

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN GEARBOX PADA TURBIN ARCHIMEDES SCREW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)

I Gede Ngurah Arya Raditya¹, Lie Jasa², I Wayan Arta Wijaya³

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

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali

nguraharya182@gmail.com, liejasa@unud.ac.id, artawijaya@ee.unud.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan dari aliran irigasi sebagai sumber energi listrik tidak terlalu banyak, dikarenakan pada aliran irigasi memiliki ketinggian *head* yang rendah sehingga sulitnya untuk menentukan desain dan jenis pembangkit listrik yang digunakan. Selain itu debit air pada saluran irigasi juga menjadi suatu permasalahan karena debit air pada saluran irigasi tidak selalu konstan yang dipengaruhi oleh musim dan faktor cuaca. Pada penelitian ini akan membahas pengaruh penambahan *gearbox* pada turbin *Archimedes screw* terhadap nilai *output* pada generator seperti arus listrik, tegangan, efisiensi, dan torsi. Dalam pembangkit listrik yang bertenaga mikro hidro ini menggunakan turbin *Archimedes screw* yang memiliki jumlah sudu sebanyak 9 buah dengan memiliki sudut 24° dan memiliki ketebalan sudu sebesar 0,25 cm. pada *gearbox* yang digunakan menggunakan tipe *spur gear* yang memiliki total rasio sebesar 4 : 9. Hasil penelitian yang dijalankan pada jalur irigasi di Desa Munggu, Kecamatan Mengwi, Kabupaten Badung, mendapatkan hasil putaran tertinggi yaitu 160,7 rpm pada turbin, 882,4 pada *gearbox* dan 1013, 8 rpm pada generator. Tegangan dan arus tertinggi yang dihasilkan oleh generator sebesar 11,15 volt dan 0,66 ampere. Torsi yang didapatkan sebesar 0,45 Nm dan efisiensi tertinggi didapatkan sebesar 0,00638 %.

Kata kunci : PLTMH, *Archimedes screw*, *Gearbox*

ABSTRACT

Utilization of irrigation flows as a source of electrical energy is not too much, because irrigation flows have low head heights so it's hard to do the design and type of power plant used. In addition, the water discharge in the irrigation canal is also a problem because the water seed in the irrigation canal is not always constant which is influenced by seasons and weather factors. In this study, we will discuss the effect of adding a gearbox to the Archimedes screw turbine on the output value of the generator such as electric current, voltage, efficiency, and torque. This micro hydro power plant uses an Archimedes screw turbine which has 9 blades with an angle of 24° and a blade thickness of 0.25 cm. on the gearbox used using a spur gear type which has a total ratio of 4: 9. The results of research conducted on irrigation lines in Munggu Village, Mengwi District, Badung Regency, got the highest rotation results, namely 160.7 rpm at the turbine, 882.4 at gearbox and 1013, 8 rpm on the generator. The highest voltage and current generated by the generator are 11.15 volts and 0.66 amperes. The torque obtained is 0.45 Nm and the highest efficiency is obtained at 0.00638%.

Key Words : *Microhydro Power Plant*, *Archimedes screw*, *Gearbox*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik termasuk sumber energi yang sangat diperlukan sebab energi tersebut mempunyai peran penting untuk setiap orang di masa saat ini. Di Indonesia banyak sekali sumber energi terbarukan yang bisa dijadikan sebagai pembangkit listrik, seperti energi air [1].

Bali memiliki sumber energi terbarukan khususnya pada sumber energi air. Dimana Bali memiliki empat waduk alami berupa danau, antara lain; Danau Beratan, Danau Tamblingan, Danau Buyan, dan Danau Batur. Selain waduk alami, Bali memiliki aliran sungai sebanyak 162 sungai dan memiliki sumber mata air sebanyak 1.274. Namun pemanfaatan sumber energi air di Bali belum maksimal, dimana Bali hanya memiliki sekitar 500 pembangkit listrik pikohidro, selain itu Bali hanya memiliki 2 pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang terletak di Karangasem dan di Buleleng [2].

Penggunaan bahan bakar yang tidak ramah lingkungan seperti fosil, minyak bumi dan batu bara masih mendominasi kebutuhan untuk bahan bakar berbagai pembangkit listrik yang ada di Indonesia. Oleh sebab itu energi air menjadi kurang bisa digunakan sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik.

