

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTYPE TURBIN KAPLAN UNTUK SKALA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Arya Cristopher Bangun¹, I Wayan Arta Wijaya², I Nyoman Budiastira³

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

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

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

Email: aryacristopherbangun@gmail.com¹, artawijaya@ee.unud.ac.id², budiastira@unud.ac.id³

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik kecil yang digerakkan oleh air, yang meliputi ketinggian (*head*) air terjun dan jumlah air yang dikeluarkan. PLTMH dirancang dengan menentukan dimensi menggunakan rumus dari artikel dan jurnal yang relevan. Setelah alat dan bahan yang dibutuhkan teridentifikasi, selanjutnya dirakit menjadi satu *prototype* PLTMH dengan turbin baling-baling aliran aksial. Kepala rancangan *prototype* turbin dayung putar adalah 2 meter, pipa masukan 2,5 mm, laju aliran 0,019 meter persegi/detik, jumlah sudu 30, sudut bukaan 30°, panjang 0,07 meter, lebarnya 0,05 meter, diameter dalam 0,25 meter, dan diameter luar 0,45 meter. *Prototype* ini memiliki total 5 bilah penggerak, dengan diameter luar 0,20 meter, diameter jurnal 0,06 meter, dan lebar *runner* 0,07 meter. *Prototype* turbin rotor diuji menghasilkan daya 6,08 watt dengan efisiensi 25,3%.

Kata kunci : Debit, *Prototype* PLTMH, Turbin Kaplan

ABSTRACT

A Micro-Hydro Power Plant (MHPP) is a small-scale power generator driven by water, utilizing the height (water head) of a waterfall and the volume of discharged water. The MHPP is designed by determining dimensions using formulas from relevant articles and journals. Once the necessary tools and materials are identified, they are assembled into an MHPP prototype with an axial-flow propeller turbine. The design specifications of the paddle turbine prototype include a head height of 2 meters, an intake pipe diameter of 2.5 mm, a flow rate of 0.019 cubic meters per second, 30 blades, an opening angle of 30°, a blade length of 0.07 meters, a width of 0.05 meters, an inner diameter of 0.25 meters, and an outer diameter of 0.45 meters. The prototype features a total of five driving blades with an outer diameter of 0.20 meters, a journal diameter of 0.06 meters, and a runner width of 0.07 meters. The rotor turbine prototype was tested and produced a power output of 6.08 watts with an efficiency of 25.3%.

Key Words : Discharge, *PLTMH Prototype*, Kaplan Turbine

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menawarkan berbagai keunggulan, seperti biaya operasional yang rendah, emisi karbon yang minimal, dan kemampuan untuk memanfaatkan sumber daya lokal. Salah satu komponen penting dalam PLTMH adalah jenis turbin yang digunakan, di mana turbin Kaplan menjadi pilihan unggul untuk aplikasi dengan aliran air yang memiliki *head* rendah hingga sedang. Turbin Kaplan, yang dirancang

husus untuk mengoptimalkan efisiensi energi pada aliran air tertentu, memiliki kemampuan beradaptasi dengan berbagai variasi debit dan *head*, sehingga sangat ideal untuk diterapkan pada PLTMH di wilayah pedesaan atau daerah terpencil [1].

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin Kaplan sebagai komponen utama dalam konversi energi. Pengembangan *prototype* ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja turbin Kaplan

dalam menghasilkan energi listrik secara optimal, serta mengkaji potensi implementasinya di daerah yang memiliki aliran sungai atau irigasi dengan karakteristik serupa [2].

Dengan demikian, rancang bangun *prototype* ini diharapkan dapat menjadi solusi nyata untuk mendukung pengembangan energi berkelanjutan dan membantu meningkatkan akses listrik di wilayah yang belum sepenuhnya terlayani oleh jaringan listrik konvensional [1].

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 PLTMH

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan sumber energi terbarukan yang memanfaatkan aliran air sebagai penggerak utamanya. Teknologi ini umumnya digunakan untuk memasok listrik ke daerah-daerah terpencil yang tidak terhubung ke jaringan listrik tradisional [3]. Dengan konsep yang sederhana namun efisien. Berikut adalah tiga komponen utama yang mendukung operasional PLTMH:

1. Air sebagai Sumber Energi

Air berperan sebagai energi utama yang dimanfaatkan dari aliran sungai, saluran irigasi, atau air terjun. Kinerja pembangkit listrik tenaga mikro hidro ditentukan oleh dua faktor utama: tinggi muka air (ketinggian jatuhnya air) dan debit air (volume aliran air per satuan waktu).

