

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN DUA NOZZLE TERHADAP DAYA OUTPUT LISTRIK PADA PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN TURGO

I.G. Yoga Pratama¹, I.W. Arta Wijaya², I.N. Budiastira²

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

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jimbaran, Kabupaten Badung, Bali

yoga.pratamagede@gmail.com, artawijaya@ee.unud.ac.id, budiastira@unud.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan dua *nozzle* pada *prototype* PLTPH dengan turbin turgo karena pada penelitian ini ingin menerapkan penggunaan dua *nozzle* yang ada dalam turbin pelton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan dua *nozzle* terhadap daya *output* yang dihasilkan oleh *prototype* PLTPH dengan metode pengujian secara langsung pada *prototype* yang dibuat. *Prototype* PLTPH dua *nozzle* dengan turbin turgo ini dapat menghasilkan putaran turbin lebih besar dibandingkan kondisi *eksisting*. Hasil akhir didapatkan putaran tertinggi pada turbin dengan menggunakan 2 *nozzle* dimana sudut *nozzle* A 70° berdasarkan sumbu x dan sudut *nozzle* B 60° berdasarkan sumbu y sebesar 752,2 rpm. Pada pengujian transmisi *gear* rasio 4:1 didapatkan hasil putaran turbin 504,4 rpm, putaran generator 2114,9 rpm, tegangan 10,99 volt, arus 4,43 ampere, dan daya 48,70 watt.

Kata Kunci : PLTPH, turbin turgo, *nozzle*, putaran, daya

ABSTRACT

This study uses two nozzles on the PLTPH prototype with a turgo turbine because this research wants to apply the use of two nozzles in a pelton turbine. This study aims to determine the effect of using two nozzles on the output power produced by the PLTPH prototype with the direct test method on the prototype made. This two-nozzle PLTPH prototype with a turgo turbine can produce higher turbine rotation than the existing conditions. The final result is the highest rotation on the turbine using 2 nozzles where the A nozzle angle is 70° based on the x axis and the B nozzle angle is 60° based on the y axis of 752.2 rpm. In the 4:1 gear ratio transmission test, the results obtained were 504.4 rpm turbine rotation, 2114.9 rpm generator rotation, 10.99 volt voltage, 4.43 amperes current, and 48.70 watt power.

Keywords: PLTPH, turgo turbine, *nozzle*, rotation, power

1. PENDAHULUAN

Keperluan energi listrik semakin meningkat setiap tahunnya sehingga bahan bakar konvensional seperti gas, minyak bumi, dan batu bara menjadi berkurang. Masalah kebutuhan energi yang meningkat

bisa diatasi dengan cara memanfaatkan energi baru dan terbarukan (EBT) seperti energi air, energi surya atau matahari, energi biomassa dan energi angin. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dapat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan

listrik di Indonesia karena faktor curah hujan yang tinggi.

Potensi energi baru dan terbarukan (EBT) di Provinsi Bali sekitar 11.806 MW dimana untuk energi mini/mikro hidro sebesar 37 MW. Bali merupakan salah satu daerah yang memanfaatkan aliran air sebagai destinasi wisata salah satunya Air Terjun Kanto Lampo di Kabupaten Gianyar dengan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air, menurut I Nyoman Suta selaku pengelola Air Terjun Kanto Lampo memiliki *head* 15 meter, debit air pada musim kemarau sebesar 0,51 m³/s, dan aliran air berasal dari Bendungan Ubon yang berjarak 1,5 km dari air terjun. Berdasarkan survei yang telah dilakukan di Air Terjun Kanto Lampo, jarak antara tempat parkir kendaraan dengan air terjun sekitar 150 meter dimana pada akses jalan belum mempunyai penerangan yang memadai sehingga potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH).

Berdasar uraian diatas, maka tujuan penelitian ini yaitu memanfaatkan potensi tersebut dengan merancang *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro dan membahas tentang pengaruh penggunaan dua *nozzle* terhadap daya output listrik yang dihasilkan pada *prototype* PLTPH dengan menggunakan turbin turgo.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH)

PLTPH merupakan suatu pembangkit listrik tenaga air berskala kecil yang mempunyai daya *output* dari ratusan Watt hingga 5 Kilowatt dengan memanfaatkan debit air serta *head* dari air terjun, sungai, dan saluran irigasi. [1]