Pemanfaatan energi potensi air sebagai pembangkit listrik dengan menggunakan potensial seperti debit air, arus air serta ketinggian *head*/air terjun. Hingga sekarang ini, penggunaan air sebagai sumber energi listrik hanya di sumber aliran air yang memiliki *head* yang besar ataupun memiliki debit air yang tinggi. Sehingga memanfaatkan pembangkit listrik pada sumber air yang memiliki tinggi *head* yang rendah sangat sedikit. Padahal pemanfaatan sumber air yang memiliki *head* yang rendah seperti pada saluran irigasi yang memiliki ketinggian *head* kurang dari 3 meter dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik, untuk memanfaatkan sumber air yang memiliki *head* yang rendah dapat menggunakan

jenis turbin ulir, turbin kincir air maupun turbin Kaplan [3].

Beberapa penelitian sudah mengembangkan pembangkit listrik tenaga mikrohidro maupun pikohidro antara lain; PLTMH di Desa Sambangan di Buleleng, PLTMH di Desa Jatiluh, PLTMH di Desa Susuan Karangasem, dan PLTMH di Desa Mekar Sari Buleleng [4][5][6][7].

Karena pentingnya energi listrik bagi kehidupan, maka dibuat PLTMH dengan skala kecil yang memanfaatkan potensi dari saluran irigasi persawahan. Pada penelitian ini dibangun PLTMH skala kecil yang dioperasikan pada saluran irigasi yang terletak di Jl. Raya Munggu-Kapal dimana pada jalur irigasi tersebut memiliki ketinggian *head* yang tidak terlalu tinggi. Selain itu penambahan *gearbox* pada turbin PLTMH ini bertujuan untuk menambah kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 PLTMH

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik bertenaga air dengan skala yang lebih kecil yang biasanya dapat diaplikasikan pada saluran irigasi, sungai maupun air terjun dengan menggunakan ketinggian *head* serta jumlah debit yang ada, oleh sebab itu energi yang dihasilkan oleh PLTMH lebih sedikit dibandingkan dengan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA. Pada sistem mikro hidro memanfaatkan 3 komponen utama yakni air, turbin dan generator untuk memproduksi energi listrik [8].

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) pada dasarnya berkerja dengan menggunakan energi potensial dari ketinggian *head* serta jumlah debit air yang tersedia. Maka semakin tinggi *head* tersebut sehingga semakin banyak pula energi potensial dari air yang dihasilkan untuk bisa dirubah menjadi energi listrik.

Prinsip kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ini menggunakan perbedaan ketinggian serta

ukuran debit air yang terdapat dalam saluran irigasi, sungai maupaun air terjun. Dimana aliran air bakal mengalir melalui rumah turbin oleh karena itu air akan membentur dan mendorong turbin yang menyebabkan turbin akan berputar dan menghasilkan energi mekanik yang dapat memutar generator sehingga dari generator akan menciptakan energi listrik [9].



Gambar 1. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) [9]

2.2 Turbin Air

Turbin berasal dari bahasa latin turbinis yang memiliki arti berputar atau putaran. Pada umumnya turbin merupakan mesin yang dapat berputar dengan bantuan dorongan dari energi potensial yang dihasilkan air dan mengenai *blade* dari turbin yang mengakibatkan turbin berputar sehingga dapat menghasilkan energi mekanik pada porosnya sehingga poros tersebut dapat memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik [10].

Turbin air dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok yakni turbin impuls serta turbin reaksi. Dibawah ini termasuk klasifikasi beberapa tipe turbin listrik yang dipakai pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) [3] :

a. Turbin Impuls

Turbin impuls merupakan turbin tekanan yang sama dimana tekanan air yang keluar dari nosel memiliki nilai tekanan yang sama. Energi kinetik yang dihasilkan dari turbin impuls berasal dari energi potensial air yang masuk melalui nosel setelah itu air yang keluar dari nosel memiliki tekanan dan kecepatan tinggi yang kemudian membentur sudu turbin sehingga terjadinya perubahan momentum (impuls). Berikut ini adalah beberapa jenis turbin

impuls: Turbin Pelton, Turbin Turgo, dan Turbin *Cross Flow*.

b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi merupakan turbin yang menggunakan semua energi seperti energi potensial, energi kinetik serta energi tekanan untuk dapat menghasilkan energi kinetik pada sudu turbin. Sudu dalam turbin reaksi memiliki pofsil khusus yang mengakibatkan menurunnya tekanan air saat air melewati sudu. Dibawah ini adalah beberapa tipe dari turbin reaksi: Turbin Francis dan Turbin Kaplan.

