

ANALISIS EFISIENSI DAYA LISTRIK PADA PROTOTYPE PLTMH ALIRAN ANAK SUNGAI TUKAD SUNGI BANJAR GANTER DESA ABIAN TUWUNG

K Satria Panduwinata¹, C G Indra Partha², I G N Janardana³

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

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

Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali

satriapanduwinata@student.unud.ac.id¹, cokindra@ee.unud.ac.id², janardana@unud.ac.id³

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi daya listrik yang dihasilkan dari *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada aliran anak sungai tukad sungai Banjar Ganter Desa Abian Tuwung. Efisiensi yang didapatkan dapat dijadikan parameter untuk mengetahui seberapa besar potensi daya hidrolis yang tersedia dapat dimanfaatkan menjadi daya listrik. Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif yang dimana melibatkan pengukuran secara langsung terhadap parameter operasional seperti debit air, tinggi jatuh air (*head*), tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan pada *prototype* PLTMH. Pengukuran daya listrik yang dihasilkan *prototype* PLTMH menghasilkan efisiensi yang berbeda menurut variasi jumlah beban yang digunakan, efisiensi tertinggi yaitu sebesar 7,75% didapatkan pada saat pengukuran menggunakan beban berupa 6 buah lampu LED DC 12V 40W. Efisiensi yang didapatkan tergolong kecil hal ini dikarenakan daya Listrik yang dihasilkan hanya sebesar 37,54W sedangkan daya hidrolis yang tersedia sebesar 484,12W. Rendahnya daya Listrik yang dihasilkan disebabkan karena adanya penyimpangan spesifikasi dari beban yang digunakan, sehingga daya yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi daya yang tertera pada beban yang digunakan

Kata kunci : Mikrohidro, Tukad Sungai, Daya, Efisiensi Daya Listrik

ABSTRACT

This study aims to determine the efficiency of the electrical power generated from the Micro hydro Power Plant (MHP) prototype on the flow of tributaries of the tukad sungai Banjar Ganter Abian Tuwung Village. The efficiency obtained can be used as a parameter to determine how much the available hydraulic power potential can be utilized into electrical power. This research uses a quantitative analysis method which involves direct measurement of operational parameters such as water discharge, water fall height (head), electric voltage and electric current generated in the MHP prototype. Measurement of the electrical power generated by the MHP prototype produces different efficiencies according to the variation in the number of loads used, the highest efficiency of 7.75% is obtained when measuring using a load in the form of 6 12V 40W DC LED lights. The efficiency obtained is relatively small, this is because the electric power generated is only 37.54W while the available hydraulic power is 484.12W. The low electrical power generated is due to deviations in the specifications of the load used, so that the power generated does not match the power specifications listed on the load used.

Keywords: Micro hydro, Tukad Sungai, Power, Electric Power Efficiency

1. PENDAHULUAN

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) menyebutkan, potensi energi listrik dari sumber energi terbarukan di Indonesia telah mencapai sekitar 432 GW, atau sekitar 7-8 kali lipat dari total kapasitas pembangkit listrik yang ada saat ini. Namun, dari potensi tersebut, baru sekitar 7 GW yang dimanfaatkan secara luas, dengan sebagian besar energi yang digunakan berasal dari tenaga air dan panas bumi [1].

Sumber energi terbarukan telah lama digunakan dalam masyarakat Bali. Sejak awal tahun 1980-an, pembangkit listrik pico-hidro dan energi terbarukan lain, seperti PLTS, PLTMH, PLTB, hingga PV mulai dibangun. Sektor pariwisata dan pemerintah juga berperan aktif dalam pemasangan pembangkit terbarukan. Saat ini semakin banyak pihak terlibat dalam pengembangan energi terbarukan di Bali. Terdapat beberapa pembangkit *pico-hydro* dengan berbagai ukuran yang dipasang di Bali sebagai sumber listrik karena keterbatasan kapasitas utilitas sebelum tahun 1980-an. Kemajuan teknologi mengakibatkan semua pembangkit ditinggalkan dan digantikan dengan sambungan dari utilitas yang menyediakan daya lebih andal dan berkualitas lebih baik. Hingga saat ini, hanya ada dua unit pembangkit mikrohidro yang masih beroperasi, yaitu pembangkit mikrohidro Karangasem dan Tamblang [2].