Prinsip dasar dari PLTPH ini memanfaatkan energi dari aliran air berupa energi potensial dari ketinggian tertentu pada tempat pemasangan pembangkit listrik dan debit dari aliran air untuk menghasilkan energi untuk dimanfaatkan. [2]

2.2 Turbin Turgo

Turbin turgo merupakan salah satu jenis dari turbin impuls yang dapat digunakan dalam sistem PLTPH. Komponen turbin beroperasi pada tekanan air sehingga mendapatkan energi maksimum dari aliran air bertekanan tinggi. Head tekanan yang didapatkan dari air diubah menjadi head

kecepatan oleh *nozzle*. Semburan air berkecepatan tinggi dari *nozzle* mengenai sudu turbin yang kemudian menumbuk sudu turbin sehingga menghasilkan putaran yang dapat ditransmisikan secara langsung dari turbin ke generator. Pada dasarnya komponen utama dari turbin turgo terdiri dari *runner*, *nozzle*, *bucket*, *casing* dan *penstock*. [3]

1. *Runner* adalah piringan bundar dengan sejumlah *bucket* yang terpasang di sekelilingnya yang digunakan sebagai roda pemutar dari poros yang telah dilalui tekanan air.
2. Sudu merupakan komponen turbin turgo yang dipasang pada *runner* yang berfungsi untuk menahan pancaran air menjadi 2 bagian agar mendapat gaya potensial yang maksimum dari air.
3. *Nozzle* merupakan bagian dari turbin turgo untuk mengatur kapasitas air yang masuk ke turbin, mengubah tekanan air menjadi energi kinetik, serta mengarahkan pancaran air ke sudu *runner*.
4. Rumah Turbin merupakan tempat dimana *nozzle* terpasang, melindungi turbin agar tidak ada gangguan dari luar seperti kotoran, dan membelokkan air dengan teratur
5. *Penstock* adalah pipa dan saluran yang dipasang di hulu turbin untuk mengalirkan air dari waduk atau bendungan ke turbin.

2.3 Perhitungan Daya, Debit, dan Torsi

Berdasarkan debit aliran air dan tinggi jatuh air (*head*) bisa diperoleh daya hidrolis atau daya yang dihasilkan suatu pembangkit listrik tenaga air. Daya hidrolis dalam penelitian ini diperoleh dari daya air pompa [7]:

$$PH = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (1)$$

Keterangan :

PH = Daya hidrolis (Watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

Q = Debit air (m³/s)

h = Tinggi jatuh air (m)

Sedangkan daya yang dihasilkan turbin diperoleh berdasarkan tegangan(V) dan arus listrik(I) yaitu [6] :

$$P_{out} = I \cdot V \quad (2)$$

Keterangan :

P_{out} = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Daya yang dihasilkan oleh turbin dapat dinyatakan sesuai persamaan (3) [5]:

$$PT = T \cdot \omega \quad (3)$$

Keterangan :

PT = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

Debit air merupakan jumlah dari banyaknya air mengalir dalam satu waktu melewati sebuah penampang. Pengujian ini bertujuan agar mengetahui banyak air mengalir dengan satuan volume per satuan waktu. Nilai debit air dinyatakan dengan persamaan (4) [6] :

$$Q = A \cdot V \quad (4)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)

V = Kecepatan air (m/s)

A = Luas penampang (m²)

Torsi adalah suatu besaran dari besarnya gaya yang terjadi sebuah benda sehingga benda tersebut mengalami rotasi. Torsi pada turbin turgo bisa dinyatakan melalui persamaan (5) [7] :

$$T = \frac{P}{20 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \quad (5)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

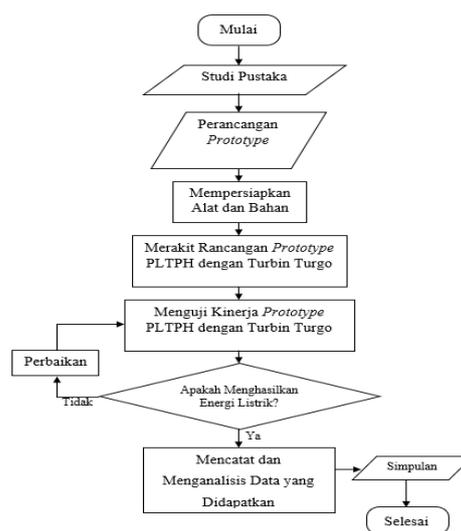
P = Daya (Watt)

n = Kecepatan putaran (rpm)

π = Phi (3,14)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini mulai dikerjakan pada bulan Januari tahun 2023 dan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi dan Workshop, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran, Bali. Secara sistematis pada perancangan pembuatan alat uji prototype PLTPH menggunakan turbin turgo bisa dilihat pada gambar 1 :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berikut penjelasan dari gambar 1 :

Langkah 1. Studi Pustaka

Penelitian ini berawal dari studi pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini.