2.3 Turbin Archimedes Screw

Turbin *Archimedes Screw* bersumber dari konsep kuno oleh seorang ahli fisika Archimedes serta matematika (287-212 SM). Turbin *Archimedes screw* atau biasa disebut turbin ulir lebih cocok dipergunakan pada saluran air yang memiliki ketinggian *head* yang tidak terlalu tinggi atau beda elevasi antara hulu dan hilir [3].

Prinsip kerja dari turbin ulir yaitu air masuk dari ujung atas dari ruang atau rumah turbin lalu air mengani *blade* dari turbin sehingga turbin dapat berputar karenan mendapatkan gaya berat dari air dan beda tekanan hidrolistik setelah itu air akan keluar dari ujung bawah. Gaya mekanik yang dihasilkan oleh turbin dapat dihububgkan ke generator melalui poros turbin sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik [3].

Adapun salah satu PLTMH dengan turbin *Archimedes screw* yang sudah dibangun dan beroperasi yang terletak di Desa Jatiluwih Tabanan dengan kapasitas hingga 1 kW dan *output* pembangkitan yang dihasilkan sebesar 400 Watt [5].



Gambar 2. PLTMH Dengan Turbin Archimedes Screw Di Jatiluwih [5]

$$T = (I \cdot a) + (F \cdot r) \dots \dots \dots (7)$$

2.4 Gearbox

Roda gigi merupakan bagian dari mesin yang mengalami perputaran serta memiliki bentuk lingkaran yang memiliki beberapa gigi yang bersinggungan. Roda gigi memiliki fungsi sebagai mentransmisikan kecepatan, membalikan putaran hingga berfungsi sebagai menaikkan dan menurunkan kecepatan [11].

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan tegangan-teganagn yang terjadi pada roda gigi pada gearbox [12] :

1. Daya momen inersia
Untuk mendapatkan momen inersia pada silinder pejal dapat menggunakan persamaan [12] :

$$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2 \dots \dots \dots (1)$$

2. Kecepatan keliling
Untuk menentukan kecepatan keliling dari roda gigi dapat menggunakan persamaan [12] :

$$V = \frac{\pi \cdot DpA \cdot n_1}{60000} \dots \dots \dots (2)$$

3. Gaya tangensial
Besarnya gaya tangensial dari roda gigi dapat dihitung dengan persamaan [12] :

$$F_t = \frac{102 Pa}{V} \dots \dots \dots (3)$$

4. Tegangan lentur
Untuk menentukan tegangan lentur yang terjadi dapat menggunakan persamaan [12] :

$$\sigma_t = \frac{bF_t h}{bt^2} \dots \dots \dots (4)$$

5. Percepatan
Untuk menentukan nilai percepatan dapat menggunakan persamaan [12] :

$$a = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\Delta t} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{60} n \dots \dots \dots (5)$$

6. Gaya awal roda gigi
Untuk menentukan gaya awal yang dihasilkan roda gigi dapat menggunakan persamaan [12] :

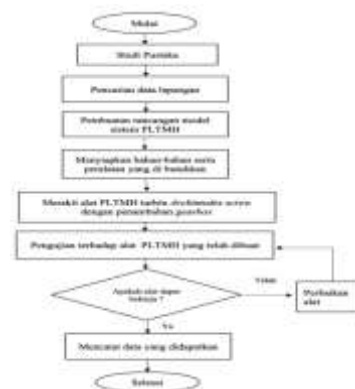
$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot P \cdot V^2 \cdot A \dots \dots \dots (6)$$

7. Torsi
Untuk menentukan torsi awal yang dihasilkan gearbox dapat menggunakan persamaan [12] :

3. METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai PLTMH ini dilakukan di jalur irigasi yang terletak di Desa Munggu, Kabupaten Badung, Bali pada bulan Mei sampai September 2021.