2. Turbin

Turbin bekerja dengan mengubah energi kinetik dan potensial aliran air diubah menjadi energi mekanik. Pemilihan jenis turbin tergantung pada karakteristik aliran air, seperti: tinggi muka air dan debit. Jenis turbin yang umum digunakan meliputi turbin Pelton, Francis, dan crossflow.

3. Generator

Peran generator adalah mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan kemudian didistribusikan ke rumah tangga atau fasilitas lainnya melalui jaringan listrik lokal.

Sebagai sistem yang ramah lingkungan dan hemat biaya, PLTMH menjadi solusi ideal untuk memenuhi kebutuhan listrik di wilayah terpencil. Teknologi ini juga mudah dioperasikan dan

dirawat, mendukung pembangunan berkelanjutan di berbagai daerah.

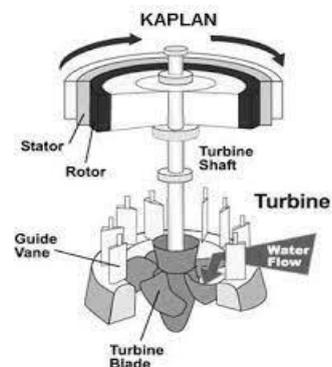
2.2 Turbin Air

Turbin air mengonversi energi potensial air menjadi energi mekanik, yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator [4]. Turbin beroperasi dengan mengarahkan air beserta energi potensialnya melalui nosel ke bilah turbin, mengubah energi tersebut menjadi gerakan mekanik. Turbin air dibagi menjadi dua kategori berdasarkan prinsip kerjanya:

1. Turbin impuls, Turbin jenis ini memutar *runner* akibat hembusan pancaran air dengan kecepatan, dan tekanannya dikumpulkan dari tekanan tinggi saat nosel dikeluarkan.
2. Turbin reaksi: Pada turbin jenis ini, runner berputar karena adanya tekanan aliran air disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh *nozzle*.

2.3 Turbin Kaplan

Turbin air Kaplan adalah tipe turbin reaksi yang memiliki bilah mirip dengan baling-baling kapal.



Gambar 1. Turbin Kaplan

Roda turbin menciptakan gaya putar atau tangensial pada poros, yang menghasilkan torsi. Keuntungan utama turbin Kaplan adalah sudut bilahnya yang dapat disesuaikan, yang memungkinkannya beradaptasi dengan berbagai kondisi aliran air. Dirancang untuk lingkungan dengan tekanan rendah dengan debit air tinggi, turbin ini beroperasi pada kecepatan spesifik tinggi, sehingga sangat efisien dalam pengaturan seperti itu [4].

2.4 Generator

Generator adalah komponen krusial dalam PLTMH karena berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang umumnya digunakan dalam PLTMH adalah generator arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC). Meskipun prinsip dasar pengoperasian keduanya serupa, konstruksinya berbeda. Pada generator DC, kumparan jangkar dihubungkan ke komutator, sedangkan pada generator AC, kumparan jangkar dihubungkan ke dua cincin selip.

2.5 Generator DC

Generator listrik adalah alat yang mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik, umumnya melalui proses induksi elektromagnetik. Proses ini, yang dikenal sebagai pembangkitan listrik, dapat memanfaatkan berbagai sumber energi mekanik seperti mesin resiprokal, turbin uap, aliran air yang menggerakkan turbin atau kincir air, mesin pembakaran internal, turbin angin, engkol tangan, tenaga surya, udara bertekanan, atau sumber energi mekanik lainnya. Generator DC adalah jenis generator yang menghasilkan tegangan output secara langsung.