Langkah 2. Perancangan *Prototype*

Perancangan *prototype* dibuat dan disesuaikan dengan literatur literatur terkait. Desain pemodelan PLTPH dibuat menggunakan *software* Autodesk Fusion 360 dan digunakan sebagai acuan dalam membangun *prototype* PLTPH yang akan dibuat.

Langkah 3. Mempersiapkan Alat dan Bahan

Pembuatan desain *prototype* PLTPH diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan.

Langkah 4. Merakit Rancangan *Prototype* PLTPH dengan Turbin Turgo

Merakit PLTPH sesuai dengan desain yang dibuat sebelumnya.

Langkah 5. Menguji Kinerja *Prototype* PLTPH dengan Turbin Turgo

Pengujian dilakukan dengan mengalirkan air ke dalam turbin menggunakan pompa air. *Prototype* dikatakan sudah sesuai jika tidak ada kebocoran, *runner* dapat berputar, posisi *nozzle* mengarah ke dalam tengah sudu dan dapat menghasilkan listrik.

Langkah 6. Mencatat dan Menganalisis Data yang Didapatkan

Setelah *prototype* dapat menghasilkan energi maka dilakukan pencatatan dan analisis data.

Langkah 7. Simpulan

Berdasarkan Langkah ke 6 maka dapat ditarik kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Penggunaan 2 Nozzle Dengan Menggunakan Turbin Turgo

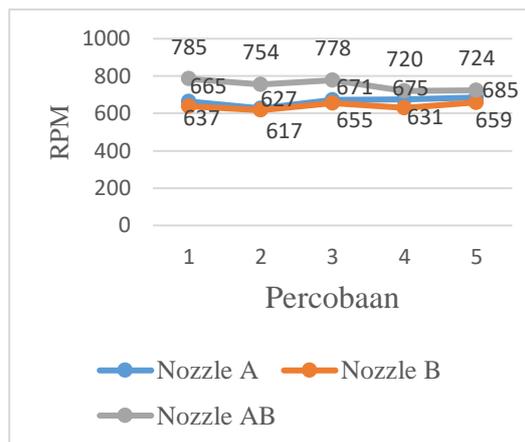
Pada prototype PLTPH yang telah dibuat menggunakan 2 buah *nozzle* dengan diameter masing - masing 20 mm, lalu dengan besar sudut sebesar 70° berdasarkan sumbu x pada *nozzle* A dan sudut sebesar 60° berdasarkan sumbu y pada *nozzle* B agar tepat mengenai bagian mangkok sudu sehingga mendapatkan hasil yang maksimum, serta untuk posisi masing - masing *nozzle* terdapat pada bagian atas yaitu A sedangkan untuk *nozzle* pada bagian samping yaitu B. Gambar 2 merupakan realisasi dari penggunaan 2 buah *nozzle* dengan menggunakan turbin turgo pada *prototype* PLTPH.



Gambar 2. Realisasi Penggunaan 2 Nozzle

4.2 Hasil Akhir Data Prototype PLTPH Menggunakan 2 Nozzle Dengan Turbin Turgo

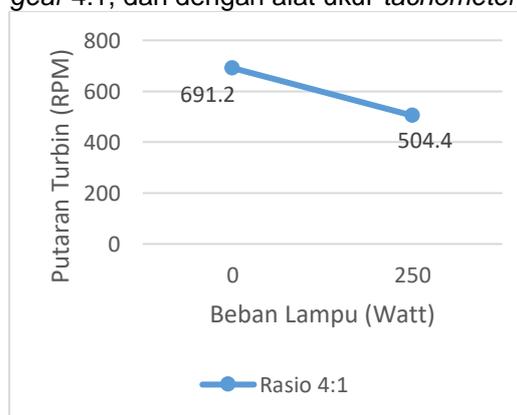
Analisis pengukuran parameter seperti putaran turbin dan generator, tegangan, arus, serta daya generator dalam *prototype* PLTPH turbin turgo ini menggunakan dua *nozzle* yaitu *nozzle* AB, pada *nozzle* A dan B menggunakan tekanan air 21 psi, dan menggunakan rasio *gear* 4:1. Hasil pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali akan diperoleh rata-rata pada setiap parameter. Berikut adalah hasil pengukuran serta rata-rata dari pengukuran yang sudah dilakukan.