Pada Gambar 3 dapat dilihat tahapan yang dilakukan pada saat penelitian berlangsung.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Berikut penjelasan pada Gambar 3 :

- Langkah 1. Studi pustaka
Kajian ini dimulai dengan menjalankan studi Pustaka yaitu membaca dan mengumpulkan jurnal-jurnal yang mengenai PLTMH dengan menggunakan turbin ulir
- Langkah 2. Pencarian data lapangan
Pada tahap ini dilakukan dengan mencari tempat yang akan digunakan sebagai lokasi penelitian yang selanjutnya dilakukan pencarian data seperti debit air, ketinggian *head* dan kecepatan arus air.
- Langkah 3. Pembuatan rancangan model sistem PLTMH
Pada Langkah ini dilakukan perancangan sistem PLTMH seperti menggambar rancangan alat menggunakan aplikasi gambar 3D. dilakukannya pembuatan rancangan model bertujuan untuk mempermudah saat pembuatan model PLTMH nanti.
- Langkah 4. Menyiapkan bahan-bahan serta peralatan yang dibutuhkan
Pada Langkah ke empat ini dilakukan persiapan seperti menyiapkan bahan-

bahan serta peralatan yang dibutuhkan untuk perakitan PLTMH.

Langkah 5. Merakit PLTMH

Pada Langkah ke 5 perakitan dan pembuatan rangka, *housing*, turbin hingga *gearbox* pada PLTMH dimulai.

Langkah 6. Melakukan pengujian terhadap alat yang sudah dibuat

Pada Langkah ke 6 dilakukan pengujian di tempat yang sudah ditentukan dan jika terjadi suatu kendala pada alat yang sudah dibuat maka dilakukan perbaikan pada alat tersebut, jika tidak ada maka dilanjutkan dengan melakukan Langkah selanjutnya.

Langkah 7. Mencatat data yang telah didapat

Pada Langkah ini dilakukan pencatatan, perhitungan dan pengolahan data yang sudah didapatkan pada saat melakukan pengujian alat.

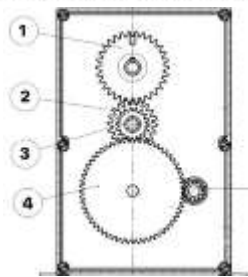
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Gearbox

Pada Tabel 1 dijelaskan hasil dari perhitungan roda gigi yang digunakan.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Roda Gigi

Roda gigi	Keterangan									
	M	Z	D	Dw	DF	ha	hf	H	T	h
1	2	30	60	64	55,34	2	2,32	4,33	6,3	20
2	2	20	40	44	35,34	2	2,32	4,33	6,3	20
3	1,5	18	27	30	23,5	1,5	1,74	3,25	6,3	20
4	1,5	60	90	93	86,5	1,5	1,74	3,25	6,3	20
5	1,5	12	18	21	18,5	1,5	1,74	3,25	6,3	20



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Pada Gambar 4 merupakan pemodelan gearbox dimana memiliki spesifikasi gear sebagai berikut ; angka no 1 yang ditunjukkan pada gambar merupakan gear yang pertama sekaligus merupakan *driver gear* yang terhubung dengan turbin, pada angka no 2 merupakan gear yang ke dua, pada angka no 3 merupakan gear

yang ke tiga, pada angka no 4 merupakan gear yang ke empat, dan pada angka 5 merupakan gear yang terakhir sekaligus merupakan *driven gear* yang terhubung dengan generator.

Untuk menentukan torsi pada gearbox yang telah dirancang, sebelumnya harus dilakukan perhitungan momen inersia dikarenakan *shaft* pada roda gigi gearbox berbentuk silinder pejal maka digunakan persamaan 1.

$$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2$$

$$I = \frac{1}{2} 7,08 \cdot 0,006^2$$

$$I = 0,0001274 \text{ kg/m}^2$$

Luas penampang roda gigi pada *body contact* dengan panjang (b) = 80 mm dan lebar (h) = 6 mm, maka luas penampang :

$$A = b \times h$$

$$A = 80 \times 6$$

$$A = 0,48 \text{ m}^2$$

Asumsi putaran gearbox awal yang diinginkan adalah 536 rpm dan diameter roda gigi yang pertama adalah 64 mm maka untuk menghitung kecepatan keliling dari roda gigi dapat digunakan persamaan 2.

$$V = \frac{\pi \cdot DpA \cdot n_1}{60000}$$

$$V = \frac{3,14 \times 64 \times 536}{60000}$$

$$V = 1,795 \text{ m/s}$$

Setelah diketahui kecepatan keliling roda gigi dengan asumsi daya *output* 270 W = 0,27 kW, dengan daya awal 6 W = 0,006 kW, maka untuk mengetahui gaya tangensial dapat menggunakan persamaan 3.