Anak sungai Tukad Sungai yang terletak di Banjar Ganter, Desa Abian Tuwung, Bali memiliki rata-rata debit air sebesar $0,44\text{m}^3/\text{s}$ perbulan, data tersebut diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali-Penida (2022). Hasil pengukuran secara langsung juga menunjukkan anak sungai Tukad Sungai memiliki lebar sungai 4,45 meter, luas penampang air sebesar $1,71\text{ m}^2$, kedalaman 0,35 meter, dengan kecepatan aliran air $0,28\text{ m/s}$ dan jatuh air (*head*) setinggi 2,1 m. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa anak Sungai tukad sungai memiliki potensi daya hidrolis sebesar 8,580kW sehingga anak sungai Tukad

Sungai berpotensi dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Potensi tersebut belum dimanfaatkan dengan baik oleh pihak atau instansi terkait. Mengacu dari ketersediaan potensi debit air menurut data Badan Wilayah Sungai Bali-Penida (2022) tersebut, maka pada penelitian ini akan dimanfaatkan sebesar $0,026\text{ m}^3/\text{s}$, dari hasil perhitungan debit air yang dimanfaatkan tersebut berpotensi membangkitkan daya hidrolis berkisaran sebesar 484,12 watt. Daya hidrolis yang tersedia akan dirubah menjadi energi listrik, energi listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan oleh penduduk sekitar terutama Den Uma Cafe yang terletak di area anak sungai Tukad Sungai tersebut, karena jalan menuju Den Uma Cafe belum terpasang penerangan jalan yang mengakibatkan keterbatasan waktu buka pada malam hari.

Hal ini bertujuan untuk memberikan fasilitas penerangan jalan pada malam hari dengan memanfaatkan potensi dari anak sungai tukad sungai, mengingat anak sungai tukad sungai memiliki aliran air yang konstan pada siang maupun malam hari. Pemanfaatan energi ramah lingkungan juga dapat mendukung program pemerintah dalam upaya mengurangi emisi yang berdampak buruk bagi lingkungan.

2. TEORI

2.1 Energi Terbaharukan

Menurut UU No. 30 Tahun 2007 tentang Energi, energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari sumber daya yang dapat diperbaharui, seperti panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan jatuhnya air, serta pergerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Energi terbarukan menggunakan sumber daya yang ramah lingkungan, tidak mencemari, serta tidak berkontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global, karena energi ini dihasilkan dari proses alam yang berkelanjutan seperti sinar matahari, angin, air, biofuel, dan panas bumi. Hal ini menegaskan bahwa energi terbarukan sudah tersedia, tidak merusak lingkungan, dan menjadi alasan utama mengapa energi

baru terbarukan (EBT) sangat berkaitan dengan isu lingkungan dan ekologi [3].

2.2 Hydropower

Prinsip dasar pembangkit tenaga air (*hydropower*) adalah memanfaatkan aliran air dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah untuk menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan. Ketika energi air ini digunakan untuk menggerakkan komponen mekanik, maka terjadi konversi dari energi potensial air menjadi energi mekanik. Turbin atau kincir air mengubah energi aliran air menjadi daya poros, yang selanjutnya bisa dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik, mesin penggiling, atau perangkat mekanis lainnya yang bermanfaat bagi kehidupan manusia.

Energi *hydropower* merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Setelah digunakan, aliran air ini masih bisa dimanfaatkan kembali untuk berbagai keperluan lain, seperti irigasi. Air yang mengalir dari suatu ketinggian mengandung energi potensial yang dapat diubah menjadi tenaga mekanik melalui kincir atau turbin air. Daya mekanis ini dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan generator, atau langsung digunakan untuk mengoperasikan mesin seperti penggiling dan gerinda [4].

2.4 Potensi Energi Pada Air

Potensi energi pada air dapat dikonversikan menjadi energi mekanik yang dapat memutar turbin dengan debit dan titik jatuh air untuk menggerakkan generator yang menghasilkan tenaga Listrik. Potensi energi pada air dan potensi daya listrik (P) dapat dihitung dengan persamaan berikut [5] :

$$P_h = \rho \times Q \times g \times H \quad (1)$$

Keterangan :

P_h = Daya teroris air (kW)

ρ = Massa jenis air (1000 kg/m³)

Q = Debit air (m³/s)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

H = Tinggi jatuh air / *head* (m)

2.3 Generator

Generator merupakan sebuah komponen penting dalam PLTMH. Generator akan mengkonversi energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin menjadi

energi listrik. Klasifikasi generator yang digunakan dalam PLTMH terbagi menjadi 2 yaitu [6]:

1. Generator AC (Menghasilkan arus bolak-balik)
2. Generator DC (Menghasilkan arus searah)

2.4 Voltmeter

Voltmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik atau beda potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik. Tegangan yang diukur dengan voltmeter bisa berupa tegangan AC (arus bolak-balik) atau DC (arus searah), tergantung pada jenis voltmeter yang digunakan.