Gambar 3. Grafik Putaran Turbin Sebelum Dikopel Generator

Berdasarkan grafik pada gambar 3 dengan 2 *nozzle* mendapatkan hasil putaran turbin yang tertinggi dikarenakan adanya gaya tangensial atau gaya dorong air yang tepat mengenai sudu turbin secara bersamaan dari 2 arah sehingga putaran turbin yang dihasilkan lebih maksimal jika dibandingkan hanya menggunakan 1 *nozzle* saja.

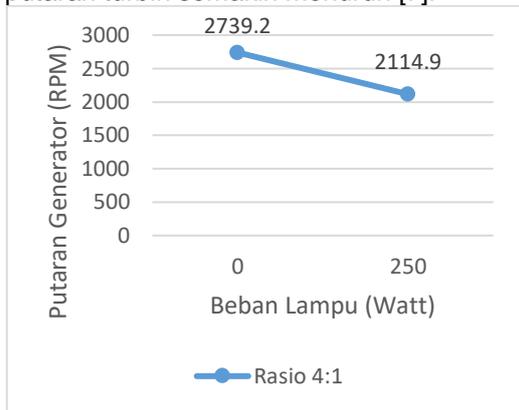
Selanjutnya terdapat pengukuran dari putaran generator setelah dan sebelum dikopel dengan beban. Dalam pengukuran putaran turbin menggunakan dua *nozzle* dengan sudut *nozzle* A sebesar 70° berdasarkan sumbu x dan *nozzle* B sebesar 60° berdasarkan sumbu y, untuk *nozzle* A dan B menggunakan tekanan air sebesar 21 psi, beban lampu DC sebesar 250 W, rasio *gear* 4:1, dan dengan alat ukur *tachometer*.



Gambar 4. Grafik Kecepatan Putaran Turbin

Berdasarkan grafik pada gambar 4, kecepatan putar turbin didapatkan pada rasio *gear* 4:1 yaitu sebesar 691,2 rpm pada saat tidak berbeban. Hal ini terjadi karena pada rasio *gear* 4:1 membutuhkan torsi yang

lebih tinggi untuk memutar generator, maka beban kerja yang diperlukan turbin untuk memutar generator lebih besar sehingga putaran turbin semakin menurun [7].



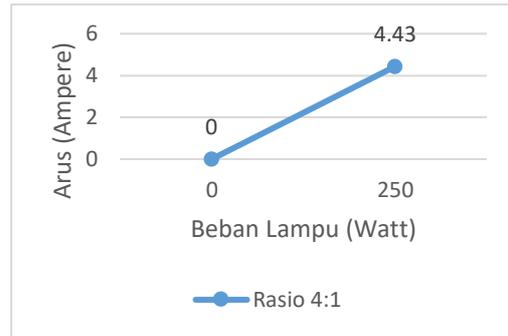
Gambar 5. Grafik Kecepatan Putaran Generator

Berdasarkan gambar 5 diketahui bahwa kecepatan putaran generator yang didapatkan pada rasio gear 4:1 yaitu 2739,2 rpm pada saat tidak berbeban. Kecepatan generator dengan rasio 4 : 1 mendapatkan kecepatan yang tinggi karena rasio gear 4:1 memiliki putaran turbin sebanyak 1 kali dan putaran generator sebanyak 4 kali.



Gambar 6. Grafik Pengukuran Tegangan

Berdasarkan gambar 6 dapat dilihat bahwa tegangan yang didapatkan pada rasio gear 4:1 saat tidak berbeban sebesar 19,94 Volt. Hal ini terjadi karena saat generator diberi beban akan timbul reaksi jangkar yang disebabkan oleh adanya arus. Arus menghasilkan gaya gerak listrik induksi yang bertegangan negatif yang akan berlawanan dengan tegangan terminal hingga semakin besar arus maka semakin besar GGL yang dihasilkan dan membuat tegangan generator mengalami penurunan.



Gambar 7. Grafik Pengukuran Arus

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat bahwa dalam keadaan generator tanpa dibebani tidak akan menghasilkan arus. Setelah generator dikopel beban, arus yang didapatkan pada rasio gear 4:1 sebesar 4,43 Ampere pada beban 250 Watt.