$$Ft = \frac{102 \text{ Pa}}{V}$$

$$Ft = \frac{102 \times 0,006}{1,795}$$

$$Ft = 0,34 \text{ kg}$$

Dari gaya tangensial yang didapat, maka untuk mengetahui tegangan lentur yang terjadi dapat menggunakan persamaan 4.

$$\sigma_t = \frac{bFth}{bt^2}$$

$$\sigma_t = \frac{20 \times 0,34 \times 4,33}{20 \times 10^2}$$

$$\sigma_t = 0,0147 \text{ kg/mm}^2$$

Untuk mencari percepatan pada *gearbox* saat berhenti dari kecepatan konstan dengan asumsi waktu sebesar 1 detik dapat menggunakan persamaan 5.

$$\omega = \frac{2\pi}{60} n$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14}{60} 100$$

$$\omega = 10,467 \text{ rad/s}$$

Sehingga

$$a = \frac{10,467 - 0}{1}$$

$$a = 10,467 \text{ rad/s}$$

Untuk mendapatkan nilai awal pada roda gigi dapat digunakan persamaan 6.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot P \cdot V^2 \cdot A$$

$$F_D = \frac{1}{2} 2,05 \times 19,32 \times 1,795^2 \times 0,48$$

$$F_D = 30,6 \text{ Nm}$$

Untuk mengetahui torsi pada rancangan roda gigi pada *gearbox* dapat digunakan persamaan 7.

$$T = (I \cdot a) + (F \cdot r)$$

$$T = (0,0001274 \times 10,467) + (30,6 \times 0,006)$$

$$T = 0,184 \text{ Nm}$$

4.2 Realisasi Pemodelan PLTMH

Realisasi pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) bisa ditinjau dalam Gambar 5, dimana pada gambar tersebut bisa dilihat pada pemodelan PLTMH terdapat beberapa komponen seperti : generator, turbin ulir, *gearbox* yang memiliki fungsi mempercepat putaran, *sprocket gear* yang memiliki fungsi untuk mendistribusikan putaran turbin ke *gearbox* dan dari *gearbox* ke generator, selain itu ada *pillow block* yang memiliki fungsi sebagai pemegang dari poros turbin.



Gambar 5. Realisasi Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

4.3 Pengukuran Putaran Turbin

Grafik hasil pengukuran perubahan beban terhadap putaran turbin bisa ditinjau dalam Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perubahan Beban Lampu Terhadap Putaran Turbin

Pada pengujian putaran turbin antara PLTMH dengan penambahan *gearbox* dan tanpa penambahan *gearbox*, pembebanan menggunakan lampu yang dihubungkan parallel dengan variasi pembebanan yakni 3 watt, 6 watt, dan 9 watt. Berdasarkan pada Gambar 6 dapat dilihat putaran tertinggi terjadi pada PLTMH tanpa penambahan *gearbox* pada turbin (grafik berwarna biru). Dimana putaran tertinggi dihasilkan pada pembebanan dengan lampu 3 watt dengan kecepatan turbin sebesar 339,7 rpm dan putaran terendah terjadi pada pembebanan dengan lampu 9 watt yaitu 133,5 rpm. Penurunan kecepatan tersebut terjadi karena naiknya variasi pembebanan yang diberikan, selain itu adanya reaksi jangkar dari generator ketika generator dihubungkan dengan beban. Kecilnya putaran turbin pada PLTMH dengan *gearbox* disebabkan oleh adanya beban tambahan berupa *gearbox* yang menyebabkan putaran turbin menjadi lambat.

4.4 Pengukuran Putaran Gearbox

Grafik hasil pengukuran perubahan beban terhadap putaran *gearbox* bisa ditinjau dalam pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perubahan Beban Lampu Terhadap Putaran Gearbox

Pada pengujian putaran gearbox pembebanan menggunakan lampu yang dihubungkan parallel dengan variasi pembebanan yakni 3 watt, 6 watt, dan 9 watt. Berdasarkan pada Gambar 7 dapat dilihat terjadinya penurunan kecepatan putaran turbin seiring dengan naiknya variasi beban yang diberikan. Pada beban lampu 3 watt kecepatan turbin sebesar 882,4 rpm, pada beban lampu 6 watt putaran turbin turun menjadi 819,7 rpm, dan pada saat diberi beban sebesar 9 watt putaran turbin turun menjadi 812,7 rpm. Penurunan kecepatan tersebut terjadi karena naiknya variasi pembebanan yang diberikan, selain itu adanya reaksi jangkar dari generator ketika generator dihubungkan dengan beban.