2.6 Perencanaan Aliran Air

a. *Head*

Head merupakan tinggi jatuh air atau dari permukaan air ke dasar terdalam.

b. Debit

$$Q = A \times v \quad [1]$$

Dengan:

A = Luas Penampang (m³)

v = Kecepatan aliran rata-rata pada luas bagian penampang (m/detik)

c. Daya Hidrolis Air

$$WHP = p \times g \times Q \times H \quad [2]$$

Dengan:

WHP = Daya Hidrolis Air (watt)

p = Densitas air (kg./m³)

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

Q = Debit air (m³/s)

h = *Head* (m)

2.7 Perencanaan Desain Turbin Kaplan

a. Kecepatan spesifik

berdasarkan debit aliran air (nq) [5]

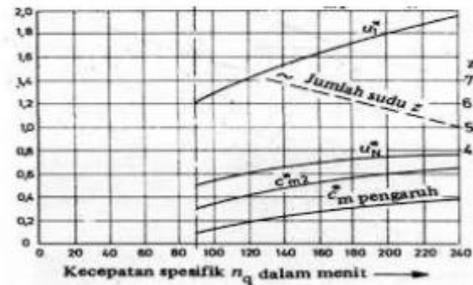
$$nq = n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{0.75}} \quad [3]$$

Dengan:

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

Q = Debit Air (m³/s)

H = *Head* (m)



Gambar 2. Harga untuk menentukan dimensi utama turbin kaplan [5]

b. Kecepatan tangensial masuk sudu pada posisi luar sudu (u₁) [5]

$$u_1 = u * \sqrt{2 \times g \times H} \quad [4]$$

Dimana :

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

H = *Head* (m)

c. Kecepatan tangensial masuk sudu pada leher poros (u_N) [5]

$$u_N = u * \sqrt{2 \times g \times H} \quad [5]$$

Dimana :

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

H = *Head* (m)

d. Diameter Luar *Runner* (D₁) [5]

$$D_1 = \frac{60 \times u_1}{\pi \times n} \quad [6]$$

Dengan:

u₁ = Kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

e. Diameter Leher Poros (D_n) [5]

$$D_N = \frac{60 \times u_N}{\pi \times n} \quad [7]$$

Dengan:

Un = Kecepatan tangensial masuk sudu pada leher poros

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

f. Lebar Runner (Bx) [5]

$$B_x = \frac{D_1}{2} - \frac{D_N}{2} \quad [8]$$

Dimana:

D₁ = Diameter luar runner

D_N = Diameter leher poros

g. Tinggi Guide Vane (b)

b = Diameter Pipa

h. Jumlah Guide Vane (Zgv)

$$Z_{GV} = \left(\frac{1}{4} \sqrt{1000 D_1} + 4 \right) \quad [9]$$

Dimana:

D₁ = Diameter luar runner (m)

i. Diameter Inlet Guide Vane (F1)

$$F_1 = \left(1,45 + \frac{72,17}{nq} \right) D_1 \quad [10]$$

Dimana:

D₁ = Diameter luar runner

Nq = Putaran spesifik

2.8 Perencanaan Perhitungan Efisiensi Turbin Kaplan

Effisiensi Sistem PLTMH

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H}$$

Dimana :

P_G = Daya Generator

P_H = Daya Hidrolis

3. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan *prototype* turbin Kaplan didasarkan pada perhitungan yang diperoleh dari rumus yang tersedia di jurnal terkait dengan parameter yang telah ditentukan. Parameter yang ditetapkan antara lain :

Debit air (Q) = 0,019 m³/s

Head (H) = 2 m

Gravitasi = 9,81 m/s²

Putaran (rpm) = 1000 rpm

Pipa = 2,5 dim

Spesifikasi generator yang dipakai sebagai berikut :

Tegangan = 12 Volt

Arus = 2 Ampere

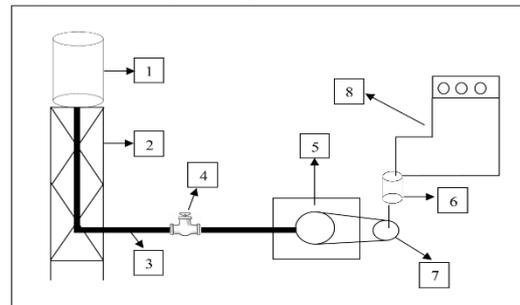
Putaran = 1000 RPM

Hasil perhitungan desain *prototype* turbin Kaplan dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Paramater perancangan PLTMH

No.	Parameter	Nilai
1.	Head	2 m
2.	Debit	0,019 m ³ /s
3.	Pipa	2,5 dim
4.	Diameter luar runner	0,2 m
5.	Diameter leher poros	0,06 m
6.	Lebar runner	0,07 m
7.	Tinggi guide vane	0,07 m
8.	Jumlah guide vane	30
9.	Diameter dalam guide vane	0,25 m
10.	Diameter luar guide vane	0,45 m

Adapun gambar dari rancangan model sistem PLTMH turbin Kaplan dapat dilihat pada gambar 3 dan 4.