Voltmeter biasanya dihubungkan secara paralel ke komponen atau rangkaian listrik yang akan diukur. Penghubungan paralel ini penting untuk memastikan voltmeter mengukur tegangan dengan benar tanpa mengganggu operasi rangkaian listrik tersebut. Ada 2 jenis voltmeter yaitu Voltmeter Analog dan Voltmeter Digital [7].

2.5 Amperemeter

Amperemeter, atau sering disebut ampermeter, adalah alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik dalam sebuah rangkaian listrik. Kuat arus yang diukur oleh amperemeter dinyatakan dalam satuan ampere (A). Alat ini membantu memantau aliran listrik yang mengalir melalui sebuah penghantar, komponen, atau sirkuit.

Cara kerja amperemeter adalah dengan mengukur jumlah elektron yang melewati sebuah titik dalam rangkaian listrik per satuan waktu. Amperemeter biasanya dihubungkan secara seri dengan rangkaian yang akan diukur, sehingga semua arus yang mengalir melalui rangkaian juga mengalir melalui amperemeter. Ada 2 jenis amperemeter yaitu Amperemeter analog dan Amperemeter Digital [8].

2.6 Efisiensi

Efisiensi dalam *prototype* PLTMH menjelaskan hubungan antara daya masukan yang berasal dari energi hidrolis air dan daya keluaran yang dihasilkan oleh sistem. Dalam konteks ini, efisiensi merupakan parameter penting untuk menilai kinerja PLTMH, yaitu seberapa besar energi

hidrolis dapat dikonversi menjadi energi listrik yang nyata. Biasanya, efisiensi dihitung sebagai perbandingan daya listrik yang dihasilkan dengan daya hidrolis yang tersedia. Efisiensi PLTMH umumnya dihitung sebagai rasio daya nyata terhadap daya hidrolis. Dengan demikian, efisiensi (η) dirumuskan sebagai berikut [9].:

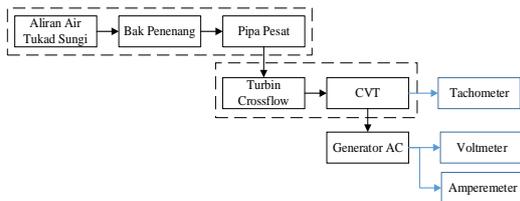
$$\eta = \frac{P_{real}}{P_h} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

- η = efisiensi sistem PLTMH
- P_{real} = Daya real yang dihasilkan
- P_h = Daya Hidrolis

3. METODOLOGI PENELITIAN

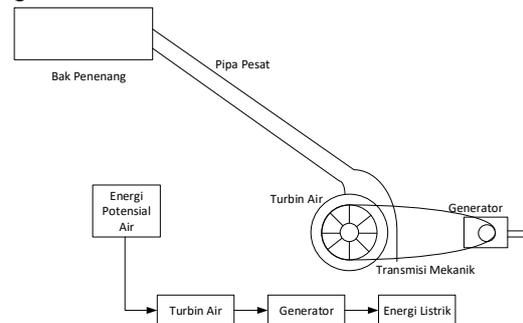
Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini berlokasi di anak sungai Tukad Sungai, Banjar Ganter, Desa Abian Tuwung, Kecamatan Kediri, Kabupaten Tabanan, Provinsi Bali. Penelitian ini, juga dilaksanakan di Lab Konversi Energi Teknik Elektro Universitas Udayana dalam proses merancang PLTMH tersebut. Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2023 hingga bulan Juni 2024. Alur dari sistem kerja *Prototype* PLTMH dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Alur Penelitian