4.5 Pengukuran Putaran Generator

Grafik hasil pengukuran perubahan beban terhadap putaran generator dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Perubahan Beban Lampu Terhadap Putaran Generator

Pada pengujian putaran generator antara PLTMH dengan penambahan gearbox dan tanpa penambahan gearbox, pembebanan menggunakan lampu yang dihubungkan parallel dengan variasi pembebanan yaitu 3 watt, 6 watt, dan 9 watt. Berdasarkan pada Gambar 8 putaran tertinggi terjadi pada PLTMH dengan penambahan gearbox pada turbin (grafik berwarna oranye). Dimana putaran tertinggi dihasilkan pada pembebanan dengan lampu 3 watt dengan kecepatan putar generator sebesar 1010,8 rpm dan putaran terendah terjadi pada pembebanan lampu 9

watt dengan kecepatan putar generator sebesar 991,6 rpm. Penurunan kecepatan tersebut terjadi karena naiknya variasi pembebanan yang diberikan, selain itu adanya reaksi jangkar dari generator ketika generator dihubungkan dengan beban. Tingginya putaran generator yang dihasilkan pada PLTMH dengan penambahan gearbox dikarenakan adanya penambahan gearbox yang dimana gearbox memiliki fungsi sebagai mempercepat putaran

4.6 Pengukuran Tegangan Generator

Grafik hasil pengukuran perubahan beban terhadap tegangan generator dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perubahan Beban Lampu Terhadap Tegangan Generator

Pada pengujian tegangan output dari generator antara PLTMH dengan penambahan gearbox dan tanpa penambahan gearbox, pembebanan menggunakan lampu yang dihubungkan parallel dengan variasi pembebanan yaitu 3 watt, 6 watt, dan 9 watt. Berdasarkan pada Gambar 9 tegangan tertinggi yang dihasilkan generator terjadi pada PLTMH dengan penambahan gearbox pada turbin (grafik berwarna oranye). Dimana tegangan tertinggi yang dihasilkan generator terjadi pada pembebanan dengan lampu 3 watt dengan tegangan output dari generator sebesar 11,15 volt dan tegangan terendah yang dihasilkan generator terjadi pada pembebanan lampu 9 watt dengan tegangan output dari generator sebesar 9,33 volt. Penurunan tegangan tersebut terjadi karena naiknya variasi pembebanan yang diberikan, selain itu adanya reaksi jangkar dari generator ketika generator dihubungkan dengan beban.

Tingginya tegangan yang dihasilkan generator pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* dikarena *gearbox* berfungsi sebagai mempercepat putaran sehingga tegangan yang dihasilkan juga meningkat.

4.7 Pengukuran Arus Generator

Grafik hasil pengukuran perubahan beban terhadap arus generator dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Perubahan Beban Lampu Terhadap Arus Generator

Pada pengujian arus dari generator antara PLTMH dengan penambahan *gearbox* dan tanpa penambahan *gearbox*, pembebanan menggunakan lampu yang dihubungkan parallel dengan variasi pembebanan yakni 3 watt, 6 watt, dan 9 watt. Berdasarkan pada Gambar 10 dapat dilihat arus tertinggi yang dihasilkan generator terjadi pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* pada turbin (grafik berwarna oranye). Dimana arus tertinggi yang dihasilkan generator terjadi pada pembebanan dengan lampu 9 watt dengan arus dari generator sebesar 0,66 ampere. Kenaikan arus tersebut terjadi karenan naiknya variasi pembebanan yang diberikan. Tingginya arus yang dihasilkan generator pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* dikarenakan *gearbox* berfungsi sebagai mempercepat putaran sehingga mempengaruhi nilai *output* generator.