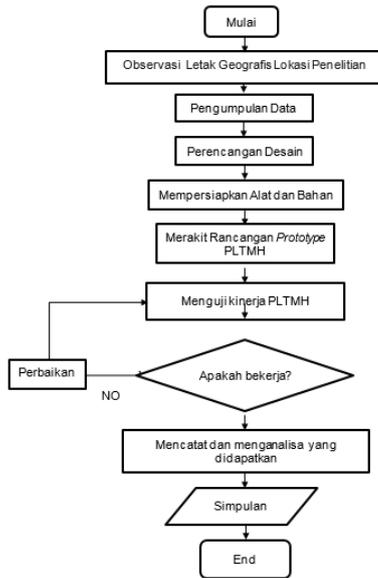


Gambar 3. Rancangan konstruksi *prototype* PLTMH



Gambar 4. Desain turbin kaplan

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Proses Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan terkait gambar 5 di atas:

Langkah 1. Observasi Lokasi Penelitian

Penelitian diawali dengan melaksanakan observasi secara langsung ke lokasi penelitian untuk mengetahui letak geografis lokasi penelitian.

Langkah 2. Pengumpulan data

Mengumpulkan data-data primer pada penelitian ini, antara lain:

- a. Data aliran debit air pada saluran irigasi bendungan Sampeyan Baru
- b. Data dimensi bangunan saluran irigasi

Langkah 3. Perancangan Desain

Menentukan dimensi-dimensi setiap prototype berdasarkan rumus yang terdapat dalam artikel dan jurnal yang relevan.

Langkah 4. Perakitan Rancangan Prototype PLTMH

Jika alat dan bahan yang diperlukan sudah diketahui, langkah selanjutnya adalah merakitnya menjadi *prototype* PLTMH lengkap yang dilengkapi dengan turbin Kaplan.

Langkah 5. Pengujian *Prototype* PLTMH

Setelah perakitan selesai, *prototype* PLTMH turbin Kaplan akan diuji untuk mengevaluasi kinerjanya..

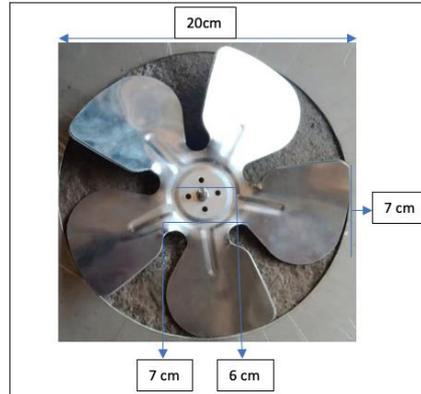
Langkah 6. Penarikan Kesimpulan

Kesimpulan ditarik berdasarkan prototype yang berhasil diuji, dengan data yang direkam kemudian dianalisis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perwujudan prototype PLTMH menggunakan Turbin Kaplan

Perwujudan prototype PLTMH dengan turbin Kaplan dapat dilihat pada Gambar 6, 7, dan 8.



Gambar 6. Perwujudan Sudu Penggerak (runner blade)



Gambar 7. Perwujudan Sudu Pengarah (guide vane)



Gambar 8. Perwujudan *Prototype* PLTMH

4.2 Pengujian Parameter Prototype PLTMH dengan Turbin Kaplan.

Penelitian ini mencakup dua jenis pengujian: Pengujian dalam kondisi tanpa beban dan pengujian dengan variasi beban. Pengukuran yang dilakukan selama proses pengujian mencakup kecepatan turbin, kecepatan generator, tegangan generator, arus, daya keluaran, torsi, dan efisiensi. Parameter yang diuji beserta nilai yang terukur Ditampilkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Prototype PLTMH dalam Keadaan Tanpa Beban

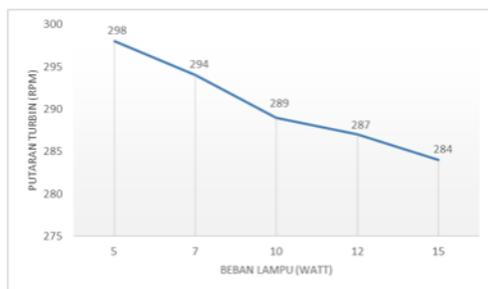
No.	Daya Lampu (Watt)	Putaran (rpm)			Tegangan Generator (V)
		Turbin		Generator	
		Sebelum dikopel	Sesudah dikopel		
1.	0	352	306	932	11,87