Gambar 8. Grafik Perhitungan Daya

Berdasarkan gambar 8 dapat dilihat bahwa daya generator yang didapatkan rasio gear 4:1 dengan beban 250 Watt yaitu sebesar 48,7 Watt.

4.3 Perhitungan Daya Hidrolis

Pada pengukuran dari pengujian PLTPH dengan input tekanan air 21 psi ini maka didapatkan daya hidrolis yang diperoleh dari daya air yang dihasilkan oleh pompa.

Berdasarkan dari perhitungan nilai debit air, telah didapatkan debit air sebesar 0,0045 m³/s sehingga daya hidrolis PLTPH dapat dihitung sebagai berikut :

$$PH = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,0045 \cdot 15 = 661,5 \text{ Watt}$$

4.4 Perhitungan Torsi

Berdasarkan hasil pengukuran prototype PLTPH dengan input tekanan air 21 psi dan rasio gear 4:1, maka diperoleh torsi turbin saat dikopel dengan generator. Kecepatan putaran turbin yang dikopel dengan generator yaitu 691,2 rpm dan daya yang dihasilkan generator yaitu 48,70 Watt sehingga torsi pada tekanan 21 psi adalah :

$$T = \frac{48,70}{2.3,14 \cdot \frac{691,2}{60}} = 0,673 \text{ Nm}$$

Torsi dipengaruhi oleh kecepatan putaran turbin. Karena pada rasio 4:1 turbin membutuhkan torsi yang lebih besar untuk memutar generator agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Torsi yang didapatkan pada transmisi *gear* rasio 4:1 sebesar 0,673 Nm

5. KESIMPULAN

Pengaruh dari penggunaan 2 *nozzle* pada *prototype* PLTPH dengan turbin turgo terhadap putaran turbin, putaran generator, tegangan, arus, daya, dan torsi yang dihasilkan generator PLTPH, dapat disimpulkan bahwa hasil analisis menunjukkan bahwa putaran turbin dengan menggunakan 2 *nozzle* berpengaruh terhadap output dari *prototype* PLTPH dengan turbin turgo karena adanya gaya tangensial yang secara bersamaan mengenai sudu turbin dari 2 sisi searah sehingga menghasilkan putaran tertinggi dibandingkan hanya menggunakan 1 *nozzle* saja. Hasil putaran turbin didapatkan 752,2 rpm sebelum dikopel generator. Pada pengujian transmisi *gear* rasio 4:1 didapatkan putaran turbin 504,4 rpm, putaran generator 2114,9 rpm, tegangan 10,99 volt, arus 4,43 ampere, daya 48,70 watt, dan torsi 0,673 Nm.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ibrahim, I. Dirja and V. Naubnome, "Rancang Bangun Prototipe PLTPH Sebagai Listrik Penerangan," *Jurnal Energi dan Manufaktur*, vol. 13, no. 2, p. 2, 2020.
- [2] Yusmartato, Z. Pelawi, Yusniati, Fauzi and S. A. Sitanggang, "Pemanfaatan Aliran Air Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro (PLTPH) Di Desa Bandar Rahmat Kecamatan Tanjung Tiram Kabupaten Batu Bara," *Journal of Electrical Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 1-2, 2022.
- [3] I. P. A. Yanto, I. A. D. Giriantari and W. G. Ariastina, "Perencanaan Sistem Kelistrikan PLTMH Banjar Dinas Mekar Sari," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 20, no. 1, pp. 1-2, 2021.
- [4] M. Tohari and H. I. Lubis, "Pengujian Unjuk Kerja Turbin Crossflow Skala Laboratorium Dengan Jumlah Sudu 20," *Enthalpy*, vol. 4, no. 1, pp. 2-5, 2015.
- [5] M. R. Yusuf, M. Hasbi and Samhuddin, "Analisa Pengaruh Variasi Tekanan dan Jarak Semprot Nozzle Terhadap Daya Output Pada Instalasi Turbin Pelton," *Enthalpy*, vol. 4, no. 1, pp. 2-5, 2019.
- [6] I. G. P. A. Kresna Artha K, I. W. A. Wijaya and I. G. N. Janardana, "Rancang Bangun Prototype PLTMH Dengan Turbin Turgo," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 9, no. 2, p. 2, 2022.
- [7] I. G. W. Putra, A. I. Weking and L. Jasa, "Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 3, pp. 385-392, 2018.