4.8 Pengukuran Daya Output Generator

Grafik hasil pengukuran perubahan beban terhadap daya *output* generator bisa ditinjau dalam Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perubahan Beban Lampu Terhadap Daya Output Generator

Pada pengujian daya *output* dari generator antara PLTMH dengan penambahan *gearbox* dan tanpa penambahan *gearbox*, pembebanan menggunakan lampu yang dihubungkan parallel dengan variasi pembebanan yaitu 3 watt, 6 watt, dan 9 watt. Berdasarkan pada Gambar 11 dapat dilihat terjadinya kenaikan daya *output* yang dihasilkan oleh generator terjadi pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* pada turbin (grafik berwarna oranye). Dimana pada pembebanan dengan lampu 9 watt dengan daya *output* generator sebesar 6,3 watt. Kenaikan daya *output* tersebut terjadi karena arus beban yang meningkat. Tingginya daya *output* yang dihasilkan generator pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* dikarenakan *gearbox* berfungsi sebagai mempercepat putaran sehingga mempengaruhi nilai *output* generator.

4.9 Torsi PLTMH

Grafik hasil perhitungan perubahan beban terhadap torsi bisa ditinjau dalam Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perubahan Beban Lampu Terhadap Torsi

Pada perhitungan torsi antara PLTMH dengan penambahan *gearbox* dan tanpa penambahan *gearbox*, kenaikan torsi yang

dihasilkan seiring dengan naiknya variasi beban yang diberikan. Torsi tertinggi didapatkan pada pengujian pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* pada turbin (grafik berwarna oranye). Pada beban lampu 3 watt torsi yang dihasilkan sebesar 0,346 Nm, pada beban lampu 6 watt torsi yang dihasilkan naik menjadi 0,43 Nm, dan pada saat diberi beban sebesar 9 watt torsi yang dihasilkan naik menjadi 0,45 Nm. Kenaikan torsi tersebut terjadi karena menurunnya kecepatan turbin makan putaran generator juga menurun sehingga torsi yang dihasilkan meningkat.

4.10 Perhitungan Daya Hidrolis dan Efisiensi PLTMH

Grafik hasil perhitungan efisiensi PLTMH bisa ditinjau dalam Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Perubahan Daya Lampu Efisiensi PLTMH

Pada perhitungan efisiensi antara PLTMH dengan penambahan *gearbox* dan tanpa penambahan *gearbox*, hubungan antara pembebanan generator terhadap efisiensi akan berbanding lurus hal ini disebabkan karena pengaruh besarnya nilai *output* yang dihasilkan generator. Efisiensi tertinggi didapatkan pada pengujian pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* pada turbin. Pada beban lampu 3 watt efisiensi yang dihasilkan sebesar 0,00589 %, pada beban lampu 6 watt efisiensi yang dihasilkan sebesar 0,00631 %, dan pada saat diberi beban lampu 9 watt efisiensi yang dihasilkan sebesar 0,00638 %.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diperoleh dari hasil pembahasan yang sudah dijalankan ialah seperti berikut:

Hasil realisasi berdasarkan perhitungan dari pemodelan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) menggunakan turbin *archimedes screw*, dapat disimpulkan kemiringan efektif pada turbin yaitu 24° dengan kecepatan air yang mengalir pada jalur irigasi sebesar 0,14m³/s dan debit air sebesar 0,084m³/s. Pada turbin *archimedes screw* yang digunakan memiliki parameter sebagai berikut ; pada diameter turbin berukuran 0,26 meter, jarak setiap *blade screw* yaitu 0,17 meter, dan jumlah lilitan *screw* sebanyak 9 buah. Sedangkan pada *gearbox* menggunakan rasio *gear* yaitu 4 : 9, dengan menggunakan jenis *spur gear*.

Hasil uji performansi PLTMH dalam kondisi berbeban didapatkan hasil tertinggi pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* pada turbin *Archimedes screw* dengan hasil putaran turbin tertinggi yaitu sebesar 160,7 rpm, nilai putaran generator tertinggi yaitu sebesar 1013,8 rpm, tegangan *output* generator tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 11,15 Volt, arus *output* tertinggi 0,66 Ampere, dan daya *output* tertinggi yang dihasilkan generator sebesar 6,30 Watt, nilai torsi yang dihasilkan sebesar 0,40 Nm dan efisiensi tertinggi yaitu sebesar 0,00638 %. Tingginya hasil yang didapatkan pada PLTMH dengan penambahan *gearbox* pada turbin *Archimedes screw* yaitu karena adanya penambahan *gearbox* yang dimana *gearbox* memiliki fungsi sebagai menambah kecepatan sehingga hasil dari nilai *output* pada generator akan berubah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anam, A., Soenoko, R., Widhiyanuriyawan, D. 2013. "Pengaruh Variasi Sudu Input Sudu Mangkok Terhadap Kinerja Turbin Kinetik". Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 4, No.3.
- [2] Kumara, I.N.S., Aristana, Sukerayasa, I.W., dan Giriantari, I.A.D. 2014. "On the Potential and Progress of Renewable Electricity Generation in Bali". ICITEE 2014.