Tabel 3. Hasil Pengujian Prototype PLTMH dengan Variasi Pembebanan

No.	Daya Lampu (W)	Putaran		Output Generator		
		Turbin (rpm)	Generator (rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	5	298	896	11,33	0,41	4,64
2.	7	294	885	11,20	0,43	4,81
3.	10	289	869	10,98	0,48	5,27
4.	12	287	862	10,85	0,52	5,64
5.	15	284	854	10,67	0,57	6,08

4.3 Hubungan Antara Beban Lampu dengan Putaran Turbin

Pada Tabel 3, terlihat perubahan putaran turbin seiring dengan beban lampu. Sementara itu, bentuk diagram tersebut dapat ditemukan pada Gambar 9.



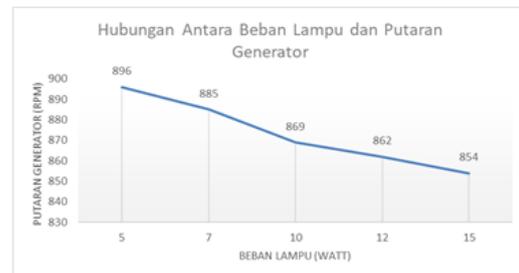
Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Beban Lampu Dengan Putaran Turbin

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, peningkatan beban generator mengakibatkan penurunan kecepatan putar turbin. Hal ini terjadi karena reaksi jangkar saat generator dihubungkan ke beban.

Semakin besar daya beban yang diterapkan, maka reaksi jangkar yang ditimbulkan oleh generator juga akan semakin besar.

4.4 Hubungan Antara Beban Lampu dengan Putaran Generator

Dalam Tabel 3, tampaklah bagaimana perubahan beban lampu mempengaruhi kecepatan putaran generator. Grafik yang merepresentasikan fenomena tersebut bisa ditemukan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Beban Lampu Terhadap Putaran Generator

Berdasarkan gambar 10 dapat dilihat bahwa putaran tertinggi yang dihasilkan oleh generator terjadi saat pembebanan dengan menggunakan daya lampu 5 watt yaitu sebesar 896 rpm, sementara putaran terendah generator dihasilkan pembebanan dengan menggunakan daya lampu 15 watt yaitu sebesar 854 rpm.

Peningkatan beban generator menyebabkan berkurangnya kecepatan putar generator.

4.5 Hubungan Antara Beban Lampu dengan Tegangan Generator

Tabel 3 menunjukkan hubungan antara beban dan tegangan yang dihasilkan oleh generator. Hal ini diilustrasikan dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Beban Lampu Terhadap Tegangan Generator

Seperti terlihat pada Gambar 11, tegangan generator tertinggi sebesar 11,33 Volt dihasilkan saat beban berupa lampu berdaya 5 watt, sedangkan tegangan terendah sebesar 10,67 volt terjadi saat beban berupa lampu berdaya 15 watt.

Dapat diketahui hubungan antarpembebanan generator terhadap tegangan yang dihasilkan oleh generator akan berbanding terbalik, Peningkatan beban pada generator akan mengakibatkan penurunan tegangan yang dihasilkan oleh generator.

4.6 Hubungan Antara Beban Lampu dengan Arus Generator

Tabel 3 menunjukkan variasi arus yang dihasilkan oleh generator saat beban berubah. Grafik yang menggambarkan hal ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Beban Lampu Terhadap Arus Generator

Seperti yang terlihat pada Gambar 12, arus maksimum yang dihasilkan oleh generator terjadi saat bebannya adalah lampu 15 watt, yaitu sebesar 0,57 A, sementara arus terendah terjadi saat pembebanan dengan daya lampu 5 watt, yaitu sebesar 0,41 A.

Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara pembebanan generator dan arus yang dihasilkan bersifat langsung proporsional, Peningkatan beban pada generator mengakibatkan peningkatan arus yang dihasilkan oleh generator.

