambar 7. Grafik perubahan sudu terhadap putaran Generator sebelum dan sesudah dibebani

Berdasarkan gambar 7 mengenai grafik perubahan sudu terhadap putaran generator sebelum dan sesudah dibebani dapat dilihat semakin banyak jumlah sudu pada turbin mengakibatkan generator semakin cepat berputar. Semakin cepat putaran turbin mengakibatkan semakin cepatnya juga putaran yang terjadi di generator. Kecepatan putaran generator tertinggi terjadi ketika runner dipasang 18

buah sudu yakni sebesar 1062,4 rpm. Saat diberi beban lampu sebesar 260 watt putaran generator tertinggi terjadi ketika runner dipasang 18 buah sudu yaitu sebesar 850,2 rpm.

4.6 Tegangan Generator

Grafik hasil pengukuran perubahan jumlah sudu terhadap tegangan generator dapat dilihat pada gambar 8.

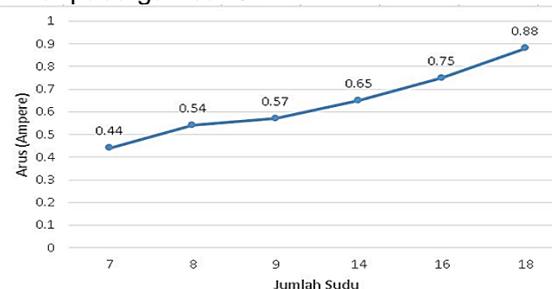


Gambar 8. Grafik perubahan sudu terhadap tegangan generator sebelum dan sesudah dibebani

Berdasarkan gambar 8 mengenai grafik perubahan sudu terhadap tegangan generator sebelum dibebani dan sesudah dibebani, dapat dilihat semakin bertambahnya jumlah sudu pada runner, tegangan generator semakin meningkat. Tegangan generator tertinggi terjadi ketika runner dipasang 18 buah sudu yaitu sebesar 36,13 volt. Saat diberi beban lampu sebesar 260 watt tegangan generator tertinggi terjadi ketika runner dipasang 18 buah sudu yaitu sebesar 8,3 volt.

4.7 Arus Generator

Hasil Grafik dari pengukuran variasi jumlah sudu terhadap Arus generator dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik perubahan sudu terhadap Arus generator sesudah dibebani

Berdasarkan pada gambar 9 mengenai grafik perubahan sudu terhadap arus generator setelah dibebani dapat dilihat semakin bertambahnya jumlah sudu pada runner mengakibatkan arus yang dihasilkan generator meningkat. Arus generator tertinggi terjadi ketika runner dipasang 18 buah sudu yaitu sebesar 0,88 A.

4.8 Daya Output Generator

Hasil Grafik hasil pengukuran variasi jumlah sudu terhadap Daya Output generator dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik variasi jumlah sudu terhadap Daya generator sesudah dibebani

Berdasarkan pada gambar 10 mengenai grafik perubahan sudu terhadap daya output generator setelah dibebani, terlihat ketika jumlah sudu diperbanyak daya yang dihasilkan oleh generator semakin meningkat. Daya tertinggi yang dicapai generator terjadi ketika *runner* dipasang 18 buah sudu yaitu sebesar 7,27 A.

4.9 Perhitungan Torsi Prototype PLTMH

Pengukuran yang dilakukan pada *prototype* PLTMH dengan input parameter jumlah sudu turbin bervariasi akan menghasilkan torsi turbin saat dikopel dengan generator. Berikut merupakan Tabel hasil perhitungan torsi *Prototype* PLTMH.

Tabel 3. Perhitungan Torsi Protortype PLTMH

Jumlah Sudu	Torsi (Nm)
7	0,07
8	0,09
9	0,1
14	0,1
16	0,1
18	0,1

4.10 Perhitungan Daya Hidrolis

Daya hidrolis adalah daya yang dihasilkan oleh laju aliran air, dalam hal ini daya hidrolis didapatkan dari semburan air yang dialirkan oleh pompa. Daya hidrolis ini dipengaruhi oleh tinggi jatuh air, massa jenis air, gaya gravitasi, dan debit air. Pengukuran pada *prototype* PLTMH dengan input parameter jumlah sudu bervariasi, dengan menggunakan tekanan air setara *head* 15 meter yaitu sebesar 21 psi, kemudian debit air sebesar 0,0045 m³/s. Berikut Tabel perhitungan daya hidrolisis *prototype* PLTMH.

Tabel 4. Perhitungan Daya Hidrolisis

Jumlah Sudu	Tinggi Air	Massa Jenis	Gaya Gravitasi	Debit Air	P _H (Watt)
7	15	1000	9,81	0,0045	661,5
8	15	1000	9,81	0,0045	661,5
9	15	1000	9,81	0,0045	661,5
14	15	1000	9,81	0,0045	661,5
16	15	1000	9,81	0,0045	661,5
18	15	1000	9,81	0,0045	661,5

	Jatuh (m)	Air (kg/m ³)	(m/s ²)	(m ³ /s)	
7	15	1000	9,81	0,0045	661,5
8	15	1000	9,81	0,0045	661,5
9	15	1000	9,81	0,0045	661,5
14	15	1000	9,81	0,0045	661,5
16	15	1000	9,81	0,0045	661,5
18	15	1000	9,81	0,0045	661,5

Berdasarkan tabel 4 mengenai Hasil pengukuran daya hidrolisis, dapat dilihat bahwa daya hidrolis yang didapatkan dari seluruh variasi jumlah sudu yaitu konstan sebesar 661,5 watt. Karena pada saat pengujian hanya menggunakan 1 parameter tekanan air sebesar 21 psi dan 1 parameter debit air sebesar 0,0045 m³/s.