Aliran air dari anak sungai tukad sungai akan masuk ke dalam bak penenang yang telah dirancang dengan spesifikasi panjang bak sebesar 144cm, lebar bak sebesar 18cm, kedalaman bak 48cm. Air yang berada di dalam bak penenang akan saluran oleh pipa pesat menuju turbin yang telah dirancang. Turbin yang digunakan jenis turbin *crossflow* yang memiliki kecepatan putaran sebesar 571,334 rpm. Air yang dialirkan akan mendorong sudu-sudu turbin yang akan menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan turbin akan ditransmisikan menuju generator menggunakan CVT yang memiliki rasio

antara pulley primer dan sekunder sebesar 1 : 5,8. Energi mekanik akan dirubah menjadi energi listrik oleh generator AC yang memiliki spesifikasi daya 500watt dengan kecepatan putaran 3000rpm. Daya yang dapat dibangkitkan generator dapat diketahui dengan melakukan pengukuran saat pengujian, dimana tegangan dan arus yang dihasilkan diukur menggunakan voltmeter untuk tegangan dan amperemeter untuk arus. Skematik *prototype* PLTMH dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. Skematik Prototype PLTMH Aliran Anak Sungai Tukad Sungai

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Potensi Energi Pada Air

Menghitung potensi daya air menggunakan persamaan [1] sangat penting untuk memastikan bahwa perancangan *prototype* PLTMH dapat menghasilkan energi yang cukup, layak secara ekonomis, dan tidak merusak lingkungan, hal ini merupakan Langkah awal yang krusial dalam proses perancangan dan pengembangan energi terbarukan seperti PLTMH. Berikut potensi daya air didapatkan dari hasil perhitungan dibawah :

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H_{net}$$

$$P_h = 1000 \times 9,8 \times 0,026 \times 1,9$$

$$P_h = 484,12 \text{ Watt}$$

Potensi daya air yang didapatkan dengan memanfaatkan debit sebesar 0,026 m²/s yaitu sebesar 484,12 watt. Potensi energi air ini akan dikonversikan menjadi energi mekanik agar dapat memutar turbin sehingga putaran turbin akan diteruskan menggunakan system transmisi mekanik ke generator untuk menghasilkan energi listrik

4.2 Hasil Pengukuran Saat Pengujian Prototype PLTMH

Pengujian *Prototype* PLTMH dalam keadaan tanpa beban merupakan bagian penting dari proses evaluasi dan validasi teknis untuk memastikan bahwa sistem pembangkit bekerja dengan benar sebelum dibebani. Hasil dari pengukuran saat pengujian dalam keadaan tanpa beban dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan AC Generator Keadaan Tanpa Beban

No	Tegangan AC (volt)			Rata-Rata Tegangan AC (volt)			Rata-Rata Tegangan AC Antar fasa (volt)
	R-S	R-T	S-T	R-S	R-T	S-T	
1	40,82	40,1	40,12	41,514	40,99	40,67	41,05
2	41,44	40,53	40,28				
3	41,86	41,55	41,65				
4	41,79	41,4	40,92				
5	41,66	41,37	40,38				

Tabel 1 menunjukkan pengukuran tegangan AC yang dihasilkan generator saat dioperasikan. Pengujian dan pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali dengan mendapatkan tegangan rata-rata sebesar 41,05V. Kondisi ini *Under Voltage* atau tegangan yang dihasilkan berada dibawah tegangan nominal. Kondisi ini disebabkan karena terjadinya penurunan putaran turbin dari 527,8rpm (sebelum dikopel) menjadi 315,8rpm (setelah dikopel) yang mengakibatkan generator hanya berputar rata-rata sebesar 1509,8rpm sehingga tidak mencapai putaran yang dibutuhkan yaitu 3000rpm. Ketika kecepatan rotor lebih lambat dari spesifikasinya, maka magnet permanen bergerak lebih lambat di sekitar gulungan stator. Akibatnya, medan magnet memotong lilitan kawat pada stator dengan kecepatan yang lebih rendah, sehingga tegangan yang diinduksi dalam gulungan juga berkurang. Karena tegangan yang dihasilkan dibawah tegangan nominal maka alternatif lain digunakan yaitu memasang penyearah atau *rectifier* agar dapat menggunakan beban DC berupa Lampu LED DC 12V 40W. Hasil pengukuran tegangan DC dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan DC Keadaan Tanpa Beban

No.	Tegangan DC Generator (Volt)	Tegangan DC Rata-Rata (Volt)
1	37,9	37,96
2	38,1	
3	38,2	
4	37,6	
5	38	