4.7 Hubungan Antara Beban Lampu dengan Daya Generator

Tabel 3 menunjukkan variasi daya generator saat beban berubah. Adapun bentuk grafiknya dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik Hubungan Antara Beban Lampu Terhadap Daya Generator

Berdasarkan Gambar 13, dapat dilihat bahwa daya maksimum yang dihasilkan oleh generator terjadi saat beban menggunakan lampu 15 watt, yaitu sebesar 6,08 watt. Sementara itu, daya minimum yang dihasilkan oleh generator terjadi saat beban menggunakan lampu 5 watt, yaitu sebesar 4,64 watt.

Dapat diamati bahwa hubungan antara beban generator dan daya yang dihasilkan adalah berbanding lurus; peningkatan beban pada generator menyebabkan peningkatan daya yang dihasilkan.

4.8 Perhitungan Efisiensi PLTMH

Efisiensi merupakan perbandingan daya input dengan daya output generator. Dari perhitungan efisiensi ini dapat diketahui seberapa besar daya yang mampu dihasilkan *prototype* dalam memenuhi potensi daya yang dibangkitkan. Berikut ini merupakan hasil perhitungan efisiensi sistem PLTMH pada setiap variasi pembebanan.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem PLTMH

No	Variasi Pembebanan (Watt)	Daya Input (Watt)	Daya Output (Watt)	Efisiensi Sistem PLTMH (%)
1.	5	24	4,64	19,3
2.	7	24	4,81	20,04
3.	10	24	5,27	21,9
4.	12	24	5,64	23,5
5.	15	24	6,08	25,3

Mengacu pada tabel 4 maka didapatkan hubungan antara perubahan

efisiensi sistem PLTMH terhadap variasi pembebanan yang diujikan dalam hubungan grafik gambar 14.



Gambar 14 Grafik Efisiensi PLTMH Terhadap Beban Lampu

Berdasarkan gambar 14 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi PLTMH tertinggi mencapai nilai 25,3% pada saat pembebanan menggunakan lampu 15 watt. Sedangkan nilai efisiensi turbin terkecil mencapai nilai 19,3% pada saat pembebanan menggunakan lampu 5 watt.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang dirancang dengan turbin Kaplan dan *head* input 2 meter dan pipa berukuran 2,5 dim menghasilkan debit air sebesar 0,019 m³/s. *Prototype* ini dilengkapi dengan 30 sudu pengarah (*guide vane*) yang memiliki bukaan sudut 30°, serta 5 sudu penggerak (*runner blade*) dengan diameter luar 20 cm. Pengujian dilaksanakan dalam dua tahap, yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian dengan variasi beban. Pada pengujian tanpa beban, kecepatan turbin rata-rata sebelum dihubungkan ke generator adalah 356 rpm, dan setelah disambungkan ke generator adalah 306 rpm. Tegangan rata-rata yang dihasilkan generator adalah 11,89 volt. Pada pengujian dengan variasi beban, didapatkan hasil terbaik pada pembebanan 5 watt, dengan putaran turbin sebesar 298 rpm, putaran generator 896 rpm, tegangan generator 11,33 volt, arus 0,57 A, dan daya 6,08 watt pada pembebanan 15 watt. Efisiensi PLTMH terbesar tercatat sebesar

25,3% pada pembebanan 15 watt. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi pembebanan, semakin kecil putaran turbin, putaran generator, dan tegangan yang dihasilkan, namun arus dan daya akan meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan pada generator.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alamsah, C. 2024. Analisis Kontribusi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Terhadap Pencapaian Target. Skripsi. Sarjana Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Bandung : Universitas Sangga Buana YPKP.
- [2] Nawawi I, Trihasto, A. 2020. Pemanfaatan Aliran Sungai Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.
- [3] Syarief, A. Isworo, H. 2015. Simulasi Turbin Air Kaplan Pada PLTMH di Sungai Sampanahan Desa Magalau Hulu Kabupaten Kotabaru. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*.
- [4] Saputra, R., Licichan, T. 2018. Perancangan Ulang Turbin Kaplan Poros Vertikal di PLTM Plumbungan. *Jurnal Bina Teknika 14(2) : 153-161*.
- [5] Kusnadi, Mulyono, A., Pakki, G., Gunorko. 2018. Rancang Bangun dan Uji Reformasi Turbin Air Jenis Kaplan Skala Mikrohidro. *Jurnal Teknik Mesin 7(2) 2018*.