4.11 Perhitungan Efisiensi Sistem Prototype PLTMH

Efisiensi sistem (η PLTMH) adalah kemampuan sistem *prototype* PLTMH untuk mengkonversi energi kinetik air menjadi energi listrik. Dari pengukuran yang dilakukan dengan input parameter jumlah sudu yang berbeda-beda, maka diperoleh efisiensi dari sistem *prototype* PLTMH turbin Turgo yang didapatkan dari daya output generator dibagi dengan daya hidrolis. Berikut merupakan Tabel hasil perhitungan efisiensi *Prototype* PLTMH.

Tabel 5. Efisiensi PLTMH

No	Jumlah Sudu	Daya Generator (Watt)	Daya Hidrolis (Watt)	Efisiensi PLTMH (%)
1	7	2.95	661,5	0,45
2	8	3.93	661,5	0,59
3	9	4.26	661,5	0,64
4	14	4.61	661,5	0,75
5	16	6.3	661,5	0,86
6	18	7.27	661,5	1,1

Berdasarkan tabel 5 mengenai Hasil perhitungan efisiensi sistem, terlihat semakin banyak sudu yang diaplikasikan pada *runner* turbin mengakibatkan efisiensi sistem PLTMH menjadi meningkat. Bertambahnya pengaplikasian sudu pada *runner* mengakibatkan semakin cepat turbin menerima impuls dari semprotan air yang keluar dari nozzle, sehingga menyebabkan turbin semakin cepat berputar serta menyebabkan tegangan, arus, dan daya generator meningkat. Efisiensi sistem PLTMH tertinggi terjadi ketika *runner*

dipasangi 18 buah sudu yaitu sebesar 1,1 %, sedangkan efisiensi terendah terjadi ketika *runner* dipasangi 7 buah sudu yaitu sebesar 0,45%. Kecilnya efisiensi yang dihasilkan dikarenakan usia dari generator yang sudah cukup tua sehingga mempengaruhi kinerja efisiensi output daya dari generator tersebut.

5. SIMPULAN

Simpulan yang didapat setelah dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

Pengujian perubahan variasi jumlah sudu pada *prototype* PLTMH menggunakan turbin Turgo ini mendapatkan hasil yakni nilai karakteristik output tertinggi terjadi ketika *runner* dipasangi 18 buah sudu, di mana tegangan, arus, dan daya output yang dihasilkan generator yaitu sebesar 8,30 Volt, 0,88 Ampere, dan 7,27 Watt. Kecepatan putaran Turbin 782,8 rpm sebelum dikopel dengan generator dan 565,4 rpm setelah dikopel dengan generator, sedangkan kecepatan putaran generator yang dihasilkan yaitu sebesar 1062,4 rpm. Berdasarkan hasil pengujian, torsi yang dapat menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang paling besar pada *prototype* PLTMH ini adalah dengan menggunakan *runner* 18 sudu dengan torsi yang dihasilkan 0,1 Nm. Efisiensi tertinggi yang diperoleh pada pengujian *prototype* PLTMH ini adalah pada *runner* dengan jumlah sudu 18 yaitu sebesar 1,1 %.

6. SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk mengembangkan *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin Turgo ini. Perlunya penggantian generator ke keadaan yang baik agar dapat meningkatkan daya yang dihasilkan, perlu dilakukan penambahan jumlah nozzel pada *prototype* agar sumber gaya impuls yang diterima sudu-sudu turbin semakin banyak, dan Pemasangan pulley perlu diperhatikan kekencangannya sehingga tidak mengganggu putaran turbin dan putaran generator pada pengoperasian PLTMH.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhakti Parikesit, S. 2017. Peraturan Presiden Republik Indoneisa Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi, Sekretaris Kabinet Republik Indonesia.
- [2] Ari Laksana, D.P.A. Giriantari, I.A.D. Kumara, I.N.S. 2020. Redesain Turbin 175 KW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Mekar Sari Buleleng Bali. Bali : Majalah Ilmiah Teknologi Elektro
- [3] Kumara, I.N.S. Suparyawan, D.P.D.

- Ariastina, W.G. Sukerayasa, W. Giriantari, I.A.D. 2014. Microhydro powerplant for rural area in Bali to generate green and sustainable electricity. Kuta : International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS)
- [4] Kumara, I. N. S. Ariastina, W. G Sukerayasa .I. W. and Giriantari, I. A. D. 2014. On the potential and progress of renewable electricity generation in Bali. Yogyakarta : 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE).
- [5] Dimitrios, P. 2007. *Flow Modeling and Runner Design Optimization in Turgo Water Turbines*. Greece : National Technical University of Athens.
- [6] Jasa, L. 2015. Peningkatan Efisiensi Turbin dengan Pembaruan Desain Turbin Banki untuk Mikro Hidro di Daerah Tropis. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Putra, G. A. A. 2009. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Pelton. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- [8] Soe, M. 2019 . Effect of Jet Angle on the Performance of a Turgo Turbine. Myanmar: Department of Mechanical Engineering, Mandalay Technological University
- [9] Saputra, N. 2020. "Pengaruh Jumlah Sudu Pada *Prototype* PLTMH Dengan Menggunakan Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Yang Dihasilkan. Bali : Universitas Udayana