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran tegangan DC dari pengujian dalam keadaan tanpa beban. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dengan menghasilkan rata-rata tegangan DC sebesar 37,96V. Pengukuran tegangan DC (*Direct Current*) merupakan proses penting untuk mengetahui kinerja dari *prototype* PLTMH. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur Voltmeter digital yang memiliki mode pengukuran DC dengan skala yang sesuai, serta dalam pengukuran perlu memastikan *probe* positif dan negatif terhubung ke terminal yang benar untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Saat Pengujian *Prototype* PLTMH Keadaan Berbeban

No.	Beban	Daya Listrik PLTMH			
		Tegangan DC (V)	Rata-Rata Tegangan DC (V)	Arus DC (A)	Rata-Rata Arus DC (A)
1	1 Buah Lampu LED DC 12V 40 Watt	12,01	12,21	0,81	0,82
		12,22		0,817	
		12,49		0,833	
		12,18		0,825	
		12,15		0,821	
2	3 Buah Lampu LED DC 12V 40 Watt	11,07	11,18	2,159	2,17
		11,23		2,161	
		11,35		2,195	
		11,14		2,189	
		11,11		2,175	
3	6 Buah Lampu LED DC 12V 40 Watt	10,37	10,306	3,601	3,64
		10,63		3,621	
		10,25		3,68	
		10,15		3,66	
		10,13		3,651	

Tabel 3 menunjukkan data hasil pengukuran saat pengujian menggunakan beban berupa Lampu LED DC 12V 40W. Jumlah beban divariasikan guna untuk melihat kinerja dari *prototype* PLTMH secara mendetail. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali setiap variasi jumlah beban yang berbeda. Pengujian pertama hanya menggunakan 1 buah beban lampu LED DC 12V 40W yang dimana rata-rata tegangan yang didapatkan sebesar 12,21V dan arus sebesar 0,82A. Selanjutnya beban ditambah menjadi 3 buah

Lampu LED DC 12V 40W, pada kondisi ini tegangan rata-rata yang didapatkan yaitu sebesar 11,18V dan arus sebesar 2,17A. Terakhir dengan pengujian 6 buah lampu LED DC 12V 40W mendapatkan tegangan rata-rata sebesar 10,30V dan arus sebesar 3,64A

4.3 Analisis Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus

Analisis hasil pengukuran tegangan dan arus bertujuan untuk mendeteksi kinerja sistem dan mencegah kerusakan pada peralatan yang digunakan. Analisis didasari dengan data yang diapatkan dari hasil pengujian dengan keadaan berbeban dan tidak berbeban yaitu sebagai berikut :

Tabel 4. Data Rata-Rata Hasil Pengukuran Keadaan Tanpa Beban

No.	Putaran (rpm)			Tegangan DC Generator (Volt)
	Turbin		Generator	
	Sebelum Dikopel	Setelah Dikopel		
1	527,88	315,8	1509,8	37,96

Tabel 4 menunjukkan data rata-rata hasil pengukuran dari pengujian yang dilakukan tanpa menggunakan beban dengan pengujian dan pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali. Mengacu pada tabel 1 yang dimana pengukuran tegangan AC mendapatkan hasil rata-rata sebesar 41,05V, kondisi tegangan yang dihasilkan berada dibawah tegangan nominal ini dikarenakan generator tidak mendapatkan putaran yang dibutuhkan sesuai spesifikasi yaitu 3000rpm, generator hanya berputar dengan kecepatan rata-rata sebesar 1509,8rpm. Kondisi ini menyebabkan medan magnet memotong lilitan kawat pada stator dengan kecepatan yang lebih rendah, sehingga tegangan yang diinduksi dalam gulungan juga berkurang. Maka alternatif lain digunakan yaitu memasang penyearah agar dapat menggunakan beban DC berupa Lampu LED DC 12V 40W.

Tegangan DC yang dihasilkan sebesar 37,96V ini didapatkan saat generator berputar dengan kecepatan 1509,8rpm dan turbin berputar dengan kecepatan 315,8rpm. Rasio CVT sebagai transmisi mekanik antara turbin dan generator yaitu sebesar 1 : 5,8 dapat bekerja mendekati hasil real dari rasio yang dipilih. Namun,

generator belum mendapatkan putaran yang dibutuhkan karena menurunnya putaran turbin yang menyebabkan putaran generator ikut turun. Menurunnya putaran turbin dari 527,88rpm (sebelum dikopel) menjadi 315,8rpm (setelah dikopel) diakibatkan karena ketika turbin dikopel generator turbin harus menghasilkan tenaga untuk menggerakkan generator, saat dikopel maka terdapat resistansi tambahan terhadap putaran turbin, sehingga kecepatan putaran turbin menurun, semakin besar beban yang ditarik dari generator maka resistansi yang dirasakan turbin akan lebih besar sehingga menyebabkan putaran akan menurun.