- [3] Putra, I.G.W. 2018. "Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin *Archimedes Screw*". *Teknologi Elektro*, Vol. 17, No. 3.
- [4] Suparyawan, D.PD., Kumara, I.N.S., dan Ariastina, W.G. 2013. "Studi Perancangan Pembangkit Listrik Mikrohidro di Desa Sambangan Kabupaten Bali". *Teknologi Elektro*, Vol. 12, No. 2.
- [5] Sari, P.D., Kumara, I.N.S. 2018. "*The Development of Jatiluwih Microhydro Power Plants to Support Tourism Destinations*". ISCECE 2018.
- [6] Budiantara, D.N.T., Kumara, I.N.S., dan Giriantari, I.A.D. 2019. "Redesain dan Analisa Kelayakan PLTMH 25 kW Desa Susuan Karangasem Bali". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 18, No. 3.
- [7] Laksana, D.P.A., Giriantari, I.A.D., dan Kumara, I.N.S. 2020. "Redesain Turbin 175 kW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Mekar Sari Buleleng Bali". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 19, No. 2.
- [8] Amir. 2018. "Kemiringan Optimum Model Turbin Ulir 2 *Blade* Untuk Pembangkit Listrik Pada *Head Rendah*". *Tangerang : Universitas Muhammadiyah Tangerang*, Vol. 2, No.1.
- [9] Ardika, I. K. A. 2019. "Analisa Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Putaran Turbin Ulir Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro". *Teknologi Elektro*, Vol. 16, No. 2.
- [10] Silaholo, D. L. 2017. "Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang". *Bandar Lampung : Universitas Lampung*.
- [11] Sularso, Suga, K. 2004. "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin". Cet. 11, Jakarta, Pradnya Paramita.
- [12] Mukhtar, M. N. A. 2020. "Rancang Bangun *Gearbox* Untuk Turbin Angin *Savonius* Vertikal (TASV) Menggunakan Metode FEA". *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 7, No. 2, Desember 2020.
- [13] Bahri, A. 2017. "Merancang dan Mengimplentasi Modul Pratikum Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Universitas Udayana". *Teknologi Elektro*, Vol. 16, No. 2.
- [14] Erinofiardi., Asyarial, K., Hendra. 2013. "Perancangan Roda Gigi Lurus, Roda Gigi Miring dan Roda Gigi Kerucut Lurus Berbasis Program Komputasi". *Jurnal Mechanical*, Vol. 4, No. 1.
- [15] Harja, H. B. 2014. "Penentuan Dimensi Sudu Turbin dan Sudu Kemiringan Poros Turbin Pada Turbin Ulir *Archimedes*". *Metal Indonesia*, Vol. 36, No. 1.
- [16] Nurdin, A. 2018. "Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin *Archimedes Screw* Pada *Head Rendah*". *Jurnal SIMETRIS*, Vol. 9, No. 2.
- [17] Rores, C. 2008. "*The Turn of the Screw : Optimal Design of an Archimedes Screw*". *Journal of Hydraulic Engineering, Philadelphia*.
- [18] Saefudin, E. 2017. "Turbin *Screw* Untuk Pembangkit Listrik Skala Mikrohidro Ramah Lingkungan". *Jurnal Rekayasa Hijau*, Vol. 1, No. 3.
- [19] Saputra, M. A. T. 2019. "Eksperimental Pengaruh Variasi Sudu Ulir Pada Turbin Ulir (*Archimedes Screw*) Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan *Head Rendah*". *Teknologi Elektro*, Vol. 18, No. 1.
- [20] Sukamta, S. 2018. "Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro DI KEdung Spingit Desa Kayu Puring Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan". *Edu ElektriKa Jurnal 7* (1).
- [21] Syahputra, T. M. 2017. "Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Dengan Menggunakan Turbin Ulir". *Jurusan*

Teknik Elektro dan Komputer, Univ
Syiah Kuala Dausalam.