Tabel 5 Data Rata-Rata Hasil Pengukuran Keadaan Berbeban

No	Beban	Kecepatan Putaran		Output Generator		
		Turbin (rpm)	Generator (rpm)	Tegangan DC (V)	Arus DC (I)	Daya (W)
1	1 Buah Lampu LED DC 12V	157,62	751,04	12,21	0,8212	10,026
2	3 Buah Lampu LED DC 12V	80,54	437,36	11,18	2,1758	24,325
3	6 Buah Lampu LED DC 12V	55,7	229,34	10,306	3,6426	37,540

Tabel 5 menunjukkan data rata-rata hasil pengukuran dalam pengujian dengan keadaan berbeban. Jumlah beban berupa Lampu LED DC 12V 40W yang digunakan bervariasi dalam setiap pengujian yang dilakukan. Pengujian pertama dengan menggunakan 1 Lampu LED DC 12V 40W mendapatkan tegangan sebesar 12,21V dan arus sebesar 0,82A, sehingga daya lampu yang dihasilkan sebesar 10,026W. Saat pengujian ini turbin hanya berputar dengan kecepatan 157,62rpm sedangkan generator sebesar 751,04rpm. Pengujian kedua dengan menggunakan 3 Lampu LED DC 12V 40W menghasilkan tegangan 11,18V dan arus 2,17A sehingga daya yang dihasilkan sebesar 24,32W, pada Pengujian kedua ini generator berputar dengan kecepatan 437,36rpm dan turbin berputar dengan kecepatan 80,54rpm. Pengujian ketiga dengan menggunakan 6 Lampu LED DC 12V 40W menghasilkan tegangan 10,30V dan arus 3,64A, sehingga daya yang dihasilkan sebesar 37,54W. Pada Pengujian

ketiga ini generator berputar dengan kecepatan 229,34rpm dan turbin 55,7rpm.

Data rata-rata yang didapatkan dari hasil pengukuran saat pengujian ini menunjukan bahwa saat bertambahnya beban putaran turbin dan generator akan menurun. Hal ini disebabkan karena menambahnya resistansi yang dirasakan turbin sehingga menyebabkan putaran menurun. Turunnya putaran turbin yang menyabakan putaran pada generator ikut turun berdampak kepada *output* tegangan yang dihasilkan, dimana pada pengujian 2 dan 3 tegangan yang didapatkan beban tidak sesuai spesifikasi yang dibutuhkan yaitu 12V. Disisi lain, pada tabel 5 menunjukan arus yang mengalir pada 1 buah lampu tidak sesuai dengan perhitungan teorits, yang dimana apabila lampu dengan spesifikasi 12V 40W seharusnya dialiri arus sebesar 3,3A, keadaan ini dapat disebabkan karena merk lampu yang digunakan tidak memiliki standar yang bagus sehingga terjadi penyimpangan spesifikasi yang menyebabkan daya yang dihasilkan lampu secara *real*/jauh dari spesifikasi yang tertera. Kondisi ini menyebabkan daya yang dihasilkan jauh dibawah dari hasil perencanaan *prototype* PLTMH. Untuk mendukung pernyataan diatas dapat melihat gambar dibawah ini :



Gambar 3. Pengujian 1 Buah Lampu LED DC 12V 40W Merk Matsuyama

Gambar diatas menunjukan pengujian 1 buah lampu LED DC 12V 40W merk Matsuyama. Pengujian tersebut menunjukan pada saat lampu mendapatkan tegangan 12V arus yang mengalir hanya sekitar 0,8A, kondisi ini jauh dari perhitungan

teoritis yang seharusnya arus mengalir pada lampu 12V 40W yaitu sebesar 3,3A.

4.4 Analisis Daya dan Efisiensi

Analisa daya sangat penting untuk dilakukan pada sebuah penelitian agar dapat mengevaluasi seberapa efisien daya yang dihasilkan oleh *prototype* dibandingkan dengan daya hidrolis air yang tersedia. Analisa daya mengacu pada data yang telah didapatkan pada saat pengujian *prototype* PLTMH dengan pengujian menggunakan beban berupa lampu LED DC 12V 40W dengan variasi jumlah lampu yang berbeda pada setiap pengujian. Berikut data rata-rata hasil pengukuran dari pengujian yang dilakukan sebanyak 5 kali.

Tabel. 6 Data Rata-Rata Daya Pada Pengujian *Prototype* PLTMH

Potensi Daya Hidrolis <i>Prototype</i> PLTMH (W)	Perhitungan Daya Hasil Pengukuran Saat Pengujian (W)		
	1 Lampu	3 Lampu	6 Lampu
484,12	10,026	24,325	37,540

Tabel 6 menunjukan data rata-rata yang dihasilkan pada saat pengujian *prototype* PLTMH dengan menggunakan beban berupa Lampu LED DC 12V 40W. Pada tabel diatas juga menunjukan potensi daya hidrolis yang dihasilkan *Prototype* PLTMH yaitu sebesar 484,12W. Potensi ini didapatkan dari pemanfaatan debit air sebesar 0,026m³/s dari yang tersedia sebesar 0,44 m³/s. Hasil perancangan *prototype* PLTMH menyatakan potensi yang dapat dibangkitkan generator yaitu sebesar 348,086W. Pada saat pengujian dengan menggunakan 1 buah lampu LED DC 12V 40W menghasilkan daya sangat kecil yaitu 10,026W, kondisi ini disebabkan karena arus yang mengalir hanya sebesar 0,82A, kondisi ini jauh dari perhitungan teoritisnya. Pada pengujian dengan jumlah 3 sampai 6 lampu juga menghasilkan daya yang jauh dibawah daya asli beban yang digunakan. Daya paling tinggi didapatkan yaitu sebesar 37,54W pada pengujian menggunakan 6 buah lampu LED DC 12V 40W. Kondisi ini jauh menyimpang karena dengan menggunakan beban berupa lampu LED DC 12V 40W sebanyak 6 buah, maka daya total yang seharusnya dihasilkan yaitu sebesar 240W. Kondisi ini tentu saja mengakibatkan efisiensi yang dihasilkan sangat kecil. Untuk

menghitung efisiensi dapat menggunakan persamaan (1) diatas, dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Pengukuran dengan beban 1 buah lampu LED DC 12V 40W

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_h} \right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(\frac{10,026}{484,12} \right) \times 100\%$$

$$\eta = 0,0207 \times 100\%$$

$$\eta = 2,07\%$$

2. Pengukuran dengan beban 3 buah lampu LED DC 12V 40W

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_h} \right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(\frac{24,325}{484,12} \right) \times 100\%$$

$$\eta = 0,050 \times 100\%$$

$$\eta = 5,02\%$$

3. Pengukuran dengan beban 6 buah lampu LED DC 12V 40W

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_h} \right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(\frac{37,540}{484,12} \right) \times 100\%$$

$$\eta = 0,077 \times 100\%$$

$$\eta = 7,75\%$$

Perhitungan efisiensi daya Listrik pada *prototype* PLTMH menunjukan efisiensi terkecil terjadi pada saat menggunakan beban berupa lampu LED DC 12V 40W sebanyak 1 buah yang menghasilkan efisiensi sebesar 2,07% dan efisiensi tertinggi terjadi ketika jumlah beban meningkat menjadi 6 buah lampu dengan efisiensi 7,75%. Efisiensi yang dihasilkan sangat kecil, hal ini disebabkan karena daya listrik yang dihasilkan jauh dari daya hidrolis yang tersedia. Kecilnya daya yang dihasilkan dikarenakan adanya penyimpangan spesifikasi yang dimana lampu LED DC 12V 40W saat diberikan tegangan yang dibutuhkan yaitu 12V arus yang mengalir jauh dibawah dari perhitungan teoritis, sehingga daya yang dihasilkan tidak sama seperti spesifikasi yang tertera.

Terjadinya penyimpangan spesifikasi dapat terjadi karena banyak faktor, seperti merk lampu yang digunakan tidak memiliki standar sesuai, penghantar yang digunakan tidak memiliki KHA yang bagus, serta komponen elektronik seperti resistor dan driver LED yang memiliki nilai toleransi yang tinggi bisa menghasilkan hambatan yang sedikit berbeda dari nilai nominalnya, sehingga arus yang mengalir pun berbeda dari perhitungan teoritis.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari data hasil pengujian yang telah dilakukan pada *prototype* PLTMH maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil analisis efisiensi daya listrik pada *prototype* PLTMH aliran anak sungai Tukad Sungai di Banjar Ganter, Desa Abian Tuwung, didapatkan bahwa potensi daya air (hidrolis) yang dimiliki sebesar 484,12 watt. Namun, efisiensi yang dihasilkan oleh sistem *prototype* PLTMH ini terbilang rendah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban berupa lampu LED DC 12V 40W dengan berbagai variasi jumlah lampu. Pengujian dengan 1 buah lampu mendapatkan tegangan sebesar 12,21V dan arus sebesar 0,82A sehingga daya yang dihasilkan hanya sebesar 10,02W, sedangkan pengujian dengan 3 buah lampu mendapatkan tegangan rata-rata sebesar 11,18V dan arus sebesar 2,17A sehingga daya yang dihasilkan sebesar 24,26W, dan pada pengujian dengan menggunakan 6 buah lampu mendapatkan tegangan rata-rata sebesar 10,3V dengan arus 3,64A sehingga menghasilkan daya sebesar 37,39W.
2. Pengujian dengan menggunakan variasi beban mendapatkan efisiensi yang berbeda. Efisiensi pada pengujian 1 buah lampu yaitu sebesar 2,07%, pengujian 3 buah lampu 5,02% dan efisiensi pada pengujian 6 buah lampu yaitu 7,75%. Dari ketiga pengujian tersebut, terlihat bahwa semakin banyak jumlah lampu yang digunakan, efisiensi daya yang dihasilkan cenderung

meningkat. Namun, efisiensi maksimum yang berhasil dicapai hanya sebesar 7,75% pada pengujian dengan 6 buah lampu. Angka ini masih sangat jauh dari potensi daya air yang dimiliki oleh sistem, yaitu 484,12 watt.

3. Penyebab utama rendahnya efisiensi adalah penyimpangan spesifikasi pada beban berupa lampu yang digunakan. Lampu LED yang memiliki spesifikasi 12V 40W memerlukan arus sekitar 3,3A agar dapat beroperasi secara optimal. Namun, pada pengujian, lampu hanya dialiri arus yang lebih rendah dari spesifikasi idealnya, yang mengakibatkan daya *output* yang lebih kecil sehingga menghasilkan efisiensi yang rendah. Arus yang lebih rendah dari nominal pada lampu 12V 40W bisa disebabkan oleh tegangan suplai yang tidak mencukupi, sumber daya yang tidak stabil, atau adanya resistansi tambahan di rangkaian. Untuk memastikan penyebab pastinya, perlu dilakukan pengukuran lebih lanjut pada tegangan suplai, resistansi kabel, dan kapasitas sumber daya yang digunakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] IESR (2019). Laporan Status Energi Bersih Indonesia : Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rancangan Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019
- [2] Kumara, I. N. S., Ariastina, W. G., Sukerayasa, I. W., & Giriantari, I. A. D., (2014). On the Potential and Progress of Renewable Electricity Generation in Bali. Yogyakarta : ICITEE 2014
- [3] Lumbangaol, P. H. (2017). Energi Terbarukan untuk Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia. Jurnal Fakultas Teknik, Vol 2 No 2.
- [4] Brown, J. G. (1970). *Hydro-electric Engineering Practice ; Editor J. Guthrie Brown ; [in 3 Vols]. 2nd Ed: Mechanical and electrical engineering, Volume 2.* Blackie.
- [5] Rahayu, S. (2022). Tinjauan potensi dan kebijakan pengembangan PLTA dan

PLTMH di Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(2), 15–26..

- [6] Hakim, L. (2023). Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil. Yogyakarta: Deepublish Digital.
- [7] Adi, A. (2010). *Mekatronika*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [8] Jatmiko, B. (2022). *Buku Ajar Fisika Dasar Materi Rangkaian Listrik dan Hukum Ohm Dalam Rangkaian Listrik*. Surabaya : JDS Jauharoh Darusalam.
- [9] Harsono, T., & Mulyadi, D. (2020). Optimalisasi efisiensi daya pada prototipe PLTMH. *Jurnal Rekayasa Energi*, 12(3), 123-134